



Desde el Herbario CICY

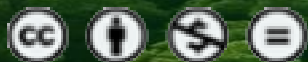
Revista de divulgación científica editada por la Unidad de Recursos Naturales

¡Uay! ¡Qué calor! Estrategias funcionales de las plantas para sobrevivir al ambiente hostil del Coquinal Yucateco

Cambio climático, bosques e inteligencia artificial: entre la urgencia y la esperanza

El grandioso kanisté, delicia frutal y exquisitez culinaria

El lado desconocido de la fibrilarina: ¿cómo una pequeña proteína nucleolar influye en el cáncer?



ISSN: 2395-8790

https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario

Vol. 17, Núm. 3. Marzo de 2026

Contenido

4 Desde el comité editorial

5 Celebraciones del mes

5 3 de marzo, día mundial de la vida silvestre

6 21 de marzo, día internacional de los bosques

7 22 de marzo, día mundial del agua

8 La especie del mes

9 Ensayos del mes

9 ¡Uay! ¡Qué calor! Estrategias funcionales de las plantas para sobrevivir al ambiente hostil del Coquinal Yucateco

16 Cambio climático, bosques e inteligencia artificial: entre la urgencia y la esperanza

22 El grandioso kanisté, delicia frutal y exquisitez culinaria

27 El lado desconocido de la fibrilarina: ¿cómo una pequeña proteína nucleolar influye en el cáncer?

32 Próximo número

Directorio

COMITÉ EDITORIAL 2026-2027

Editor General

Jaime Martínez Castillo

Editores de producción

Alfredo Dorantes Euan

Ariadna Ibarra Morales

Editores Asociados

Germán Carnevali Fernández-Concha

Ivón M. Ramírez Morillo

Luz María del Carmen Calvo Irbien

Manuel Martínez Estévez

Juan Manuel Dupuy Rada

Luis Alexander Peña Peniche

Pilar Angélica Gómez Ruiz

María Azucena Canto Aguilar

Mariana Chávez Pesqueira

Ivonne Sánchez del Pino

Casandra Reyes García

Rodrigo Duno de Stefano

Javier Orlando Mijangos Cortés

Patricia Rivera Pérez

José Luis Andrade Torres

José Luis Hernández Stefanoni

María Guadalupe Carrillo Galván

José Viccon Esquivel

Virginia Aurora Herrera Valencia

Oscar Alberto Moreno Valenzuela

Jorge Carlos Trejo Torres

Eduardo Cejudo Espinosa

Diseño Editorial

Norma Marmolejo Quintero

Sitio web

José Fernely Aguilar Cruz

Diseño para redes sociales y difusión

Erika Gabriela Cano León

Desde el Herbario CICY es una publicación mensual editada por la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Desde el Herbario CICY – DHICICY– © 2026 by Editor General DHICICY is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura de los editores. La responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos corresponde a los autores de los ensayos.

Desde el Herbario CICY –DHICICY– es una revista fundada en 2009 por la Dra. Ivón M. Ramírez Morillo y los Dres. Germán Carnevali Fernández-Concha y Rodrigo Duno de Stefano, investigadores de la Línea de Sistemática y Florística de la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán, encargados del Herbario CICY.

DHICICY se especializa en la divulgación científica, con énfasis en temas de la biología vegetal en sus diferentes niveles de organización y enfoques de estudio, así como en sus interacciones con otros seres vivos (animales, hongos, microorganismos). También, acepta ensayos de otras áreas científicas que aborden temas relacionados con las plantas u otros organismos. Siendo el objetivo central la divulgación científica, transmitida de forma amena y accesible a la sociedad, se recomienda que los autores dominen el tema a tratar para presentar la información de forma resumida y escribir un ensayo fácilmente entendible por un lector no versado en el tema, manteniendo siempre la calidad científica. Se recomienda que el ensayo tenga una línea narrativa que incluya el planteamiento de una interrogante o hipótesis científica y su resolución o posibles escenarios explicativos. Los ensayos descriptivos son también aceptables, siempre y cuando contengan aspectos novedosos o relevantes del tema abordado. Comentarios sobre eventos científicos (o de la historia de la ciencia), así como reseñas de libros, artículos u otras publicaciones de relevancia para la comunidad científica nacional e internacional son bienvenidos. Por la naturaleza de **DHICICY**, se recomienda ampliamente que el ensayo contenga imágenes de alta calidad, las cuales estén relacionadas con el tema abordado; estas permitirán atraer la atención del público y también le darán al ensayo un mayor realce y difusión en redes sociales. El Comité Editorial de **DHICICY** velará por el mantenimiento de estos valores de calidad científica, literaria y editorial. Los ensayos podrán ser publicados en español o inglés. Para más información visitar el sitio https://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario. En caso de interés de publicar en DHICICY, enviar sus manuscritos o escribir al correo electrónico: desde.el.herbario@cicy.mx.

Estimada comunidad lectora de Desde el Herbario CICY –DHCICY–

Estamos nuevamente con Ustedes esperando hayan disfrutado de los ensayos de nuestro número de febrero. No olviden que a partir de este año estamos recibiendo sus manuscritos en desde.el.herbario@cicy.mx... ¡anímense a publicar en nuestra revista!

En este número de marzo publicamos cuatro ensayos que esperamos les gusten. El primer ensayo nos presenta las adaptaciones específicas de las plantas que crecen en el Coquinal Yucateco, uno de los ecosistemas más interesantes que se distribuyen al norte de la península de Yucatán, pero que presenta condiciones ambientales muy hostiles para el crecimiento de las plantas que allí habitan, como son la sequía, inundación y salinidad.

El segundo ensayo nos muestra como la inteligencia artificial puede ser una herramienta útil para estimar la biomasa forestal, contribuyendo así al problema de la deforestación que amenaza a la biodiversidad y que aumenta las emisiones de dióxido de carbono, esto último repercutiendo en el cambio climático.

El tercer ensayo da un giro a los temas anteriormente expuestos al mostrarnos la importancia del papel de las mujeres en la alimentación y su papel en la conservación de conocimientos y tradiciones culinarias, tomando como ejemplo al kanisté (*Pouteria campechiana*), una fruta subutilizada con un gran potencial culinario; las autoras nos muestran los resultados de un taller y una degustación de pan dulce de kanisté como parte del Día Internacional de la Niña y la Mujer en la Ciencia (11F).

Nuestro último ensayo nos habla de la fibrilarina y de cómo investigaciones recientes han revelado su participación en el desarrollo de diferentes tipos de cáncer; descubrir el lado desconocido de esta

pequeña proteína podría abrir nuevas perspectivas para entender, diagnosticar y eventualmente tratar el cáncer desde una visión molecular más profunda.

En nuestra nueva sección “la especie del mes”, les platicamos sobre el dzidzilché (*Gymnopodium floribundum*), un árbol nativo de la península de Yucatán que es muy importante para la apicultura, ya que sus pequeñas flores blancas, presentes entre marzo y junio, producen una miel ámbar, intensa y aromática muy apreciada. Para muchos, la miel generada de la floración del dzidzilché es considerada como la mejor miel de la región.

Esperamos que disfruten de cada uno de estos ensayos.

Editor General

Celebraciones del mes

En marzo de cada año celebramos tres días muy importantes que están relacionados con la labor de quienes formamos parte de DHCICY, y en esta sección queremos recordarlos:

3 de marzo, día mundial de la vida silvestre: 2026, año de las plantas medicinales y aromáticas

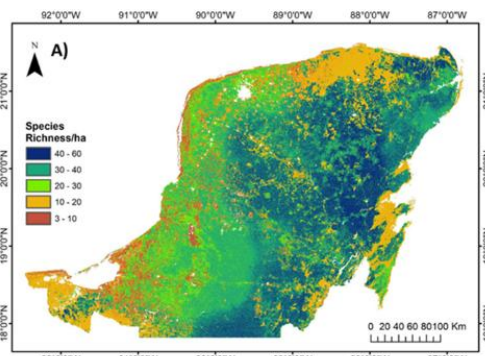


La naturaleza ha sido una jueza silenciosa y severa de nuestro paso por el mundo, pero cada día, y con mayor frecuencia, nos da alertas para que cambiemos la forma en que nos relacionamos con ella y, así, poder protegernos a nosotros mismos. Por un lado, la naturaleza nos da la vida silvestre, es decir, a todas las especies de plantas y animales que viven libremente y sin intervención humana. De estas especies dependemos todas las personas, ya que nos brindan recursos fundamentales, tangibles e intangibles. La vida silvestre nos provee de alimento, medicina, vivienda, protección contra desastres naturales y, particularmente, mantiene un equilibrio en los ecosistemas. Por otro lado, la naturaleza también nos muestra las consecuencias del deterioro ambiental. La pérdida constante de áreas naturales, la contaminación y otras acciones han debilitado los ecosistemas, con lo que se ha roto el balance que la vida silvestre mantiene de forma natural, y enfermedades que antes solo afectaban a animales “salvajes”, manteniéndose bajo control gracias a la diversidad de especies, han comenzado a afectar a humanos. Disfrutar de los beneficios y la belleza que la vida silvestre nos ofrece requiere de nuestra responsabilidad, compromiso y amor por ella. En este contexto, en el 2013, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) proclamó el 3 de marzo como “El Día Mundial de la Vida Silvestre”, con el propósito de pro-

mover su valoración, conservación y uso sostenible, así como visibilizar los retos que enfrenta ante la crisis actual de extinciones. Cada año, la ONU define temas específicos para conmemorar este día, lo que permite enfocar actividades de divulgación, campañas e incluso políticas públicas. Este 2026 corresponde al tema: “Plantas medicinales y aromáticas: conservar la salud, el patrimonio natural y los medios de subsistencia”, ya que son una base esencial de la salud humana, han funcionado como una farmacia natural para los humanos desde el inicio de las civilizaciones y son fuente de compuestos terapéuticos presentes y futuros; su pérdida empobrece los ecosistemas y elimina oportunidades médicas. En la fotografía podemos ver tres ejemplos de este tipo de especies, de izquierda a derecha: Damiana (*Turnera diffusa* Willd. ex Schult.), Pool kutz (*Asclepias curassavica* L.) y X-canan (*Hamelia patens* Jacq.). Conservar las plantas medicinales y aromáticas es proteger tratamientos potenciales, conocimientos tradicionales arraigados en la cultura de muchos pueblos y recursos clave frente a nuevas amenazas para la salud. Es así como este año los invitamos a celebrar pero, principalmente, a detenernos un momento para concientizar sobre el valor que la vida silvestre tiene para nuestra prosperidad y la responsabilidad que tenemos hacia ella para su conservación y como legado para las generaciones futuras.

Luis Alexander Peña Peniche

21 de marzo, día internacional de los bosques



La ONU proclamó el 21 de marzo como Día Internacional de los Bosques para concientizar sobre la importancia de cuidar y preservarlos, junto con la biodiversidad que albergan. La FAO define bosque como tierras de más de 0,5 hectáreas con una cobertura de dosel mayor al 10% y una altura mayor a 5 metros, excluyendo tierras agrícolas o urbanas. Los bosques cubren un tercio del planeta y son vitales para su funcionamiento: al realizar la fotosíntesis, emiten oxígeno y absorben el CO₂ atmosférico (el principal gas de efecto invernadero) que almacenan en su biomasa, contribuyendo a mitigar el cambio climático. Además, proveen el 85% del agua dulce mundial a través de la transpiración y la infiltración, protegen contra desastres naturales como huracanes y derrumbes, evitan la erosión y mantienen la fertilidad del suelo.

Los bosques albergan el 80% de la biodiversidad terrestre, y proveen alimento y bienes de los que dependen 1,600 millones de personas. En las ciudades, los árboles son acondicionadores naturales, bajando la temperatura 2 - 8 °C, reducen la contaminación y mejoran la salud y el bienestar humanos. México tiene 34 millones de hectáreas de diversos tipos de bosques (templados, tropicales o selvas, manglares, etc.). Un ejemplo es la Selva Maya, que abarca la Península de Yucatán, Belice y parte de Guatemala, el segundo bosque tropical más grande de América después del Amazonas; pero tan solo en Yucatán se pierden 13,800 hectáreas al año por la expansión agropecuaria, urbana y de infraestructura.

El tema del Día Internacional de los Bosques 2026, “bosques y economías”, celebra el papel de éstos como motores de la economía, generando ingresos y puestos de trabajo: el sector forestal emplea 33 millones de personas y miles de millones más utilizan productos forestales; los bosques sostienen la agricultura familiar y comunitaria, mejoran la productividad agrícola y ofrecen alternativas renovables a materiales intensivos en carbono (acero, cemento, plástico), impulsando una economía más limpia. Aunque globalmente 20% de los bosques están en áreas protegidas, cada año desaparecen 10.9 millones de hectáreas y el 95% de esta pérdida se da en los trópicos debido a la conversión de bosques en pastizales ganaderos o cultivos.

En la Unidad de Recursos Naturales del CICY investigamos la resiliencia (capacidad de recuperación) de los bosques, la influencia de las condiciones ambientales locales y del paisaje, la cantidad y distribución espacial del carbono que almacenan y de su diversidad taxonómica y funcional, generando [mapas](#) y colaborando con redes de investigación internacionales ([2ndFOR](#), [SECO](#)). Conmemora este día participando en campañas de reforestación, adoptando un árbol o compartiendo la importancia de cuidar, conservar y restaurar los bosques ([#ForestDay](#)).

Juan Manuel Dupuy Rada

22 de marzo, día mundial del agua



“El agua es vida” es una frase que vemos o leemos frecuentemente, pero pocas veces nos detenemos a pensar lo verdadera que es. La cantidad de agua en nuestro planeta es enorme (1.386 millones de kilómetros cúbicos), pero solo el 2.5% es agua dulce. La inmensa mayoría (un 70%) está congelada (glaciares y casquetes polares), y un 30% es agua subterránea. Entonces, solo un 1,2% del agua dulce está disponible en ríos, lagos y atmósfera (agua de lluvia) para consumo humano.

El agua forma gran parte de todos los seres vivos activos; por ejemplo, nuestros cuerpos tienen un promedio de 60% de agua del peso corporal. En las plantas el contenido de agua es superior, si son herbáceas pueden tener hasta un 90% del peso, si son árboles un 70% del peso total en promedio. En todos los seres vivos es necesario que nuestras células contengan un porcentaje adecuado de agua para que se puedan realizar todos los procesos del crecimiento y transporte de sustancias.

Incluso el agua es un reactivo, pues a partir de ella se desprende el oxígeno en la fotosíntesis de las plantas. Esto implica que gran parte de la vegetación de la península de Yucatán es vital en el ciclo del agua que podemos consumir, de ahí que en la Unidad de Recursos Naturales del CICY nos abocamos al estudio de bosques, selvas y manglares.

Para dar visibilidad al problema del acceso al agua potable y al saneamiento de esta, la ONU declaró oficialmente el 22 de marzo de cada año como el

Día Mundial del Agua, celebrándose por primera vez en 1993; esto con el fin de sensibilizar a la población sobre la importancia de la conservación del agua potable y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Este año, el día mundial del agua se refiere al género, con el lema: “Donde fluye el agua, crece la igualdad”. Esto es porque la crisis por el agua afecta mayormente a las mujeres, quienes son las que procuran el agua, cuidan a los que enferman a consecuencia del consumo del agua insalubre y generalmente no están incluidas en la toma de decisiones ni en la gobernanza del agua.

Como dijo W. H. Auden “...miles de personas han sobrevivido sin amor, ninguna sin agua...”; por ello, te invitamos a hacer un uso eficiente de este recurso vital para la humanidad y todos los seres de nuestro planeta.

José Luis Andrade Torres

La especie del mes

Dzidzilché (*Gymnopodium floribundum*)



Este mes de marzo lo dedicamos a una especie que es pilar en la producción de miel en México, *Gymnopodium floribundum* Rolfe, mejor conocida en lengua maya como Dzidzilché. Es un árbol nativo de México y Centroamérica, con una distribución que abarca desde Tabasco y los tres estados de la península de Yucatán, hasta Guatemala y Belice. Es muy abundante en la península de Yucatán, encontrándose en vegetación de diferentes edades, tanto de selva baja caducifolia como de selva baja caducifolia espinosa, selva mediana subcaducifolia y selva mediana subperenifolia. El Dzidzilché es muy fácil de reconocer por la corteza de su tronco, por la cual recibe su nombre, que en maya significa “árbol que se pela”.

Aunque su madera se usa como combustible, lo mejor del Dzidzilché son sus flores, las cuales son una de las piezas clave del ciclo apícola. Su floración, apreciada por los apicultores y meliponicultores, marca el inicio de la época de cosecha de miel. Recordemos que la producción de miel en la península de Yucatán es la más alta de México, con 5 a 9 mil toneladas anuales, gozando de gran prestigio por tener su origen en floraciones únicas como la del Dzidzilché. La miel que producen las abejas a partir de la floración de este árbol es considerada, por su color, olor, sabor y consistencia, de la mejor calidad y es destinada principalmente a la exportación.

El Dzidzilché inicia su floración en la época seca, hacia finales de febrero y puede durar hasta junio,

con su máximo en marzo y abril; florece masivamente y un árbol puede producir más de 60 mil flores en una temporada. Aunque el tamaño de sus flores es menor a 1 cm, estas son muy aromáticas y cuando abren en masa, inundan el aire con un intenso olor a miel. Cada flor produce hasta 1 micro-litro de néctar al día según su fase sexual.

Interesantemente, las flores son hermafroditas secuenciales e inician su ciclo en fase masculina, que es cuando producen menos néctar y liberan abundantemente el polen; luego viene la fase femenina, que es cuando el volumen de néctar es mayor y el estigma es fértil. Aunque cada flor produce poco néctar, si lo multiplicamos por la exorbitante cantidad de flores que produce y la densidad de árboles floreciendo por hectárea, entonces tendríamos que considerar que el Dzidzilché es un titán de la selva maya.

Se ha estimado que una hectárea de vegetación, con una densidad de 36 árboles floreciendo, puede producir hasta 2 litros de néctar por temporada. Si consideramos que una hectárea puede contener hasta 240 árboles de Dzidzilché, entonces la producción potencial de néctar es de hasta 15 litros, suficiente para sostener poblaciones de asiduos nectarívoros y definir a esta especie como vital para la función de las selvas y para la producción de miel en el sureste de México.

Azucena Canto y Raymundo González-Ramírez

¡Uay! ¡Qué calor! Estrategias funcionales de las plantas para sobrevivir al ambiente hostil del Coquinal Yucateco

Mayte Aguilar-Canché^{1*}, Rodrigo Duno de Stefano¹, Diego F. Angulo² y Lilia Can Itzá¹

¹Herbarium, CICY, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Calle 43 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

²Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo Campus Cozumel. Avenida Andrés Quintana Roo s/n, esq. calle 110 Sur. Col. Maravilla, 77600, Cozumel, Quintana Roo.

*mayteaguilar542@gmail.com

Resumen

Las condiciones abióticas adversas —como temperaturas extremas, sequías, inundaciones o alta salinidad— representan un desafío constante para las plantas. Al no poder desplazarse, estas han desarrollado estrategias para sobrellevar este estrés regulando, por ejemplo, su temperatura y la pérdida de agua. Este ensayo presenta las adaptaciones específicas de las plantas del Coquinal Yucateco para afrontar el estrés ambiental por sequía e inundación.

Palabras clave: Diversidad funcional, estrés hídrico, grupos funcionales, Yucatán.

En la naturaleza existen condiciones abióticas adversas como la escasez o el exceso de agua (sequía e inundación), temperaturas extremas (altas o bajas), salinidad, deficiencia de nutrientes y ambientes muy cambiantes. Estos factores representan constantes desafíos para las plantas, las cuales, al no poder moverse de un lugar a otro, deben soportar este estrés y adaptarse a las condiciones cambiantes de

su entorno. Todos los organismos, incluidas las plantas, pueden tolerar un cierto rango de condiciones ambientales, pero los cambios extremos pueden superar estos límites y, en la mayoría de los casos, pueden provocarles la muerte. Entonces, ¿Cómo han lidiado las plantas con este gran desafío? Una manera de abordar esta pregunta es evaluando las diferentes estrategias funcionales que las plantas han desarrollado para adaptarse a diferentes entornos a lo largo de la evolución. Para ello es fundamental conocer la diversidad funcional de las comunidades de plantas, la cual se define como una medida del papel e importancia ecológica de las especies en una comunidad, considerando a los organismos como entidades dinámicas que interactúan con su ambiente (Calow 1987). Esta disciplina de la ecología ha ganado mucha atención en los últimos años y su reconocimiento es clave para proteger las características únicas de la biodiversidad, así como la historia evolutiva de los complejos ensamblajes que componen los bosques y selvas de México, de

América y de otros continentes (Srivastava *et al.* 2012).

En los últimos años, nuestro grupo de trabajo ha estudiado la diversidad funcional de la comunidad de plantas del Coquinal Yucateco (CY, previamente llamado calichal; ver Aguilar-Canché *et al.* 2022; Duno de Stefano *et al.* 2024) (Fig. 1), uno de los ecosistemas más interesantes al norte de la península de Yucatán que presenta condiciones ambientales hostiles para las plantas. El CY presenta una coraza de piedra expuesta en la superficie, la cual absorbe el calor y refleja los rayos solares aumentando la temperatura en su superficie, lo que hace que las condiciones de por sí extremas, sean aún más adversas. Esto actúa como un filtro ecológico en donde “sólo las especies más resistentes crecen en dicha zona”. A lo dicho anteriormente, se le suma que el CY se encuentra cerca del manglar, lo que ocasiona que algunas partes estén sometidas a la salinidad del mismo y la probable “pobreza” del suelo. Podemos imaginar que en el CY existe un problema principal y por lo tanto habrá una sola estrategia para lidiar con el estrés hídrico, pero como veremos, es mucho más complejo. En un pequeño espacio de unos cuantos metros cuadrados hay nichos distintos (concepto referido a la suma de determinadas condiciones, tolerancias y requerimientos de una especie para permitirle mantener una población viable; Begon *et al.* 2006) y esto es aprovechado por las plantas para ocupar el mejor sitio para cada una de ellas (e.g., grietas, cavidades de diferentes tamaños con acumulación de materia orgánica, pequeñas elevaciones con suelo fracturado y seco, sitios bajos e inundables). A partir de la determinación de caracteres de las hojas (e.g., tamaño, área foliar, contenido de materia seca y grosor) y grupos funcionales, hemos podido inferir diferentes estrategias que han desarrollado las plantas, las cuales les permiten crecer y desarrollarse exitosamente en las condiciones adversas del CY.

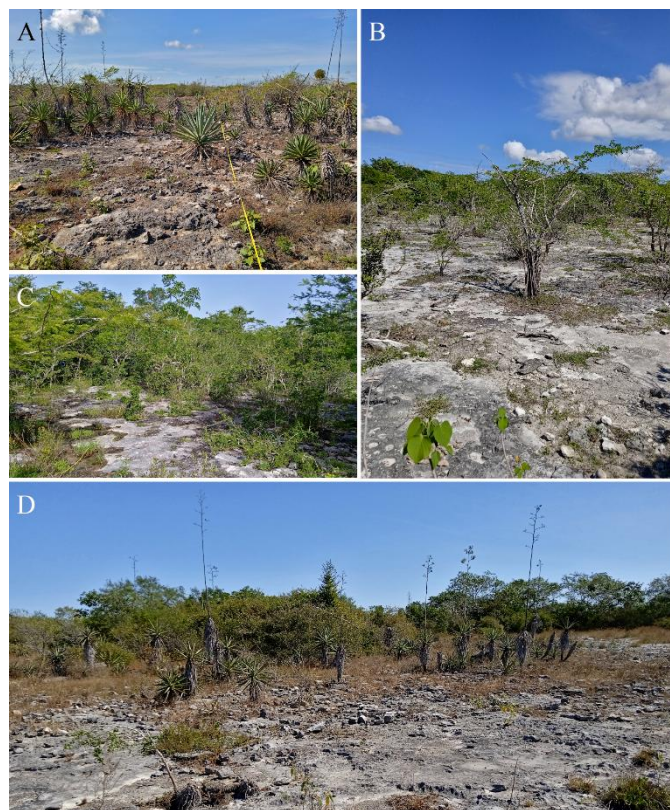


Figura 1. Paisajes del Coquinal Yucateco. **A.** Coquinal en Telchac, dominado por *Agave angustifolia* var. *angustifolia* (Asparagaceae). **B.** Paisaje de Sisal, con *Tara vesicaria* (Fabaceae). **C.** Paisaje de Celestún con *Asclepias curassavica* (Apocynaceae) y *Vachellia collinsii* (Fabaceae). **D.** Paisaje de Telchac con la coquina expuesta (Fotografías: M. Aguilar-Canché).

Las estrategias de adaptación evolutiva de las plantas a condiciones de sequía y/o suelos inundados, se pueden reflejar en las características de las hojas, tallos o raíces. Se asume que las hojas pequeñas reducen el área expuesta a los rayos del sol, lo que permite la reducción de pérdida de agua por transpiración y convección (esto es, la energía liberada de la planta de forma pasiva; Malhado *et al.* 2010). La reducción de las hojas puede verse en hojas compuestas, formadas por folíolos, como en la mayoría de las fabáceas (Fig. 2B.), o llegando a su extremo, modificándose completamente a espinas como en los cactus (Fig. 2G). En los tallos se puede reflejar con succulencia o con tener la capacidad de entrar en latencia y en el caso de las raíces, algunas especies pueden producir raíces adventicias (raíces post-em-

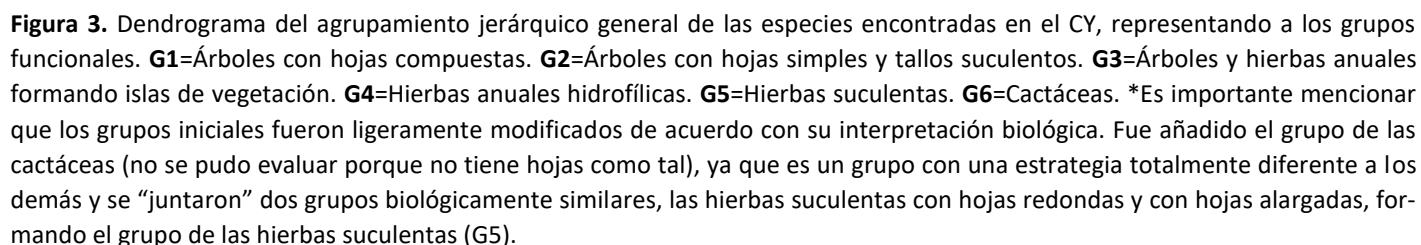
brionarias que pueden desarrollarse a partir de tallos, hojas u otros órganos en respuesta a señales ambientales, como daño mecánico, inundaciones o estrés biótico; Gonin *et al.* 2019), esponjosas y blanquecinas que les ayudan a fijar nitrógeno aún en condiciones anaerobias (ausencia o deficiencia de oxígeno) como en el caso de *Sesbania herbacea*

(Mill.) McVaugh (Krishnan *et al.* 2019).

Derivado de nuestra investigación, hemos detectado seis grupos funcionales (Figs. 2 y 3) asociados con el estrés hídrico (Tabla 1), lo que nos ha permitido determinar las estrategias funcionales de las plantas que crecen en este ambiente.



Figura 2. Diversidad de estrategias funcionales que usan las plantas del Coquinal Yucateco. **A.** Ambiente de Coquinal donde se aprecian las áreas abiertas con afloramiento de roca coquina y al fondo una isla de vegetación con árboles de mediana talla. **B.** *Vachellia cornigera*, representando a la estrategia 1. **C.** *Jatropha gaumeri*, de la estrategia 2. **D.** *Varronia curassavica*, de la estrategia 3. **E.** *Cienfuegosia yucatanensis*, representando a la estrategia 4. **F.** *Portulaca rubricaulis*, de la estrategia 5. **G)** *Nopalea inaperta*, representando a la estrategia 6 (Fotografías: M. Aguilar-Canché).



1. Árboles con hojas compuestas: La mayoría de las especies del grupo son miembros de la familia Fabaceae, caracterizados por sus hojas compuestas con folíolos de 6.2-11.3 mm de largo. Las hojas compuestas son más eficientes al perder calor por convección lo que conduce a temperaturas de las hojas más bajas y a una menor pérdida de agua por transpiración. Las hojas son caducifolias, por lo que, en la época de sequía, los árboles se deshacen de ellas para reducir el estrés de la sequía, además, el raquis les otorga una ventaja competitiva, ya que funciona como una ramita “barata” y “desechable” en términos fisiológicos, disminuyendo la necesidad de ramificación permanente y la inversión en estructuras

12

collinsii (Saff.) Seigler & Ebinger y *Mimosa baha-mensis* Benth.

2. Árboles con hojas simples y tallos suculentos: El grupo se encuentra formado por especies con hojas grandes de 48 a 100 mm de largo, con grosores de 0.4-0.9 mm. Algunas poseen un tallo suculento, im-portante para almacenar agua en la época de se-quía, cuando los árboles también se deshacen de sus hojas (Borchert & Rivera 2001). Suelen crecer en zonas abiertas del coquinal, formando pequeñas is-las de vegetación, incluso se pueden encontrar al-gunos individuos solitarios ya que sus raíces son ca-paces de penetrar la coquina. Las especies repre-sentativas son: *Jatropha gaumeri* Greenm y *Plume-ria obtusa* L.

3. Árboles y hierbas anuales formando islas de ve-getación: Es un grupo mixto, conformado por árbo-les que crecen achaparrados debido a la coquina, que impide que lleguen a sus máximas alturas; y las hierbas poseen tricomas (cualquier excrecencia epi-dérmica, que constituye a modo de un resalto en la superficie de los órganos vegetales, las formas más comunes son los pelos; Kennedy *et al.* 1992) para protegerse de daños físicos causados por elementos ambientales como la radiación solar o el viento, así como daños bióticos causados por herbívoros como

insectos (Martínez-Gordillo & Espinosa-Matías 2005). De igual forma, los tricomas que poseen les ayudan a reflejar el exceso de la luz del sol. Las es-pecies representativas son: *Crescentia cujete* L. y *Abutilon viscosum* (L.) Dorr.

4. Hierbas anuales hidrofílicas: Este grupo se ubica en el estrato inferior y está compuesto por hierbas anuales con hojas simples de 33-44 mm en prome-dio. Destaca por su alta área foliar específica, esto sucede cuando las plantas crecen en lugares muy iluminados (Cornelissen *et al.* 2003) y está relacio-nado directamente con altas tasas de fotosíntesis y de crecimiento, lo cual se ha relacionado con am-bientes con salinidad y en este caso, inundados (Arellano-Rivas *et al.* 2018). Las especies de este grupo crecen exitosamente en ambientes hiper-hú-medos, cuando es temporada de lluvias y en tempo-rada de sequía, son raras de ver. Las especies repre-sentativas son *Cienfuegosia yucatanensis* Millsp. y *Eclipta prostrata* (L.) L.

5. Hierbas suculentas: Este grupo está formado por hierbas anuales muy pequeñas, ubicadas en sitios abiertos, en las oquedades o cavidades de la co-quina, en la escasa materia orgánica acumulada. Tienen un bajo contenido de materia seca, lo que nos indica que contienen grandes cantidades de

Tabla 1. Atributos funcionales de hoja usados en el estudio de la diversidad funcional del Coquinal Yucateco. AFE=área foliar/peso seco de la hoja. CMS=peso seco/peso fresco de la hoja.

Atributo de la hoja	Significado ecológico
Área foliar	Refleja el área de uso efectivo de las hojas de las plantas para la fotosíntesis. Valores altos se asocian a hojas más grandes y valores bajos a hojas pequeñas.
Grosor foliar	Tolerancia a la aridez y capacidad de retención de agua. Valores altos se en-cuentran en hojas suculentas.
Tamaño foliar	Puede reflejar una variación de acuerdo con el estrés ambiental. Valores bajos se asocian a una alta exposición al sol y valores altos suelen asociarse a som-bra.
Área foliar específica (AFE)	Tasa de crecimiento relativo, uso de nutrientes, tasa fotosintética. Valores al-tos se asocian a sitios muy iluminados y valores bajos a sitios con sombra.
Contenido de materia seca (CMS)	Refleja su resistencia mecánica, inflamabilidad y capacidad de adquirir recur-sos. Valores altos se relacionan a una gran densidad de tejidos de las hojas, que les provee una mejor resistencia mecánica.

agua en sus hojas y una cantidad mínima de tejidos. Esta succulencia les permite resistir las condiciones tan hostiles de la época de sequía, una de las estrategias más conocidas en estos ambientes extremos, exceptuando a los cactus (Tinoco-Ojanguren & Vázquez-Yanes 1983). La succulencia de las hojas también se refleja en un mayor grosor, el cual se correlaciona positivamente con una mejor regulación del calor (Arellano-Rivas *et al.* 2018). Las especies representativas son *Portulaca rubricaulis* Kunth y *P. halimoides* L.

6. Cactáceas: Aquí se encuentra la reducción máxima a la exposición de la radiación solar, a tal punto de modificar sus hojas convirtiéndolas en espinas, que también les proveen protección contra depredadores, que podrían ser atraídos por la succulencia. Los cactus poseen características únicas como la presencia de tallos succulentos y la vía fotosintética conocida como metabolismo ácido de las crasuláceas –CAM– (adaptación metabólica y anatómica que se caracteriza por una captación nocturna neta de dióxido de carbono que provoca una disminución de la transpiración y de la pérdida de agua; Guralnick *et al.* 2020), lo que permite que se abran sus estomas y se fije el CO₂ durante la noche, cuando la humedad relativa es alta y la temperatura de la planta es baja, reduciendo drásticamente la pérdida de agua por transpiración durante el día (Tinoco-Ojanguren & Vázquez-Yanes 1983). Estas especies ocupan áreas ligeramente elevadas con la roca más fraccionada, por lo que se inundan menos que el resto del área. Cabe mencionar que esta estrategia no es exclusiva del coquinal, sino, de sitios con escasez de agua en general. Especies representativas son: *Mammillaria gaumeri* (Britton & Rose) Orcutt, *Pilosocereus gaumeri* (Britton & Rose) Backeb., *Acanthocereus tetragonus* (L.) Hummelinck y *Selenicereus grandiflorus* (L.) Britton & Rose ssp. *donkelaarii* (Salm-Dyck) Ralf Bauer.

En general, las diferentes estrategias presentadas en este trabajo coinciden con nichos particulares,

tales como sutiles elevaciones rocosas, zonas abiertas de coquina, ligeras depresiones inundables, entre otros. Esto nos permite reconocer la importancia de entender la compleja dinámica funcional de las plantas, que habitan zonas con condiciones extremas. Estos ambientes, a menudo son percibidos como ecológicamente pobres, por lo que suelen ser ignorados en los planes de conservación a nivel estatal y nacional, lo que las deja en una situación crítica y con alto riesgo de desaparición.

Así que, si un día en tus caminatas mañaneras o en un paseo en bici, visitas el Coquinal Yucateco, te invitamos a detenerte y a ver más allá de lo que tus ojos perciben a simple vista.

Agradecimientos

Agradecemos a Silvia Hernández y Néstor Raigoza por su ayuda en el manejo del material de herbario. Esta investigación fue financiada por el Botanic Gardens Conservation International (2020/44938). D.F.A agradece a la SECIHTI por el apoyo de la beca posdoctoral (2022-2023).

Referencias

- Aguilar-Canché M., Duno de Stefano R., Angulo D.F. 2022. La diversidad funcional en el calichal yucateco: una estrategia que permite entender su riqueza desde una perspectiva ecológica. *Desde el Herbario CICY* 14:234-240.
https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2022-11-03-Aguilar-Canche-et-al._Calichal.pdf
- Arellano-Rivas A., De-Nova J.A., Munguía-Rosas M.A. 2018. Patch isolation and shape predict plant functional diversity in a naturally fragmented forest. *Journal of Plant Ecology* 11(1): 136-146.
<https://doi.org/10.1093/jpe/rtw119>
- Begon M., Townsend C.R., Harper J.L. 2006. Conditions. En: *Ecology: from individuals to ecosystems*. 4th Ed. Blackwell Publishing, MA, USA. Cap. 2. pp. 3.
- Borchert R., Rivera G. 2001. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical

- stem-succulent trees. *Tree Physiology* 21(4): 213-221. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.4.213>
- Calow P. 1987.** Towards a definition of functional ecology. *Functional Ecology* 1: 57-61. <https://doi.org/10.2307/2389358>
- Cornelissen J.H., Lavorel S., Garnier E., Díaz S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., Ter Steege H., Morgan H.D., Van Der Heijden M.G.A., Pausas J.G., Poorter H. 2003.** A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51(4): 335-380. <https://doi.org/10.1071/BT02124>
- Duno de Stefano R., Aguilar-Canché M., Carnevali Fernández-Concha G., Ramírez-Morillo I., Tapia-Muñoz J.L., Reyes-Palomeque G., Angulo D.F. 2024.** Seasonally flooded Coquinal: typifying a particular plant association in the northern Yucatan peninsula. *Botanical Sciences* 102(2): 513-533. <https://doi.org/10.17129/botsci.3388>
- Gianoli E. 2004.** Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. En: Marino Cabrera, H. (Ed). *Fisiología Ecológica en plantas: Mecanismos y Respuestas al Estrés en los ecosistemas*, pp. 13-25. Departamento de Botánica, Universidad de Concepción, Casilla.
- Gonin M., Bergougnoux V., Nguyen T.D., Gantet P., Champion A. 2019.** What Makes Adventitious Roots? *Plants* 8(7): 240. <https://doi.org/10.3390/plants8070240>
- Guralnick L.J., Gilbert K. E., Denio D., Antico N. 2020.** The development of crassulacean acid metabolism (CAM) photosynthesis in cotyledons of the C4 species, *Portulaca grandiflora* (Portulacaceae). *Plants* 9(1): 55. <https://doi.org/10.3390/plants9010055>
- Kennedy R.A., Rumpho M.E., Fox T.C. 1992.** Anaerobic metabolism in plants. *Plant Physiology* 100(1): 1-6. <https://doi.org/10.1104/pp.100.1.1>
- Krishnan H.B., Oehrle N.W., Alaswad A.A., Stevens W., Maria John K.M., Luthria D.L., Natarajan S.S. 2019.** Biochemical and anatomical investigation of *Sesbania herbacea* (Mill.) McVaugh nodules grown under flooded and non-flooded conditions. *International Journal of Molecular Sciences* 20(8): 1824. <https://doi.org/10.3390/ijms20081824>
- Malhado A.C., Whittaker R.J., Malhi Y., Ladle R.J., Ter Steege H., Phillips O., Aragão L., Baker T., Arroyo L., Almeida S., Higuchi N., Killen T., Monteagudo A., Pitman L., Prieto A., Salomão R., Vázquez-Martínez R., Laurance W., Ramírez-Angulo H. 2010.** Are compound leaves an adaptation to seasonal drought or to rapid growth? Evidence from the Amazon rainforest. *Global Ecology and Biogeography* 19(6): 852-862. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00567.x>
- Martínez-Gordillo M., Espinosa-Matías S. 2005.** Tricomas foliares de *Croton* sección Barhamia (Euphorbiaceae). *Acta Botánica Mexicana* 72: 39-51. <https://doi.org/10.21829/abm72.2005.1000>
- Srivastava D.S., Cadotte M.W., MacDonald A.A.M., Marushia R.G., Mirotchnick N. 2012.** Phylogenetic diversity and the functioning of ecosystems. *Ecology Letters* 15(7): 637-648. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01795.x>
- Tinoco-Ojanguren C., Vázquez-Yanes C. 1983.** Especies CAM en la selva húmeda de los Tuxtlas, Ver. *Botanical Sciences* 45: 150-153. <https://doi.org/10.17129/botsci.1309>

Cambio climático, bosques e inteligencia artificial: entre la urgencia y la esperanza

Jorge Omar López-Martínez^{1,2*}, Benedicto Vargas-Larreta³, Hugo Carlos Martínez^{1,4} y Edgar González⁵

¹Investigador por México, Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México.

²Departamento de Sistemas Socioecológicos, ⁴Departamento de Percepción Remota, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, Parque Científico Tecnológico Yucatán. Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, 97302, Mérida, Yucatán, México.

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de El Salto. Calle Tecnológico Col. La Forestal, 34942, El Salto, Durango, México.

⁵Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Investigación Científica, C.U., Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México.

*lmjorgeomar@gmail.com

Resumen

El cambio climático ha sido minimizado pese a su creciente gravedad. La deforestación y la pérdida de selvas amenazan la biodiversidad y aumentan las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Frente a ello, surge la necesidad de estimar con precisión la biomasa forestal. En este sentido, el CentroGeo, junto con otras instituciones, buscan mejorar las estimaciones de la biomasa aérea forestal a partir del uso combinado de información proveniente de múltiples fuentes, incluyendo la inteligencia artificial (IA) y datos de campo. Esperamos que mediante el uso de algoritmos de IA entrenados bajo supuestos físicos y ecológicos, se incremente la certidumbre en las estimaciones de biomasa. Aunque la IA no reemplaza la experiencia científica ni las mediciones directas, esta puede acelerar los diagnósticos y apoyar las decisiones de conservación; sin embargo, persisten retos técnicos, ambientales, éticos y políticos que exigen una responsabilidad compartida.

Palabras clave: Biomasa, ecuaciones, procesos ecosistémicos.

Durante las décadas de los setenta, ochenta y noventa, hablar de cambio climático era un tema obligado en las agendas internacionales. Sin embargo, en la actualidad, esas voces de urgencia para hacer frente a la crisis ambiental se han vuelto un eco distante. Pareciera que el cambio climático –la alteración sostenida del clima de la Tierra, provocada por el exceso de gases de efecto invernadero generados por las actividades humanas– ya no es un tema prioritario. En las últimas décadas, sus consecuencias incluyen el incremento de la temperatura, la disminución de la cobertura de glaciares, el aumento de la intensidad de los huracanes, las variaciones en los regímenes de lluvias y la pérdida de biodiversidad, entre otras. Paradójicamente, el tema parece haber perdido relevancia. Las imágenes de osos polares famélicos que en su momento nos impactaron, han dejado de conmovernos con la misma intensidad. Al

mismo tiempo, ciertos sectores minimizan los efectos del cambio climático o los relegan a un segundo plano frente a otras agendas internacionales más urgentes. El resultado: una crisis ambiental cada vez más severa y una forma de vida de gran parte de la población profundamente amenazada.

La crisis ambiental es un tema complejo. En México los ejemplos abundan: la deforestación para construir desarrollos habitacionales en Temozón Norte, Yucatán; la conversión de más de 5 000 hectáreas de selva a campos agrícolas en Bacalar, Quintana Roo (Huchin Ochoa *et al.* 2022); o el establecimiento de plantaciones de palma de aceite en Campeche y Chiapas (Isaac-Márquez 2021). Estas acciones eliminan la cobertura forestal y afectan directamente la biodiversidad y múltiples servicios ecosistémicos, es decir, todos los beneficios que la naturaleza ofrece a las personas. Los servicios ecosistémicos se agrupan en cuatro categorías principales: de aprovisionamiento, que incluyen recursos como el agua, los alimentos, la madera y las fibras; de regulación, que comprenden funciones como la regulación del clima, la purificación del agua, la captura de carbono o el control de la erosión; culturales, vinculados con los valores estéticos, recreativos y espirituales; y de soporte, que sustentan el funcionamiento de los ecosistemas, como la fotosíntesis, la formación del suelo, la polinización o el ciclo de nutrientes.

La pérdida de cobertura vegetal afecta directamente estos servicios, ya que se libera el carbono capturado mediante la degradación de la madera y, por otro lado, se pierde la capacidad de almacenar más carbono a través del crecimiento de los mosaicos forestales mediante la fotosíntesis. Además, se pierde el hábitat de una gran diversidad de una gran cantidad de especies que mantienen una plétora de interacciones en una amplia red de niveles tróficos.

En este sentido, debido a la importancia de conservar los bosques y mantener sus reservas de carbono se han establecido compromisos internacionales. Por ejemplo, en el Acuerdo de París, los países firmantes, entre ellos México, tienen la obligación de

reportar con precisión las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el CO₂, además de que se comprometen a reforzar sus esfuerzos para aumentar la capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático, e idealmente, alcanzar la neutralidad (lograr que las emisiones netas de GEI sean igual a cero). Esto se puede lograr de dos maneras: reduciendo las emisiones en la medida de lo posible (e.g., usando energías renovables en lugar de combustibles fósiles, aumentando la eficiencia energética o cambiando prácticas de producción), o compensando las emisiones mediante acciones que capturen carbono, como la reforestación, la conservación de bosques, el uso de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, o la compra de créditos de carbono certificados (es decir, permisos verificados que representan la reducción o captura de una cierta cantidad de gases de efecto invernadero a través de la reforestación o el uso de energías limpias).

Ahora bien, aquí surge un reto: ¿cómo medir con fiabilidad el carbono que almacenan los ecosistemas de un país tan diverso como México? Para hacerlo, es necesario estimar la biomasa, es decir, la cantidad de materia viva presente en la vegetación, especialmente en los árboles. Este componente es fundamental porque proviene del CO₂ que las plantas capturan de la atmósfera durante la fotosíntesis y almacenan en sus raíces, troncos y hojas. Cuantificar la biomasa de un bosque permite determinar cuánto carbono se retiene y cuánto podría liberarse si ese ecosistema se degrada o desaparece. Obtener mediciones precisas no es tarea sencilla en un territorio tan heterogéneo y diverso como el mexicano, pero resulta esencial para diseñar acciones efectivas frente al cambio climático.

A todo esto, ¿qué tiene que ver la IA ante este escenario?, ¿puede la IA contribuir a hacer estimaciones de biomasa más precisas que las actuales? Somos conscientes de que esto podría parecer ambicioso, además de que, durante décadas *Terminator* nos mostró escenas apocalípticas en las que la IA hará todo, menos salvar el mundo (Cameron 1984) (Fig. 1).



Figura 1. La inteligencia artificial puede ayudarnos a comprender y proteger los ecosistemas, pero también consume enormes cantidades de energía y agua. La imagen representa esa dualidad: tecnología y naturaleza conectadas en un mismo flujo, donde el conocimiento también implica responsabilidad ambiental (Figura creada con apoyo de Gemini, Google, 2025).

A menudo se asocia la IA con robots, películas futuristas, grandes urbes y el control absoluto de las armas de destrucción masiva, que nos pondrán en jaque como humanidad, más que con árboles o bosques. Sin embargo, la IA se trata de un conjunto de algoritmos capaces de aprender patrones a partir de grandes volúmenes de datos. En ecología, la IA puede procesar imágenes satelitales, información climática, registros de campo o vuelos de dron y descubrir patrones invisibles para los métodos convencionales de estimación de biomasa (Talebiesfandarani & Shamsoddini 2022). En este sentido, el proyecto “Uso de la inteligencia artificial para el mejoramiento de las estimaciones de biomasa aérea forestal a partir del uso combinado de información proveniente de sensores remotos y de campo (CBF-2025-G-905)”, impulsado por las instituciones mexicanas, CentroGeo sede Mérida, el Tecnológico Nacional de México campus El Salto, el Colegio de la frontera Sur Unidad Chetumal, el Centro de Investigación en Matemáticas A. C. y la Universidad Nacio-

nal Autónoma de México, propone un enfoque mediante la construcción de Modelos de Energía Probabilísticos Informados por la Física (PPI-EBM: modelos matemáticos que permiten aprovechar el conocimiento científico previo -leyes físicas-, y además tienen la capacidad de detectar patrones y estimar la biomasa con alta precisión) para estimar la biomasa aérea de los bosques de México (Karniadakis *et al.* 2021, Nathaniel *et al.* 2022).

A diferencia de los denominados modelos de “caja negra”, es decir, aquellos algoritmos de inteligencia artificial cuyos procesos internos y mecanismos de decisión son opacos o difíciles de interpretar —e.g., redes neuronales profundas que ajustan millones de parámetros sin una correspondencia directa con variables físicas o ecológicas observables— el modelo propuesto busca no solo predecir valores numéricos de biomasa, sino también integrar de forma explícita el conocimiento ecológico y físico dentro del proceso de estimación. Esto permite que las predicciones sean más interpretables, consistentes con la teoría ecológica y robustas frente a condiciones fuera del rango de observación.

El modelo incorpora restricciones físicas y ecológicas explícitas que guían el aprendizaje; por ejemplo, entiende que un árbol más alto o de mayor diámetro no puede tener menos biomasa que uno más pequeño de la misma especie, o que ciertas especies presentan límites máximos de crecimiento determinados por su fisiología. En otras palabras, la inteligencia artificial no genera estimaciones arbitrarias, sino que aprende dentro del marco de las leyes naturales, utilizando principios de conservación de energía, límites ecológicos observados como parte de su estructura interna y relaciones alométricas, es decir, aquellas funciones matemáticas que describen la forma en la que cambian proporcionalmente las dimensiones de un organismo (o de sus partes) a medida que varía su tamaño, utilizando otra variable biológica o estructural, generalmente más sencilla de medir, por ejemplo una función matemática que predice la biomasa de un árbol a partir solo del diámetro a la altura del pecho (DAP a 1.30 m).

El eje central de este trabajo es la generación de mapas de biomasa de alta precisión y resolución espacial, validados con datos de campo y acompañados de una cuantificación del grado de incertidumbre asociado a cada estimación. Consideramos que estos productos constituyen una contribución sólida para comprender la dinámica de los ecosistemas y evaluar el almacenamiento de carbono, aportando información esencial para el diseño de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, así como para la planificación de acciones de conservación y de manejo forestal sustentable (Fig. 2).



Figura 2. Representación del proceso de estimación de biomasa aérea forestal mediante el uso de drones con sensores LiDAR y modelos de inteligencia artificial. La combinación de datos tridimensionales y análisis automatizado permite generar mapas detallados de biomasa útiles para la gestión y conservación de los bosques (Figura creada con apoyo de ChatGPT, OpenAI, 2025).

Retos y dilemas éticos y ambientales

No obstante, la pregunta central: “¿puede la IA contribuir a obtener estimaciones de biomasa más precisas?”, exige reconocer sus límites. La IA es una herramienta poderosa, pero no es una solución mágica. Existen retos técnicos, sociales, ambientales y éticos que no deben pasarse por alto. Estamos conscientes de que el uso de la IA supone una paradoja

Cambio climático, bosques e inteligencia artificial

ética y ambiental. Por un lado, queremos avanzar en el uso de esta tecnología para disminuir la incertidumbre de los modelos mediante el entrenamiento de modelos avanzados de IA. Sin embargo, esto requiere infraestructura de cómputo de alto desempeño que conlleva un consumo superlativo de energía, tanto para la ejecución de los modelos como para el enfriamiento de los equipos. Uno de los principales inconvenientes es el uso de combustibles fósiles para la construcción y el mantenimiento de los centros de datos destinados al entrenamiento de la IA, lo que incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se estima que la tecnología requerida para el uso de la IA consume, aproximadamente, 30 veces más que otros sistemas de resolución de problemas computacionales y representa entre el 2 y 3 % de las emisiones totales de GEI al año.

El tema respecto a su uso es espinoso y se requiere voluntad y estrategia para desarrollar políticas públicas. Un coloquio llevado a cabo, recientemente, en el Centro de Investigación CentroGeo, Unidad Mérida, “*La IA generativa en el quehacer científico*” *¿Primavera o borrasca del conocimiento?* (Ciencia en México 2025), se dio a la tarea de confrontar opiniones y puntos de vista con respecto al “reciente advenimiento” de la IA generativa. En cierto modo, el resultado pudo haber sido epifánico para quienes estábamos en un uso “racional” y con una opinión neutral sobre la situación; nos dejó en una especie de amarga resaca. Uno de los principales problemas de la IA es que nadie quiere conocer las necesidades energéticas que conlleva su uso, pero ¿quién quiere saber las atrocidades ambientales que conlleva casi cualquier cosa que ocupamos? Puede ser entretenido utilizar la IA en sus múltiples formas, pero ¿sabemos cuánta energía se requiere para hacer un video de nuestro perro hablando? ¿Acaso no es un poco lo mismo que cuando nos subimos a un avión? ¿Nos interesa el costo energético de nuestros vuelos, tanto locales como transnacionales? ¿O cuando consideramos comprar un auto eléctrico creyendo que estamos ayudando a combatir el cambio climático, sin considerar las consecuencias ambientales

de la extracción de litio para fabricar baterías? ¿Acaso no hemos cerrado los ojos durante años al uso de múltiples materiales dañinos para el ambiente provenientes de los combustibles fósiles, como el plástico o el teflón? Es decir, ejemplos de voltear la mirada hay muchos y estamos seguros de que esta no será la excepción. Uno de los expositores mencionó que, al principio de la creación de la IA, imaginamos un mundo en el que la IA trabajaría para los humanos, sin embargo, en la actualidad, los humanos estamos trabajando para la IA, pues hay que darle mucha energía para mantenerla. Pero ¿acaso no todo es así en la actualidad?

Por otro lado, es importante recalcar que, ningún algoritmo puede sustituir las mediciones directas en el bosque. Sin datos de campo representativos, incluso los modelos más avanzados corren el riesgo de producir estimaciones sesgadas o poco confiables. En este sentido, el desarrollo de ecuaciones alométricas, ya sean específicas o por ecosistema, sigue siendo un componente esencial para la calibración y validación de los modelos de estimación. Aunque su desarrollo es costoso y requiere un esfuerzo considerable de muestreo y análisis, contar con estas ecuaciones alométricas locales (al menos a nivel de tipo de vegetación) es una inversión necesaria para reducir la incertidumbre y mejorar la precisión de las estimaciones de biomasa en los ecosistemas forestales del país.

Es fundamental comprender que la inteligencia artificial debe concebirse como una herramienta complementaria, no sustitutiva. Su valor radica en ofrecer nuevas perspectivas de análisis capaces de revelar patrones y relaciones que resultan invisibles para los métodos tradicionales, ampliando así nuestra capacidad de observación y predicción. Sin embargo, su eficacia depende del conocimiento experto de ecólogos, ingenieros forestales y modeladores matemáticos, cuya experiencia sigue siendo indispensable para interpretar los resultados, validar las estimaciones y garantizar la coherencia ecológica de los modelos.

Es un hecho que la IA no resolverá la crisis climática, hoy quizás la exacerbe. Sin embargo, tomando en cuenta el costo energético de su uso, quizás seamos más conscientes de cuándo debemos utilizarla y para qué. Consideramos que, lo que realmente se necesita para mitigar el cambio climático es voluntad política, respeto a los derechos de las comunidades forestales y una sociedad informada que valore los servicios que los árboles nos brindan: oxígeno, agua, suelos fértiles y hábitats para la biodiversidad, entre otros. Categóricamente no, la IA no salvará los bosques por sí sola, pero en manos de expertos, donde la precisión y la rapidez son cruciales, nos ofrece algo invaluable: una herramienta eficiente para tomar mejores decisiones en un contexto donde la sociedad requiere soluciones inmediatas, ya que lo que menos tenemos es tiempo. Por supuesto que el precio ambiental que pagaremos por el uso de esta tecnología será alto. Tan alto como el precio que hemos pagado por décadas al renunciar a conocer el costo energético de múltiples satisfactores que tenemos en las sociedades actuales, la mayoría de los cuales se obtienen del uso de combustibles fósiles y de sus derivados, así como de la extracción masiva de recursos naturales. Esta paradoja tecnológica-ambiental requiere un largo debate y una discusión informada por múltiples puntos de vista; se requiere el desarrollo de un pensamiento común, pero, sobre todo, socializar las consecuencias de esta herramienta en este nuevo mundo.

Referencias

Cameron J. 1984. Terminator (Película). Orion Pictures.

Ciencia en México. 2025. *Ciencia en México*.

<https://cienciaenmexico.com/> (Consultado: 30 de Octubre 2026)

Huchin Ochoa S.A., Navarro-Martínez A., Alan Ellis E., Hernández Gómez I.U. 2022. Deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México durante el período 1993-2017. *Madera y Bosques* 28 (3): e2832396.

<https://doi.org/10.21829/myb.2022.2832396>

Isaac-Márquez R. 2021. La expansión del cultivo de la palma de aceite en Campeche: de los pequeños productores a la agroindustria transnacional. *Región y Sociedad* 33: e1370.

<https://doi.org/10.22198/RYS2021/33/1370>

Karniadakis G.E., Kevrekidis I.G., Lu L., Perdikaris P., Wang S., Yang L. 2021. Physics-informed machine learning. *Nature Reviews. Physics* 3: 422–440.

<https://doi.org/10.1038/s42254-021-00314-5>

Nathaniel J., Nyirjesy G., Watson C.D., Albrecht C.M., & Klein L.J. 2023. Above ground carbon biomass estimate with physics-informed deep network. *IGARSS 2023 - 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1297–1300.

Talebiesfandarani S., Shamsoddini A. 2022. Global-scale biomass estimation based on Machine Learning and Deep Learning methods. *Remote Sensing Applications Society and Environment* 28: 100868.

<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100868>

El grandioso kanisté, delicia frutal y exquisitez culinaria

María Teresa Castillo-Burguete^{1*a}, Daniela A. Martínez-Natarén¹ y Virginia Solís-Montero^{2*b}

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida.
Antigua carretera a Progreso Km 6, 97310, Mérida, Yucatán, México.

²Universidad Autónoma de Yucatán, Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Carretera Mérida-Xmatkuil Km 15.5, 97315, Mérida, Yucatán, México.

^amaria.castillo@cinvestav.mx, ^bsolismonteromv@gmail.com

Resumen

El papel de las mujeres en la alimentación ha sido fundamental para conservar conocimientos y tradiciones culinarias. En este estudio exploramos la importancia del kanisté, una fruta subutilizada y su aceptación en preparaciones innovadoras. En un evento de divulgación en el marco del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia (11F), realizamos un taller y una degustación de pan dulce elaborado con kanisté. Los resultados mostraron una aceptación notable hacia ese pan, abriendo la posibilidad para revalorizar este fruto delicioso como un ingrediente gourmet en la gastronomía local e incentivando, simultáneamente, la conservación de frutales nativos a través de su consumo.

Palabras clave: Frutales nativos, gastronomía, mujeres, *Pouteria campechiana*, Sapotaceae.

Los antropólogos han estudiado la comida y, como parte de la antropología de la alimentación, se han estudiado los festines y sacrificios; también la comida consumida según la posición social de las personas, pero “hoy la antropología se ocupa de un mundo en el cual la gente, cada vez más, no consume lo que produce y no produce lo que consume, ni siquiera buena parte de lo que come” (Mintz 2003).

En la historia de la humanidad, las mujeres han desarrollado actividades y roles diversos asignados socioculturalmente, como el cuidado de la familia y la alimentación, incluida la de las festividades. Pilcher (1998), en su libro “¡Que vivan los tamales!”, refiere cómo Sahagún describe que en la sociedad azteca las mujeres preparaban muchos tamales para los festivales. Pero a través de la historia sabemos que las mujeres no solo cocinaban, Adovasio *et al.* (2008) señalan que, contrario a lo que se creía, en el Paleolítico el rol de las mujeres también incluía elaborar instrumentos de caza. Ahora las mujeres efectúan un sinnúmero de actividades, entre ellas las domésticas, sea que las coordinen o las realicen directamente. Los varones de las familias se han incorporado paulatinamente para participar en labores caseras, asumiendo las llamadas “nuevas paternidades” (Neuman 2021).

Históricamente, las mujeres han sido quienes se han encargado de la alimentación de la familia, ellas son las principales organizadoras y preparadoras de los alimentos y han creado guisos diversos con los ingredientes obtenidos en su entorno, contribuyendo a la gastronomía regional y, desde la perspectiva de Bourdieu (1998), al gusto por consumirla. Desde la infancia, como parte de la socialización primaria, aprendemos a degustar los alimentos, y preferimos

ciertas preparaciones por sobre otras, además de estos sabores conocidos. En la adultez, por la socialización secundaria, solemos probar sabores nuevos, incluso algunos que en la infancia no nos gustaron y puede que cambiemos de opinión (Berger & Luckmann 1979).

De forma cotidiana, los seres humanos también nos alimentamos con frutas, traídas de lugares lejanos o desde la oferta local, incluso las olvidadas (Carrillo *et al.* 2019, Carrillo *et al.* 2021, Jiménez *et al.* 2024) la mayor parte de ellas las consumimos frescas o en mermeladas, helados, postres, aguas frescas y, a veces, guisadas. La propuesta de guisar una de las frutas nativas, poco consumida en Yucatán, el kanisté (*Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni, Sapotaceae), surgió de Castillo-Burguete *et al.* (2024) para propiciar una oferta gastronómica gourmet propia: “¿de qué sabor quiere su helado? tenemos de nance, caimito, zapote, guaya y kanisté ¿qué pastel le sirvo? tenemos de plátano, vainilla y kanisté. En nuestro menú gourmet también tenemos pollo y cerdo agri-dulce en salsa de naranja agria y kanisté. Usted decide.”

El cultivo del kanisté y el estudio de sus características ha llegado incluso a países asiáticos, se han generado publicaciones en las cuales se da cuenta sobre sus propiedades nutricionales. Se sabe que el fruto es una fuente valiosa de nutrientes esenciales, provee proteína, fibra, energía, minerales esenciales, especialmente calcio, hierro, magnesio, potasio y sodio, cobre, zinc y vitaminas A y C. Puede ser considerado uno de los superalimentos y proponen promover su uso para añadir este ingrediente a la industria alimentaria (Nur *et al.* 2022). Al ser el kanisté una fruta tan rica en aspectos nutricionales y agradable al paladar, atendimos nuestra propia invitación y preparamos pan de kanisté, lo dimos a probar a las jóvenes que participaron en el evento conmemorativo del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, 11F en el Cinvestav, en el taller “Delicias frutales”. Abrimos estos espacios para compartir con jóvenes que buscan conocer lo que se investiga y abrir sus caminos hacia la ciencia, como una vía a seguir. El objetivo particular del taller fue presentarles un

panorama sobre una preparación gastronómica basada en kanisté, para conocer el gusto potencial hacia ella. Recibimos a 29 visitantes, 19 son alumnas de primer grado de la Secundaria Técnica y 8 de segundo grado del CBTIS, aledaños al Cinvestav, acompañadas por una profesora y un profesor, respectivamente.

Desarrollamos el taller a través de un acercamiento bioetnográfico, porque incorporamos aspectos provenientes de la biología y la etnografía para comprender las costumbres, tradiciones, formas de vida y las prácticas socioculturales de grupos específicos. En el taller también usamos un enfoque culinario, mediante actividades interactivas con materiales impresos, biológicos y degustaciones.



Figura 1. Jóvenes escolares atienden con interés las explicaciones sobre el uso del kanisté (Fotografía: Jasset Puc Vázquez).

La estructura del taller fue la siguiente: i) Presentamos carteles sobre el kanisté, explicándoles qué es y compartimos sus características organolépticas y cualidades nutricionales sobresalientes. Luego identificaron en la mesa las frutas vistas en los carteles (Fig. 1), ii) Exploramos la variedad de formas que conocemos para consumir frutas, además de frescas, y elaboramos un listado con sus respuestas (Fig. 2), iii) Platicamos que el año pasado sus compañeras aceptaron el reto de probar chayote y calabacitas crudas, que acostumbran a comer cocidas (Solís-Montero *et al.* 2024), pese a la sorpresa las probaron, les gustaron y repitieron el consumo. Preguntamos si consideraban que el kanisté podría consumirse fresco y tam-

bién preparado de otras maneras y las invitamos a probar una preparación que, en todo México, solo una docena de personas conocían: pan de kanisté. Animadas, lo probaron y expresaron sus opiniones (Fig. 3), iv) Al finalizar la actividad, invitamos a las jóvenes a germinar y cuidar una semilla de kanisté, usando una guía rápida de germinación elaborada por las autoras, explicándoles el procedimiento y resolviendo sus dudas.

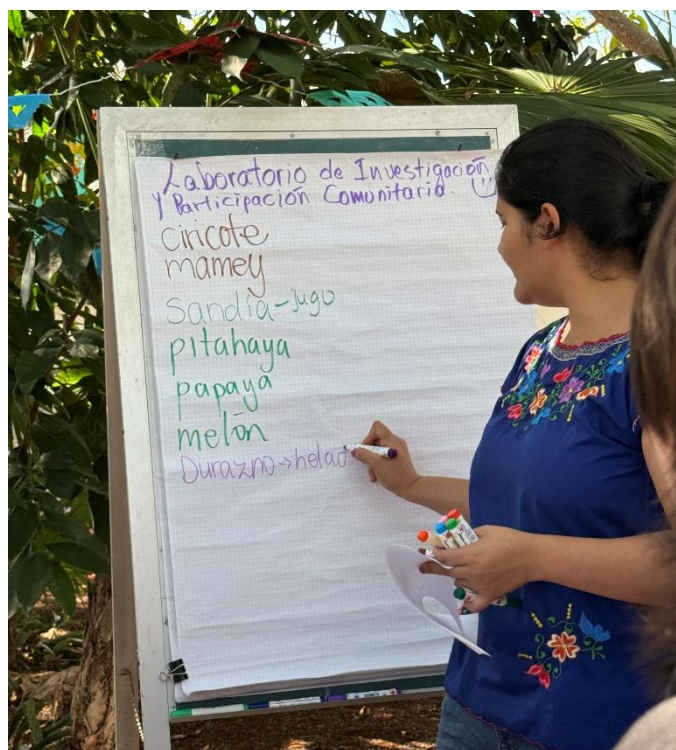


Figura 2. Registro de especies frutales y formas de preparación conocidas por las estudiantes (Fotografía: María Teresa Castillo-Burguete).

Los resultados generados a partir de las diferentes actividades realizadas como parte del taller muestran que la mayoría de las participantes encontraron agradables las características del pan de kanisté. El aspecto que más gustó fue el sabor, seguido del aroma. La textura del pan también agradó a la mayoría de las catadoras, mientras que el color ocupó el último lugar en preferencia. Sobre este último punto, el pan tenía la superficie de color ligeramente amarillenta, y el interior un color verdoso peculiar, que llamó la atención de quienes lo degustaron (Fig. 4).



Figura 3. Degustación del pan de kanisté, compartiendo sabores e impresiones culinarias (Fotografía: Jasset Puc Vázquez).

Una de las jóvenes expresó “tiene colores verdes y amarillos, es esponjoso y suave”. Otras compañeras destacaron del pan que tiene “textura muy agradable y sabor muy muy agradable”, también expresaron “¡me gustó muchísimo, por la suavidad y el sabor!”. Los profesores dijeron que les gustó mucho, que nunca lo habían probado y pidieron degustar la fruta en fresco. El profesor compartió que en su escuela tienen un árbol que ya da frutos, pero que no los había probado; la fruta le encantó y planea sembrarla en su terreno.

Con las participantes del taller reflexionamos sobre la actividad y ahora sabemos más sobre la importancia de apreciar los frutales nativos de Yucatán, porque a veces ni aquí los conocen y no podemos conservar lo que desconocemos (Fig. 5). Estamos afinando la receta del pan de kanisté y, por ahora, es un



Figura 4. El pan de kanisté presenta una miga en tonalidades verdes en su interior y una corteza bronceada, ligeramente amarillenta (Fotografía: María Teresa Castillo-Burguete).

primer paso hacia la revalorización de la fruta, que podría motivar a más consumidores a redescubrir este ingrediente, ampliar sus aplicaciones en la gastronomía y contribuir para el consumo de un pan saludable hecho con una fruta local.



Figura 5. Explicaciones sobre el pan de kanisté (Fotografía: María Teresa Castillo-Burguete).

Las investigadoras anfitrionas animaron a las jóvenes visitantes para construir, a través de la investigación científica, un camino que enriquezca la conservación, el uso de especies locales y abra el espacio necesario para tener una alimentación sabrosa, variada y lograr una huella ecológica menor al consumir frutos locales. Como “se hace camino al andar” en un futuro próximo, en algún café se podría escuchar “tenemos

pan de kanisté, clásico y también con especias exóticas ¿de cuál le sirvo?”

Agradecimientos

A Bianca Valencia Polanco, Wendy Vázquez Noh, Jasset Puc Vázquez y Lucely Molina Félix, del posgrado en Ecología Humana, por su participación entusiasta en el taller Delicias frutales durante la conmemoración del 11F 2025 en el Cinvestav ¡Gracias, compañeras!

Referencias

- Adovasio J. M., Soffer O., Page J. 2008.** *El sexo invisible*. Editorial Lumen, México, 360 pp.
- Berger P., Luckmann T. 1979.** *La construcción social de la realidad*. Amorrortu, Buenos Aires. 233 pp.
- Bourdieu P. 1998.** *La distinción. Criterios y bases sociales del gusto*. Taurus, Madrid. 597 pp.
- Carrillo Sánchez L., Jiménez Bañuelos C., Martínez Castillo J., Canché Pacheco W. 2019.** Más allá de las manzanas, las peras y los kiwis: las frutas del Jardín Botánico Regional “Roger Orellana”. *Desde el Herbario CICY* 11: 113–118. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2019/2019-06-13-Carrillo-Jimenez-Canche-El-JBR-coleccion-Frutas.pdf
- Carrillo Sánchez L., Jiménez Bañuelos C., Martínez Castillo J., Canché Pacheco W. y Orellana R. 2021.** Frutales nativos de la península de Yucatán: hacia una colección más exhaustiva del Jardín Botánico Regional “Roger Orellana”. *Desde el Herbario CICY* 13: 168–173. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2021/2021-09-02-Lia_Carrillo_et_al.-Frutales_nativos.pdf
- Castillo-Burguete M.T., Solís-Montero V., Martínez-Natarén D.A. 2024.** Sabores exquisitos que se van perdiendo: el kanisté en el camino del olvido. *Desde el Herbario CICY* 16: 180-184. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2024/2024-09-05-TCastillo-Sabores-exquisitos-que-se-van-perdiendo-el-kaniste-en-el-camino-del-olvido.pdf

Jiménez Parra J.E., Ortiz García M.M., Martínez Castillo J. 2024. Kanisté en la península de Yucatán, un tesoro frutal maya. *Desde el Herbario CICY* 16: 174-179.

https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2024/2024-09-05-EJimenez-Kaniste-en-la-peninsula-de-Yucatan-un-tesoro-frutal-maya.pdf

Mintz S.W. 2003. *Sabor a comida, sabor a libertad. IncurSIONES en la comida, la cultura y el pasado.* México, D. F., Ediciones de la Reina Roja, S.A. de C.V, 174 pp.

Neuman N. 2021. "Foodwork as the New Fathering? Change and Stability in Men's Housework". *Culture Unbound* 12(3): 527-549.

<https://doi.org/10.3384/cu.v12i3.3249>

Nur M.A., Khan M., Biswas S., Delowar K.M., Amin M.Z. 2022. Nutritional and biological analysis of the peel and Pulp of *Pouteria campechiana* fruit cultivated in Bangladesh. *Journal of Agriculture and Food Research* 8: 100296.

<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100296>

Pilcher J. 1998. *¡Que Vivan Los Tamales! Food and the Making of Mexican Identity.* University of New Mexico Press, Albuquerque. 234 pp.

Solís-Montero V., Martínez-Natarén D., Castillo-Burguete M.T. 2024. Semillas de conocimiento: descubriendo la ciencia detrás de los chiles. *Desde el Herbario CICY*, 16: 258-262.

https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2024/2024-12-12-VSolis-Semillas-del-conocimiento.pdf

El lado desconocido de la fibrilarina: ¿cómo una pequeña proteína nucleolar influye en el cáncer?

Jaime Abelardo Ceja-Lopez¹, Jany Valdez¹, Luis Carlos Rodríguez-Zapata² y Enrique Castaño de la Serna^{1*}

¹Unidad de Biología Integrativa, ² Unidad de Biotecnología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Calle 43 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

*enriquec@cicy.mx

Resumen

La fibrilarina (FBL) es una proteína fundamental que se encuentra en el nucléolo, tradicionalmente vinculada a la producción de ribosomas encargados de sintetizar proteínas. Sin embargo, investigaciones recientes han revelado su participación en el desarrollo de diferentes tipos de cáncer. Aquí exploramos cómo una pequeña proteína tiene un rol importante en procesos malignos. Descubrir el lado desconocido de la FBL podría abrir nuevas perspectivas para entender, diagnosticar y eventualmente tratar el cáncer desde una visión molecular más profunda.

Palabras clave: FBL, nucléolo, tumor.

El cáncer continúa siendo una de las principales causas de muerte en el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2023 se registraron más de 20 millones de nuevos casos y aproximadamente 10 millones de muertes atribuibles a

esta enfermedad. A pesar de los avances significativos en el diagnóstico, terapias dirigidas e inmunoterapia, en diferentes tipos de cáncer no se ha logrado tener un tratamiento eficaz (WHO 2024). En el núcleo de las células, que funciona como centro de control del material genético, existe una estructura llamada nucléolo. Aunque no tiene membrana lipídica que lo delimita como otros organelos dentro de la célula (como es el caso del núcleo, mitocondria, aparato de Golgi), el nucléolo es fundamental porque allí se transcriben los genes ribosomales (ADNr) es decir, se copia la información del ácido desoxirribonucleico (ADN) para producir ácido ribonucleico (ARN) que sirve como una instrucción para fabricar proteínas. Además, en el nucléolo se prepara el ARN que formará parte de los ribosomas, conocido como pre-ARN ribosomal (pre-ARNr), y que se une con otras moléculas para construir estas fábricas celulares llamadas ribosomas donde se producen las proteínas (Lafontaine *et al.* 2021).

Dentro del nucléolo se encuentra una proteína esencial para la vida que es la fibrilarina (FBL), esta proteína modifica químicamente al pre-ARNr. La FBL forma parte de complejos que modifican el ARN que se encuentra dentro del núcleo conocidas como pequeñas ribonucleoproteínas nucleolares y se encarga de agregar pequeñas marcas químicas (grupos metilo) en posiciones específicas a lo largo de la cadena de ARN. Esta modificación asegura que el ARN ribosomal se forme de manera adecuada y pueda cumplir su función estructural en los ribosomas encargados de sintetizar proteínas (Guillen-Chable *et al.* 2020). Investigaciones recientes muestran que la función de la FBL va más allá de su participación en la producción de ribosomas. Esta se ha encontrado en distintos tipos de cáncer (por ejemplo, cáncer de mama, pulmón, hígado y próstata), lo que se ha asociado con crecimiento celular descontrolado, evasión de la apoptosis (i.e. muerte celular programada) y daño en el material genético (Sun *et al.* 2023). El nucléolo es

un ejemplo claro de organización por separación de fases líquido-líquido, un fenómeno biofísico que ocurren por las interacciones de diferentes tipos de biomoléculas como ARN, ADN, lípidos y proteínas para formar biocondensados parecidos a gotas. El nucléolo tiene tres capas principales: el componente fibrilar, donde se transcriben los genes ribosomales; el componente fibrilar denso, donde se procesa el pre-ARNr y se concentra la FBL; y el componente granular, en donde se ensamblan las subunidades del ribosoma (Lafontaine *et al.* 2021) (Fig. 1A). En este ensayo destacamos la importancia emergente de la FBL en el desarrollo del cáncer.

La FBL es una proteína del nucléolo muy conservada, que se encuentra en organismos tan distintos como los mamíferos y las arqueas (microbios que viven en lugares extremos). Esta amplia presencia refleja su gran importancia a lo largo de la evolución (Rodríguez-Corona *et al.* 2015; Pereira-Santana *et al.* 2020). La FBL está compuesta por 321 aminoácidos y tiene dos regiones principales.

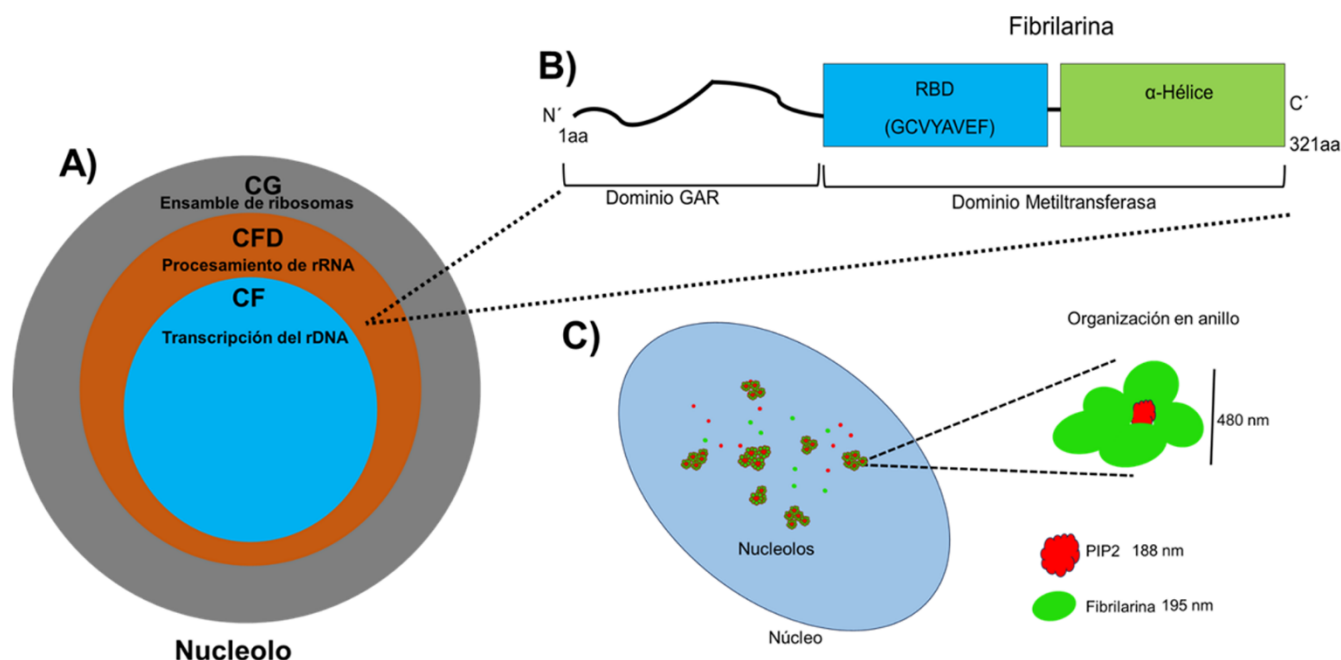


Figura 1. Estructura nucleolar y localización subcelular de fibrilarina. **A.** El nucléolo presenta tres regiones funcionales: Componente fibrilar (CF) (transcripción de ARNr), componente fibrilar denso (CFD) (procesamiento de ARNr) y componente granular (CG) (ensamblaje ribosomal). **B.** La FBL posee 321 aminoácidos distribuidos en tres dominios: uno desordenado rico en glicina y arginina (GAR), un dominio de unión a ARN (RBD) con la secuencia GCVYAVEF y un dominio α -hélice. **C.** Al interactuar con el lípido PIP2, la FBL forma estructuras tipo anillo de ~480 nm, rodeando un núcleo de PIP2 de ~188 nm. Las estructuras de la FBL tienen un tamaño promedio de ~196 nm y muestran una morfología irregular, posiblemente generadas por separación de fases líquido-líquido parecido a gotas (Imagen: Jaime Abelardo Ceja López).

La primera es el dominio GAR (zona rica en glicina y arginina, entre los aminoácidos 8–80), que participa en la capacidad de la proteína para formar condensados moleculares dentro del núcleo y no tiene estructura definida, es decir, es una región desordenada. La segunda es el dominio metiltransferasa, que incluye una región capaz de unirse de forma específica al ARN (aptámero GCVYAVEF) y una hélice alfa que ayuda a posicionar correctamente al sustrato durante la reacción catalítica (Fig. 1B) (Guillen-Chable *et al.* 2020, Shubina *et al.* 2016, Zhang *et al.* 2024).

Más allá de la biogénesis ribosomal, se ha descubierto que la FBL tiene otras funciones. Por ejemplo, puede modificar a las proteínas llamadas histonas alrededor de las cuales se enrolla el ADN, ayudando a organizarlo y controlar qué partes se usan, en particular mediante la metilación de la histona H2A en regiones en donde la transcripción la lleva a cabo la ARN polimerasa I (Loza-Muller *et al.* 2015). Además, la FBL puede cortar ARN (actividad ribonucleasa) y esta función es regulada por grasas (lípidos) especiales dentro del núcleo de la célula como, por ejemplo, el ácido fosfatídico (PA) y el fosfatidilinositol-4,5-bisfosfato (PIP2) (Guillen-Chable *et al.* 2020). Usando microscopía avanzada se ha visto que la FBL se agrupa alrededor de estas grasas formando estructuras en forma de anillo de aproximadamente 488 nanómetros de diámetro, con un núcleo lipídico de 188 nanómetros (Fig. 1C), lo que sugiere que participa en la organización de compartimentos separados por fases líquido-líquido dentro del nucléolo.

El futuro del estudio de la FBL apunta hacia experimentos que vayan más allá de describir su presencia en el cáncer, ahora el reto es entender cómo y por qué su alteración cambia el destino de una célula. Nuevas técnicas, como la edición genética de precisión y la microscopía de condensados biomoleculares, permitirán observar en tiempo real cómo FBL se organiza dentro del nucléolo y cómo responde a señales del entorno tumoral. También será clave explorar si modificar sus sitios de fosforilación (una modificación química reversible en la

que se añade un grupo fosfato a la proteína, alterando su actividad o localización) o metilación (la adición de pequeños grupos metilo que pueden cambiar cómo la proteína interactúa con otras moléculas) puede revertir el comportamiento maligno de las células. Incluso, podrían desarrollarse moléculas que interfieran con sus interacciones con RNA o proteínas clave, abriendo el camino hacia terapias dirigidas. En conjunto, el estudio de FBL no solo busca comprender el cáncer, sino también reescribir nuestra visión sobre la organización dinámica del núcleo y su papel en la vida y la enfermedad.

Ahora, hay que preguntarnos: ¿Podría una proteína pequeña del nucléolo tener un papel tan decisivo en el cáncer?

Como ya mencionamos, se creía que la FBL solo cumplía funciones básicas dentro del nucléolo, pero hoy sabemos que, cuando se desregula, puede favorecer que células normales se conviertan en cancerosas. Pero, ¿cómo lo hace? La FBL ayuda a que las células se dividan más rápido de una forma descontrolada, evita que mueran cuando deberían hacerlo, altera la reparación del ADN y cambia la forma en que se activan ciertos genes (Sun *et al.* 2023). Los estudios muestran que la FBL aumenta en diferentes tipos de cáncer, como los de hígado, colon, pulmón, mama y próstata (Zhang *et al.* 2021, Sun *et al.* 2023). Por ejemplo, en cáncer de hígado, niveles altos de FBL se asocian con tumores más agresivos que invaden tejidos (Nguyen *et al.* 2022, Zhi *et al.* 2025). Pero el caso del cáncer de mama es más intrigante, ¿por qué tanto el exceso como la falta de la FBL se relacionan con un mal pronóstico? En algunos casos, demasiada FBL impulsa la producción de ribosomas y proteínas que alimentan al tumor, mientras que en otros, su pérdida reduce la capacidad de reparar el ADN, acumulando mutaciones que favorecen el cáncer. Ahora bien, es importante estudiar la interacción de otras moléculas con la FBL, como en la que la FBL se une a PARP1 y RAD51, factores esenciales en la reparación del ADN, un mecanis-

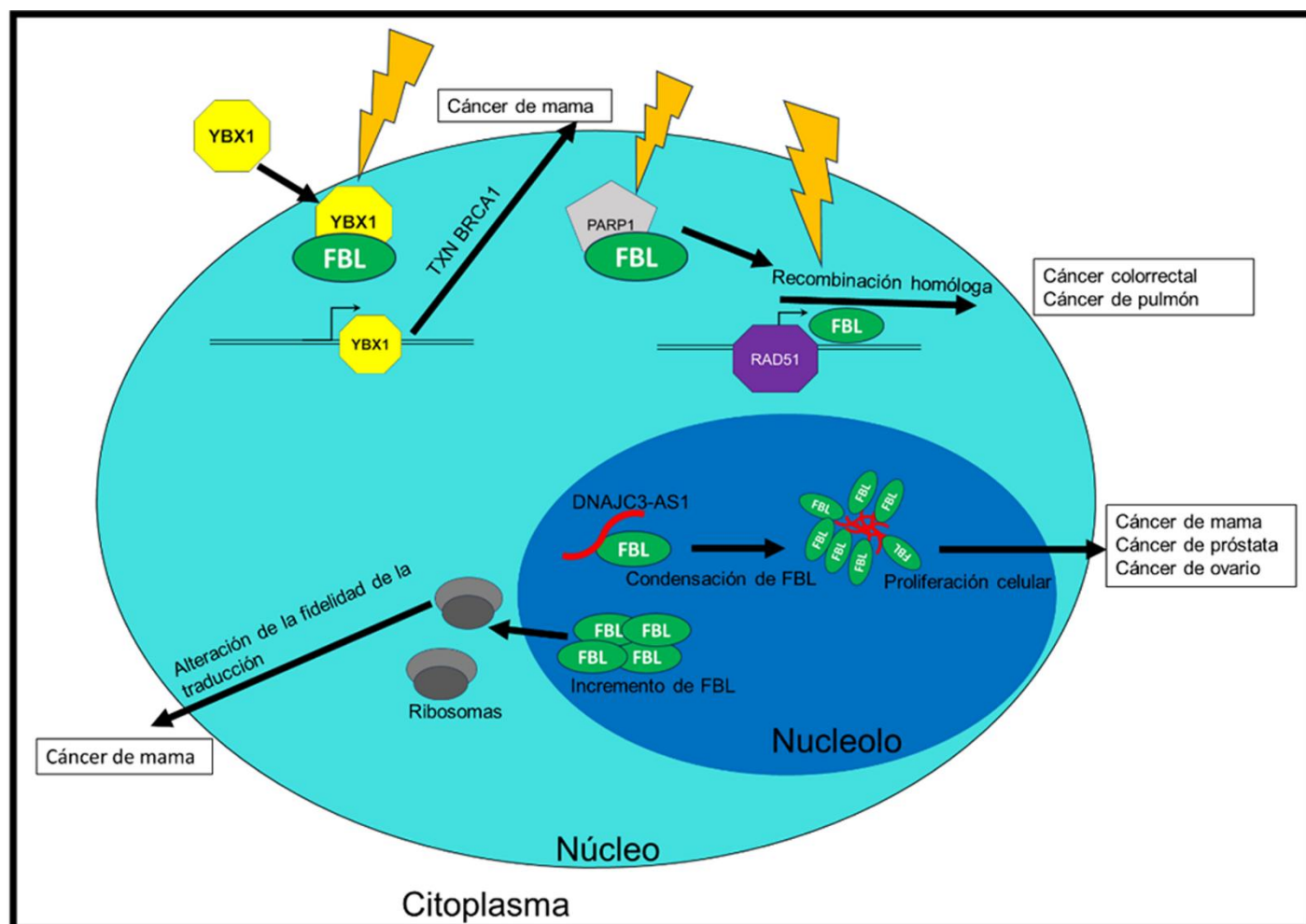


Figura 2. Interacciones moleculares de la fibrilarina en la progresión tumoral. La FBL modula la reparación del ADN al interactuar con RAD51 y PARP1, facilitando la recombinación homóloga y la estabilidad genómica. Su asociación con YBX1 favorece la transcripción de BRCA1, potenciando la respuesta al daño genotóxico. En el nucleolo, la FBL interacciona con los ARN largos no codificantes DNAJC3-AS1 y promueven la condensación nucleolar mediante separación de fases. La sobreexpresión de la FBL se correlaciona con características pro-tumorales, incluyendo proliferación celular acelerada, resistencia a agentes terapéuticos y progresión maligna (Imagen: Enrique Castaño).

mo crucial para mantener el genoma estable (Fig. 2) (Zhi *et al.* 2025). También, la FBL interactúa con YBX1 para activar BRCA1, un supresor tumoral clave. Cuando este sistema FBL-YBX1-BRCA1 falla, las células pueden volverse más resistentes a quimioterapia y radioterapia (Fig. 2). ¿Podría ser entonces la FBL una pieza clave para diagnosticar y clasificar pacientes? Por todo lo anteriormente expuesto, podemos decir que sí. Su desregulación la convierte en un biomarcador prometedor, y su capacidad de formar compartimentos celulares mediante separación de fases líquido-líquido (LLPS) ofrece una nueva forma de entender cómo se organiza el núcleo en las células tumorales. Es por

todo esto que esta proteína pequeña que se encuentra dentro del nucleolo es un campo de estudio en crecimiento para comprender sus funciones en la progresión de diferentes tipos de cáncer. Pero la gran pregunta es: ¿qué otros secretos guarda esta pequeña proteína que podrían cambiar la forma en que entendemos y tratamos el cáncer?

Referencias

Guillen-Chable F., Rodríguez Corona U., Pereira-Santana A., Bayona A., Rodríguez-Zapata L.C., Aquino C., Šebestová L., Vitale N., Hozak P., Castano E. 2020. Fibrillarin ribonuclease activity is

- dependent on the GAR domain and modulated by phospholipids. *Cells* 9(5): 1143.
<https://doi.org/10.3390/cells9051143>
- Hu J., Li D., Liu C. 2024.** LncRNAs chaperoning dynamic protein condensates in cancer cells. *Molecular Cell* 84(24): 4695–4697.
<https://doi.org/10.1016/j.molcel.2024.11.028>
- Lafontaine D.L.J., Riback J.A., Bascetin R., Brangwynne C.P. 2021.** The nucleolus as a multiphase liquid condensate. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 22(3): 165–182.
<https://doi.org/10.1038/s41580-020-0272-6>
- Loza-Muller L., Rodriguez-Corona U., Sobol M., Rodríguez-Zapata L.C., Hozak P., Castano E. 2015.** Fibrillar methylation of H2A in RNA polymerase I trans-active promoters in *Brassica oleracea*. *Frontiers in Plant Science*, 6, 976.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00976>
- Marcel V., Ghayad S.E., Belin S., Therizols G., Morel A.-P., Solano-González E., Vendrell J.A., Hacot S., Mertani H.C., Albaret M.A., Bourdon J.-C., Jordan L., Thompson A., Tafer Y., Cong R., Bouvet P., Saurin J.-C., Catez F., Prats A.-C., Puisieux A., Diaz J.-J. 2013.** p53 acts as a safeguard of translational control by regulating fibrillar and rRNA methylation in cancer. *Cancer Cell* 24(3): 318–330.
<https://doi.org/10.1016/j.ccr.2013.08.013>
- Nguyen Van Long F., Lardy-Cleaud A., Carène D., Rossoni C., Catez F., Rollet R., Pion N., Monchiet D., Dolbeau A., Martin M., Simioni V., Bray S., Beherrec D.L., Mosele F., Bouakka I., Colombe-Vermorel A., Odeyer L., Diot A., Jordan L.B., Thompson A.M., Jamen F., Dubois T., Chabaud S., Michiels S., Treilleux I., Bourdon J.-C., Pérol D., Puisieux A., André F., Diaz J.-J., Marcel V. 2022.** Low level of Fibrillar, a ribosome biogenesis factor, is a new independent marker of poor outcome in breast cancer. *BMC Cancer* 22: 526.
<https://doi.org/10.1186/s12885-022-09552-x>
- Pereira-Santana A., Gamboa-Tuz S.D., Zhao T., Schranz M.E., Vinuesa P., Bayona A., Rodríguez-Zapata L.C., Castano E. 2020.** Fibrillar evolution through the Tree of Life: Comparative genomics and microsynteny network analyses provide new insights into the evolutionary history of Fibrillar. *PLoS Computational Biology* 16(10): e1008318.
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008318>
- Rodriguez-Corona U., Sobol M., Rodriguez-Zapata L.C., Hozak P., Castano E. 2015.** Fibrillar from Archaea to human. *Biology of the Cell* 107(6): 159–174. <https://doi.org/10.1111/boc.201400077>
- Shubina M.Y., Musinova Y.R., Sheval E.V. 2016.** Nucleolar methyltransferase fibrillar: Evolution of structure and functions. *Biochemistry (Moscow)* 81: 941–950.
<https://doi.org/10.1134/S0006297916090030>
- Sun X., Gao C., Xu X., Li M., Zhao X., Wang Y., Wang Y., Zhang S., Yan Z., Liu X., Wu C. 2023.** FBL promotes cancer cell resistance to DNA damage and BRCA1 transcription via YBX1. *EMBO Reports* 24(9): e56230.
<https://doi.org/10.15252/embr.202256230>
- World Health Organization. 2024.** Cancer.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer> (consultado: 25 Noviembre 2025).
- Zhang J., Yang G., Li Q., Xie F. 2021.** Increased fibrillar expression is associated with tumor progression and poor prognosis in hepatocellular carcinoma. *Oncology Letters* 21(2): 92.
<https://doi.org/10.3892/ol.2020.12353>
- Zhang X., Li W., Sun S., Liu Y. 2024.** Advances in the structure and function of the nucleolar protein fibrillar. *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 12: 1494631.
<https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1494631>
- Zhi Y., Guo Y., Li S., He X., Wei H., Laster K., Wu Q., Zhao D., Xie J., Ruan S., Lemoine N.R., Li H., Dong Z., Liu K. 2025.** FBL promotes hepatocellular carcinoma tumorigenesis and progression by recruiting YY1 to enhance CAD gene expression. *Cell Death & Disease* 16(1): 348.
<https://doi.org/10.1038/s41419-025-07684-z>

Próximo número

Aquí les damos un adelanto de los ensayos que aparecerán en nuestro número de abril.

Olopillo (*Couepia poliantha*): un frutal que transita entre la conservación y el olvido en la Sierra Norte de Puebla

José Espinoza-Pérez

Resumen. En México, los árboles frutales nativos y endémicos enfrentan un desplazamiento en los agroecosistemas y en su consumo, siendo estos reemplazados por especies exóticas de mayor valor económico. Esto ha provocado su subutilización y la erosión del conocimiento tradicional asociado a sus usos y manejo. Este artículo aborda el caso del olopillo, especie de importancia para los pueblos originarios de la Sierra Norte de Puebla, cuyo consumo y valor sociocultural están en declive. Frente a esto, el Jardín Etnobiológico de los Siete Pueblos Originarios de Puebla impulsa su conservación mediante prácticas agroecológicas, buscando preservar su papel biocultural.

La fresa que echó raíces: Crónica de una fruta adoptada

Marisol Ocampo Sandoval, Elizabeth Quintana Rodríguez y Johnattan Hernández Cumplido

Resumen. México es el tercer productor mundial de fresas (*Fragaria* sp.), aun cuando esta fruta no es originaria de nuestro país. Introducida en Irapuato, Guanajuato, en 1852, su cultivo ha ido evolucionando como consecuencia de la hibridación y la domesticación, adquiriendo gran importancia comercial. Las fresas, originarias de varias zonas templadas del mundo, han sido trasladadas, naturalizadas e incluso consideradas invasoras en algunos lugares. Su evolución es compleja, debido a cruces entre especies que han dificultado rastrear su origen, resultando en variedades adaptadas a las condiciones locales.

¿En qué se parecen las abejas altamente sociales a los panaderos y a las vacas?

Alejandro Pérez-Morfi y Azucena Canto

Resumen. La necesidad de alimentarse que compartimos humanos, abejas y vacas, así como la dificultad de digerir ciertos alimentos, llevó a cada uno a asociarse con microorganismos para lograrlo. Así, la evolución y la cultura muestran paralelismos en la forma en que se establecen asociaciones con microorganismos para procesar alimentos difíciles de digerir. Gracias a estas alianzas, tanto las abejas como los humanos aprendimos a hacer pan, mientras que las vacas desarrollaron un sistema digestivo capaz de albergar y conservar microorganismos esenciales para su nutrición, de manera muy similar a como lo hacemos los humanos y las abejas en nuestros intestinos.

Plantas que desafían la salinidad: el caso del junquillo (*Eleocharis mutata*) en Tabasco

Edmundo Rosique-Gil, Verónica Domínguez-Rodríguez, Randy H. Adams y Liliana Hernández-Acosta

Resumen. En Tabasco, el junquillo (*Eleocharis mutata*) ha mostrado una capacidad excepcional para desarrollarse en suelos altamente salinos contaminados por descargas petroleras. Esta especie halófila puede crecer en conductividades eléctricas extremas, mejora el contenido de materia orgánica y actúa como pionera en procesos de sucesión vegetal, favoreciendo la instalación de especies menos tolerantes como el espadaño (*Typha* sp.) Su resistencia y efecto positivo sobre el suelo la convierten en una alternativa viable para la restauración de humedales tropicales degradados. Este caso destaca la importancia de integrar especies nativas en estrategias sostenibles alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.