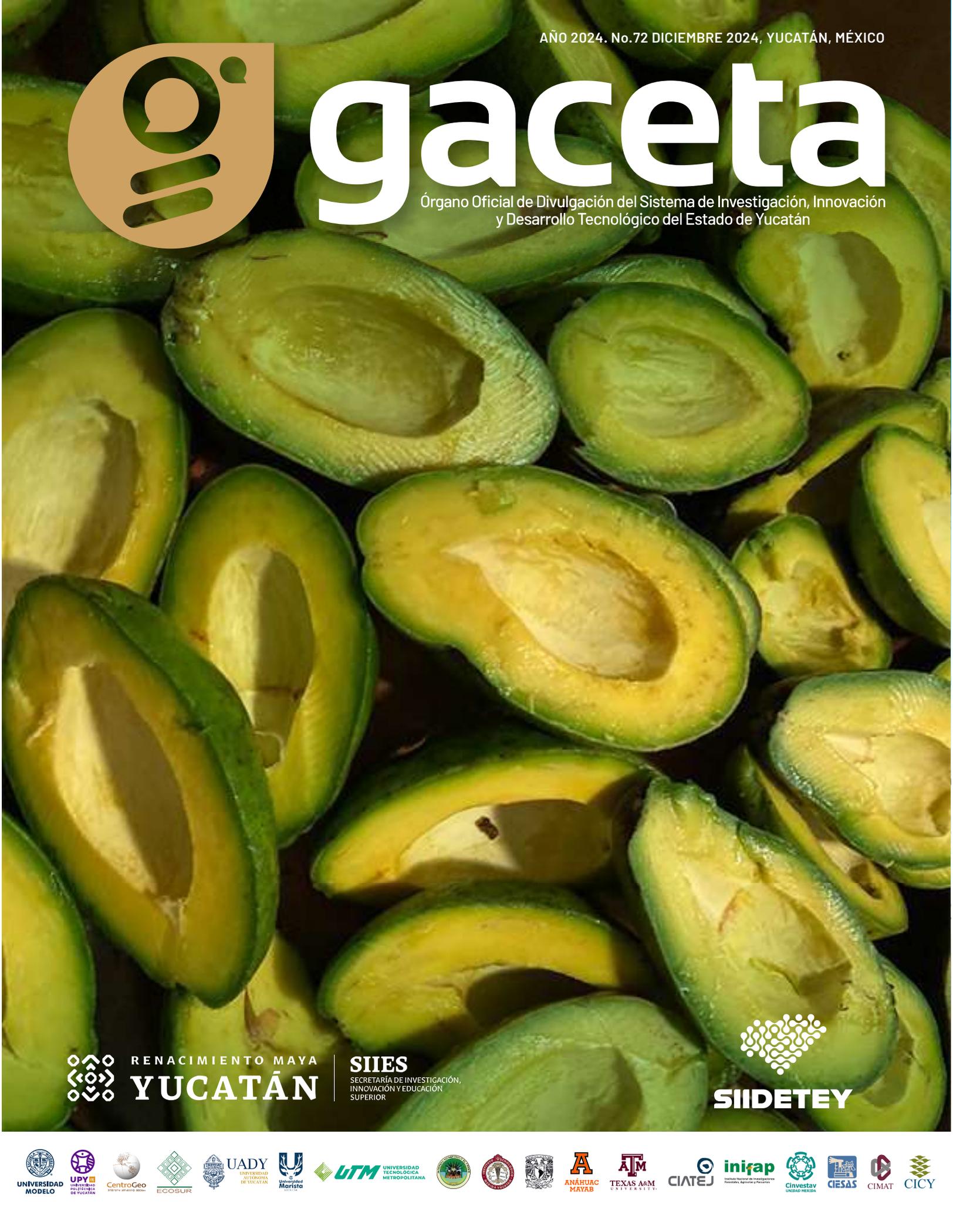




gaceta

Órgano Oficial de Divulgación del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán



RENACIMIENTO MAYA
YUCATÁN

SIIES
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN
SUPERIOR



SIIDETEY



gaceta

Órgano Oficial de Divulgación del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán

Órgano Oficial de Divulgación de la Ciencia y Tecnología en Yucatán

Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán



Contáctanos: gaceta.siidetev@gmail.com

www.siidetev.org

Estimados lectores de la Gaceta y miembros del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán (SIIDETHEY):

Es un gran honor asumir el cargo de Presidenta de este importante Sistema para la ciencia en el sureste de México. Quiero expresar mi más sincero reconocimiento y gratitud a cada una de las instituciones que conforman el SIIDETHEY, así como destacar su dedicación y compromiso con la ciencia y la investigación.

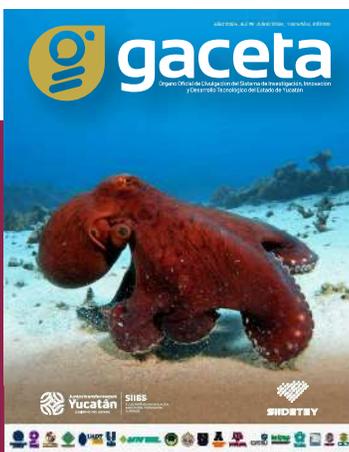
Con esta edición 72, la Gaceta celebra 12 años como órgano de divulgación científica. A lo largo de este tiempo, este medio ha acercado propuestas y soluciones de la comunidad científica a la ciudadanía, enfocándose especialmente en aquellos que buscan enfrentar las dificultades que nos aquejan como sociedad.

En esta edición, exploramos temas tan relevantes como las humanidades digitales, el sargazo y las especies vegetales y animales endémicas de Yucatán, incluyendo el aguacate, el ramón y el pulpo maya. Cada uno de los artículos que integran esta revista ofrece visiones, hallazgos, propuestas y soluciones a problemáticas presentes en nuestro entorno, reflejando el compromiso de la comunidad científica por compartir sus investigaciones con la sociedad.

Agradecemos su interés en esta publicación y los invitamos a disfrutar los contenidos que nuestro cuerpo de investigadores ha preparado para sus lectores.

Dra. Geovanna Campos Vázquez

Secretaria de Investigación, Innovación y Educación Superior /
Presidenta del SIIDETHEY



Quiénes Somos:

La Gaceta SIIDETHEY No. 71, mayo - agosto 2024, es una publicación digital cuatrimestral, editada por el Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán; cuenta con un Comité Editorial que aprueba la publicación de los artículos y fotografías que son enviados por las instituciones miembros. Los artículos son responsabilidad de cada autor y su utilización total o parcial debe ser autorizada por el SIIDETHEY, www.siidetey.org, siidetey.siies@gmail.com.

La Gaceta SIIDETHEY tiene una paginación variable; realizada en la ciudad de Mérida, Yucatán, México, en las oficinas de la Dirección General de Investigación e Innovación de la SIIES, ubicadas en la calle 31ª No. 300 por 8, Col. San Esteban. C.P. 97149, fecha de última modificación 30 de agosto de 2024.



Directorio

Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior

Dra. Geovanna Campos Vazquez

Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. Carlos Alberto Estrada Pinto

Centro de Investigación Científica de Yucatán

Dra. Maira Rubí Segura Campos

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Unidad Mérida

Dr. Gabriel Merino Hernández

Subsede Sureste del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco

Dr. Manuel Ramírez Sucre

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social

Dra. Laura Machuca Gallegos

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Xavier Chiappa Carrara

Universidad Tecnológica Metropolitana

Mtra. Marysol Canto Ortiz

Instituto Tecnológico de Conkal

Mtra. Rocío Elizabeth Pulido Ojeda

Centro de Investigación Regional Sureste del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

M.C. Bartolo Rodríguez Santiago

Instituto Tecnológico de Mérida

Dr. José Antonio Canto Esquivel

Texas A&M University

Dr. Zenón Medina Cetina

Universidad Anáhuac Mayab

Ing. Miguel Pérez Gómez

Universidad Marista de Mérida

M.I. Ermilo José Echeverría Castellanos

Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial-Mérida

Dr. Oscar Sánchez Siordia

Centro de Investigación en Matemáticas

Dr. José Carlos Gómez Larrañaga

El Colegio de la Frontera Sur

Dr. Antonio Saldivar Moreno

Universidad Politécnica de Yucatán

Mtro. Aarón Rosado Martínez

Universidad Modelo

Ing. Carlos Sauri Duch

Comité Editorial

UNAM-ENES MÉRIDA

Daniela H. Tarhuni Navarro

INIFAP

Raúl Díaz Plaza

CICY

Miguel Gibran Román Canto

CENTROGEO

Ana Cristina Palma Cabañas

UNAM Campus Yucatán

Mónica S. Enríquez Ortiz

UNIVERSIDAD MARISTA DE MÉRIDA

Alfonso Cuevas Jiménez

CIATEJ

Élida Gastélum Martínez

UNIVERSIDAD ANAHUAC MAYAB

Mariana Berenice González Leija

CIESAS

Inés Isabel Cortés Campos
Cristobal Alfonso Sánchez Ulloa

UADY

Ramon Peniche Mena

UNIVERSIDAD MODELO

Jorge Carlos Canto Esquivel

ECOSUR

María Magdalena Jiménez Ramírez

CINVESTAV

Rafael Rivera Bustamante

CIMAT

Joel Antonio Trejo Sánchez

SIIES

Ericka Guiselle Garibay Nava

ITM

Gabriel Lizama Uc

UPY

Lucero Priscila Damián Adame

Responsable de la información

Dirección General de Investigación e Innovación

Responsable de la publicación

Dirección General de Investigación e Innovación

Diseño editorial

Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior
Mario Javier Traconis Alburquerque

Humanidades digitales, literatura y mujeres: recuperación y visibilización del aporte literario de escritoras de Latinoamérica y el Caribe (siglo XV-1960).....	5
Semilla de aguacate yucateco (Persea americana var. americana) como fuente de obtención de bioetanol 2G.....	11
Exploración del almidón de semillas de ramón para materiales biodegradables: sinergia con biopolímeros derivados de fuentes pesqueras y acuícolas.....	15
Las grasas buenas de <i>Octopus maya</i>: valor nutricional y su microencapsulación para su incorporación en alimentos.....	19
Florecimientos Algales Nocivos en la Península de Yucatán.....	23
¿Qué es el holobionte coralino? una visión general de su función.....	27
Residuos plásticos: una fuente de materia prima para obtener membranas para purificación de agua.....	31
Soluciones basadas en la naturaleza: una alternativa frente a las inundaciones en la ciudad de Mérida, Yucatán.....	35
La ciudad de Mérida frente al cambio climático y al acelerado cambio de uso de suelo: la importancia de la conservación de los bosques urbanos.....	39
Franjas satelitales: un bosquejo de la topografía terrestre y sus variaciones.....	43

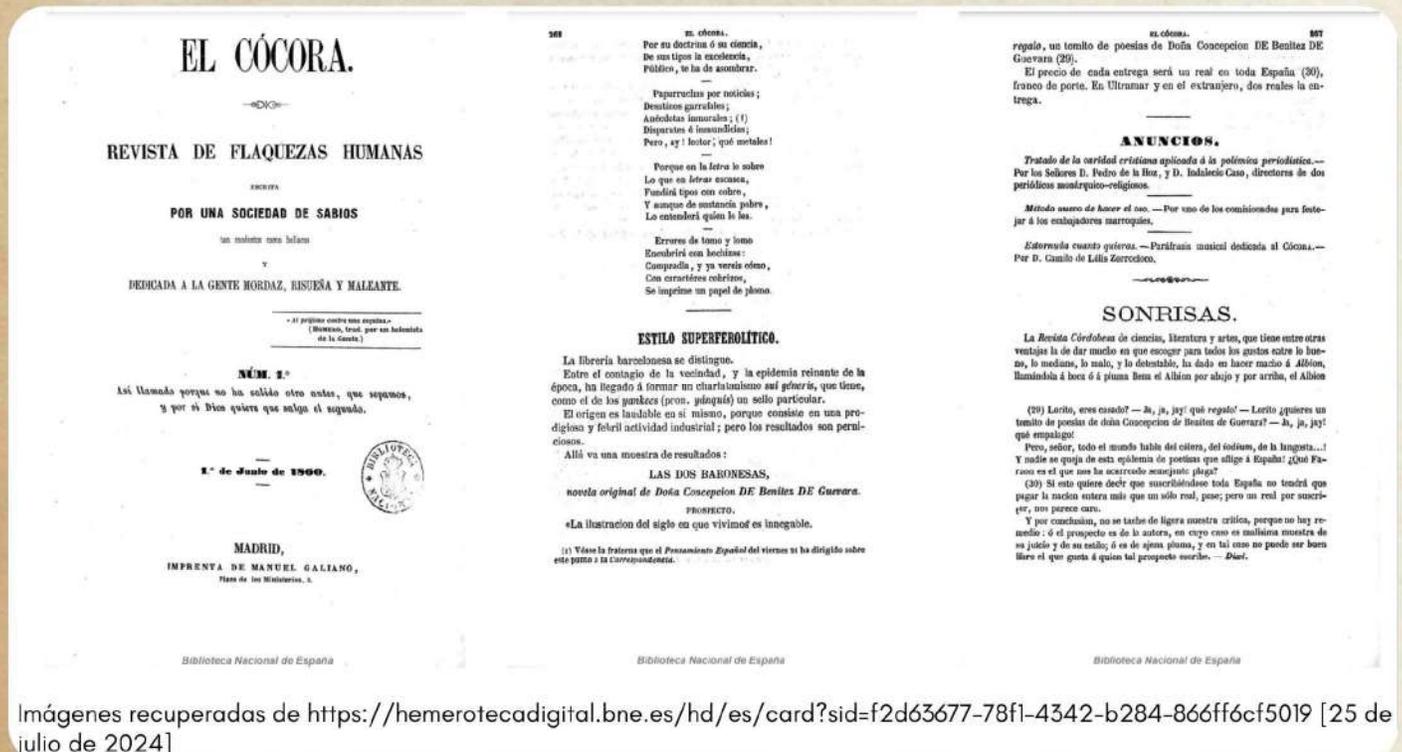
Humanidades digitales, literatura y mujeres: recuperación y visibilización del aporte literario de escritoras de Latinoamérica y el Caribe (siglo XV-1960)

Autora: Dra. Silvia Alicia Manzanilla Sosa

Correo: samanzanilla@gmail.com

Palabras clave: humanidades digitales, literatura latinoamericana, literatura y tecnología digital

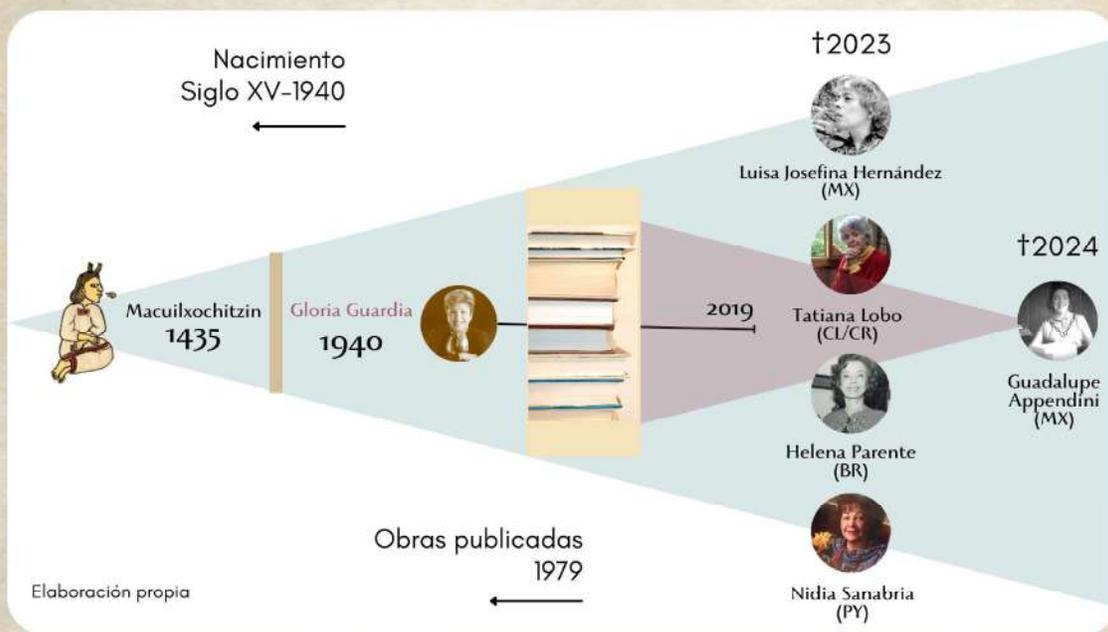
Hasta fechas recientes la aparente ausencia de escritoras en la literatura de otros siglos, o su presencia esporádica, no llamó demasiado la atención ni levantó sospechas, pues la verdad asumida o la creencia generalizada dictaba que hubo pocas escritoras, y buenas obras escritas por ellas, todavía menos. Sin embargo, numerosos testimonios decimonónicos delatan, a su pesar, un panorama distinto. Por ejemplo, en 1855 el estadounidense Nathaniel Hawthorne se quejaba amargamente: "America is now wholly given over to a damned mob of scribbling women" (como se citó en Frederick, 1975), quienes vendían libros literalmente por millares (Mott). En 1860 el periódico satírico madrileño *El Cócora* reimprimió el prospecto de publicación de una novela por entregas de la española Concepción Benitez, agregando –sin firma– treinta notas a pie de página para burlarse del texto original; en la 29 leemos: "Pero, señor, todo el mundo habla del cólera, del *iodium*, de la langosta...! Y nadie se queja de esta epidemia de poetisas que aflige á España. ¿Qué Faraón es el que nos ha acarreado semejante plaga?" (p. 267). Todavía en 1900 el nicaragüense Rubén Darío se quejaba de lo mismo: "en este siglo las literatas y poetisas han sido un ejército", un "inútil y espeso follaje" (2003, s.p.). Los ejemplos abundan.



Pero, si las escritoras fueron epidemia, plaga, ejército... ¿por qué carecemos de una nómina desbordada que nos obligue a depurarla? ¿Qué fue de ellas? ¿En dónde están sus obras? Por desgracia, los materiales bibliohemerográficos indispensables para documentar mejor el aporte de las mujeres a las literaturas de América Latina y el Caribe (LAC) están dispersos alrededor del mundo y en internet, muchas veces en modalidad de acceso restringido. Aunque ha habido esfuerzos por reunirlos, casi siempre éstos se han enfocado en un periodo, un movimiento artístico, un género literario, o algunos países. Desde mi perspectiva, hace falta un movimiento complementario, orientado a construir visiones de conjunto dinámicas, que tracen redes, rastreen patrones y ofrezcan diversas rutas de navegación entre obras, escritoras, temas, regiones, etc.

Mi proyecto de investigación "Humanidades Digitales y estudios de género: recuperación, recopilación y visibilización de la literatura hecha por mujeres en y de Latinoamérica y el Caribe hasta 1960", asesorado por la Dra. Margaret Shrimpton y financiado por el CONAHCYT a través del programa Estancias Posdoctorales por México 2022 (3), se basa en una hipótesis sencilla y poco novedosa: las escritoras de LAC fueron mucho más numerosas y prolíficas de lo que sabemos. No obstante, la originalidad de mi investigación podría no radicar en el *qué*, sino en el *cómo*, pues, dada la complejidad de la tarea, conjuga diversos esfuerzos disciplinares, con énfasis en la investigación tradicional en literatura y las humanidades digitales.

El proyecto tiene pretensiones de exhaustividad: ambiciona registrar a todas las escritoras de LAC nacidas hasta 1940. Este año sirve como tope porque numerosas escritoras nacidas después siguen produciendo, gozan de reconocimiento y sus obras se pueden localizar con relativa facilidad.

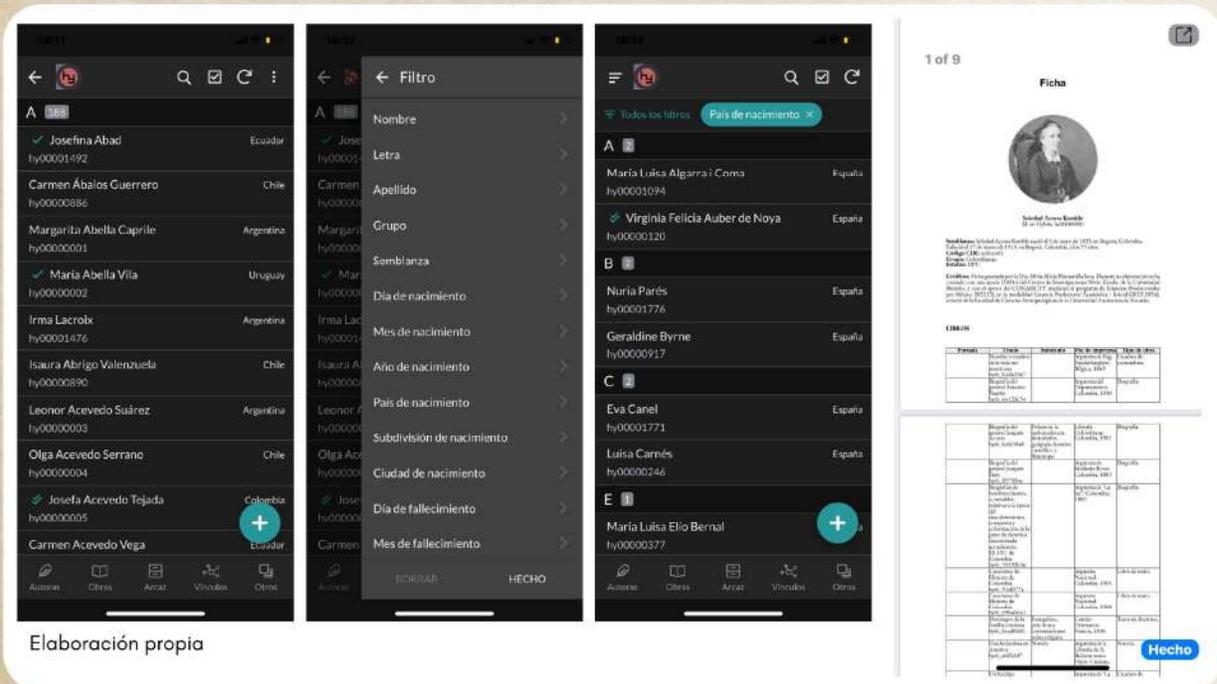


El catálogo de escritoras ya tiene 1794 registros, con sus correspondientes fichas bibliográficas en proceso. Para estructurar la información se asigna identificadores a todas las entidades: escritoras, revistas, periódicos, poemas, cuentos, novelas, cartas, etc.; y a las múltiples relaciones entre nodos (aristas): autoría, parentescos, nacionalidad, agrupaciones, etc. Para interactuar con la información se está diseñando una base de datos relacional y un prototipo de app. La primera permitirá hacer búsquedas específicas, y la segunda fomentará la navegación entre tablas para construir visiones de conjunto.



Elaboración propia

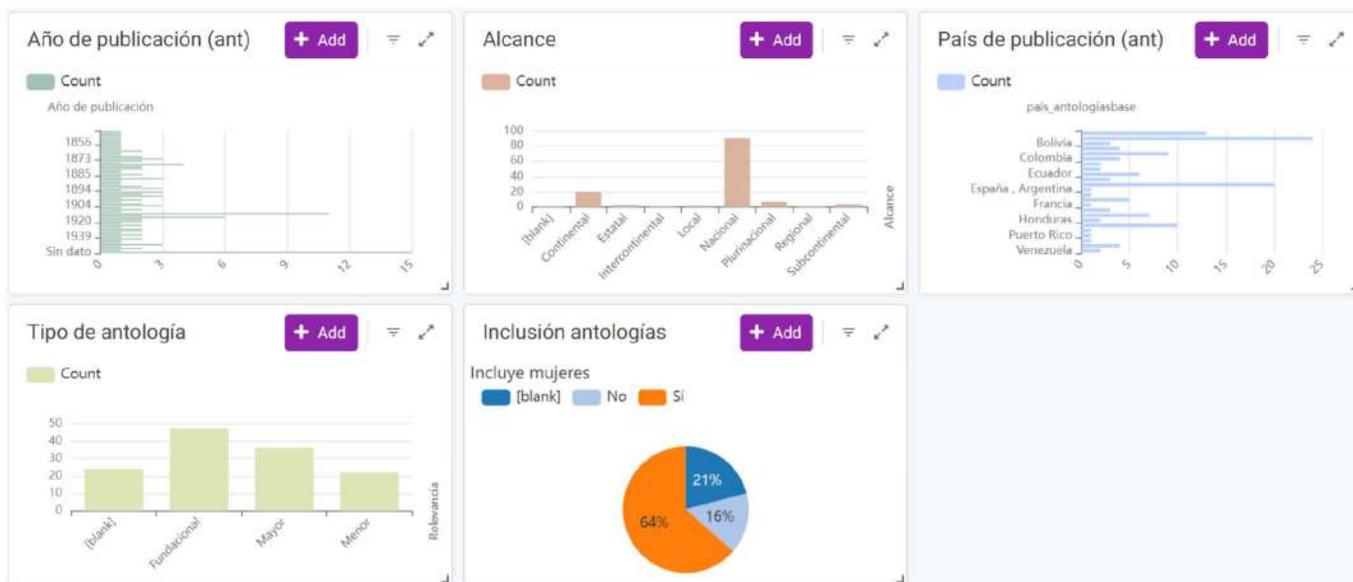
Mediante la automatización de procesos, la app posibilita generar al instante la ficha actualizada en formato PDF de los registros de escritoras, libros, antologías y publicaciones periódicas del corpus.



Elaboración propia

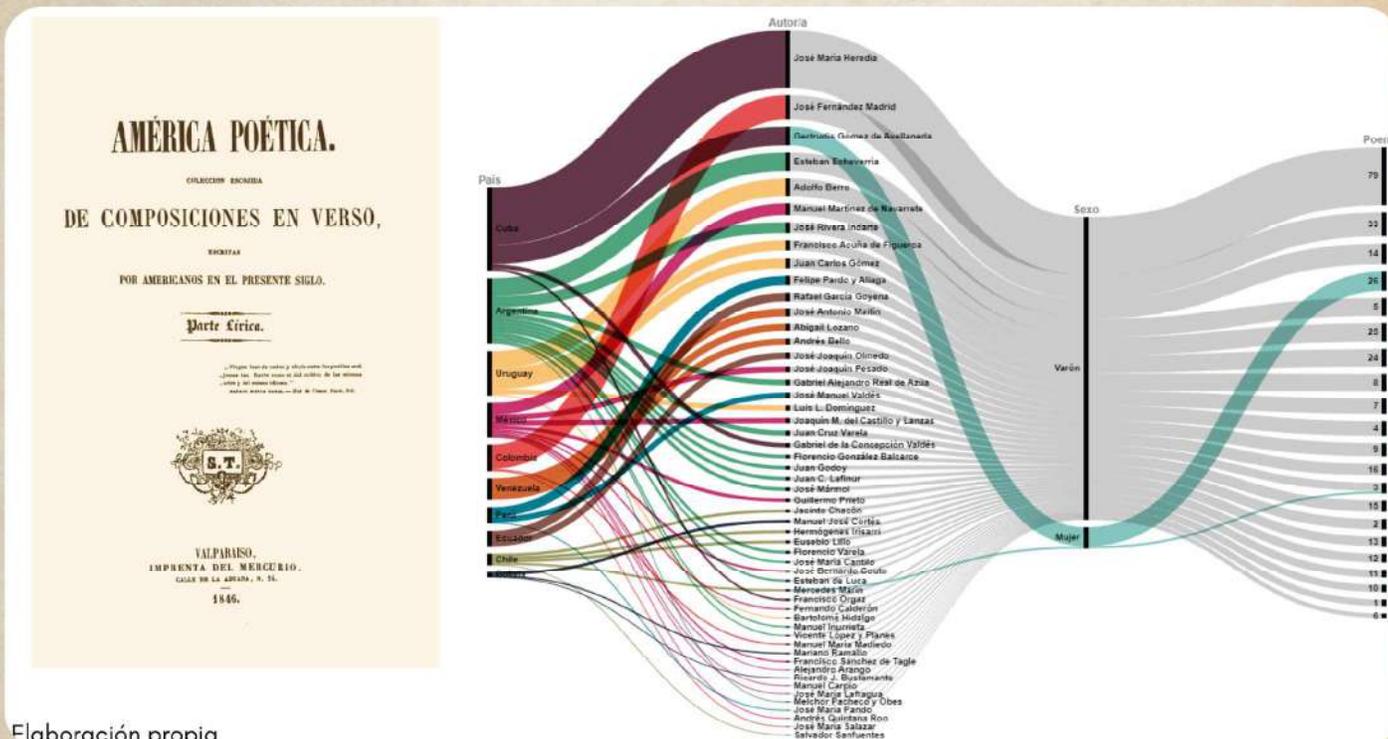
El propósito es producir información útil para comprender qué estaban publicando las mujeres (y los varones), dónde, cuándo, cómo se agruparon, etc. Dicha información puede analizarse en su conjunto o al detalle, dependiendo del interés de quien realice cada búsqueda. Por ende, se mejoran las condiciones para estudiar, por ejemplo, si se explora lo relativo a las antologías, la conformación y el establecimiento del canon, y la paulatina exclusión de las mujeres. Asimismo, se constata la urgencia de revisar las habituales categorías de análisis literario, por su sesgo androcéntrico.

Antologías

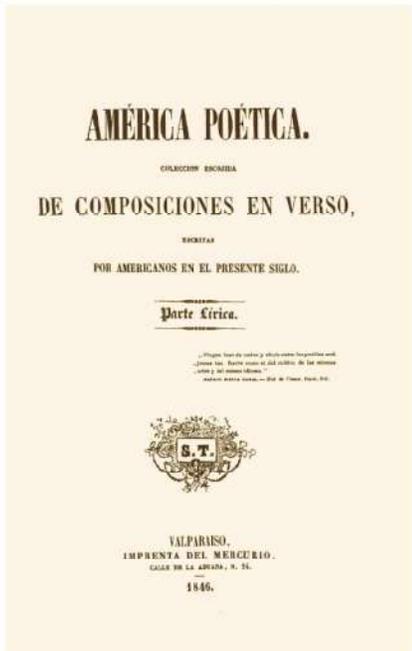


Elaboración propia

El registro igual posibilita la elaboración de visualizaciones de datos, como el siguiente diagrama aluvial basado en la antología *América poética*, una de las más importantes del siglo XIX. En él vemos la representatividad de las diez nacionalidades de los y las poetas (izquierda), y que la enorme mayoría fueron varones (derecha); también la diferencia de participación (número de poemas) entre las únicas mujeres antologadas: la cubana Gertrudis Gómez de Avellaneda, con 26 poemas, y la chilena Mercedes Marín, con tres.



Elaboración propia



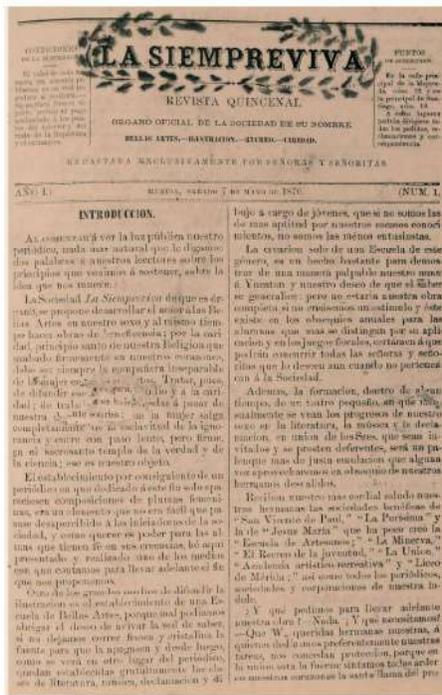
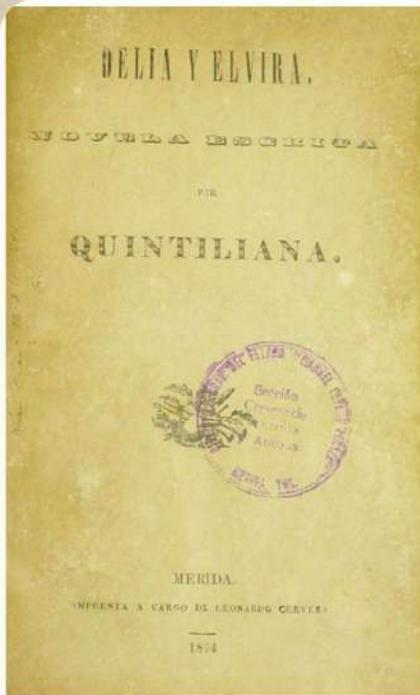
Para promover la inclusión de personas con limitaciones visuales y explorar nuevas formas de análisis se elaboran sonificaciones (conversión de datos a sonido). En imagen tenemos una visualización y una sonificación: se representa mediante un punto y un sonido el Estado natal de las escritoras mexicanas. La excepción es el 33, equivalente a "Sin dato".



Por último, la base de datos, elaborada desde una perspectiva feminista, contempla un área específica para registrar las múltiples desigualdades que atravesaron las vidas de las escritoras. Esta imagen presenta las categorías consideradas hasta el momento, y su uso en la app.



Aunque la investigación está en curso, he intentado compartir algunos de sus resultados. Yucatán ha jugado un rol cardinal en la historia del feminismo y la literatura, no sólo a nivel del sureste mexicano, sino nacional. En Mérida vieron la luz: *Delia y Elvira* (1864), de Catalina Zapata ("Quintiliana"), primera novela publicada por una mujer, y *La Siempreviva* (1870-1871), primera publicación periódica dirigida y redactada sólo por mujeres, fundada por Rita Cetina, Gertrudis Tenorio y Cristina Farfán; y en 1916 la ciudad fue sede del Primer Congreso Feminista de México, segundo de Latinoamérica. Por lo mismo, es el espacio ideal para cobijar un proyecto orientado a impulsar la investigación sobre mujeres y literatura de México y LAC, promover nuevas perspectivas en Humanidades Digitales, e invitar a las nuevas generaciones a conocer escritoras olvidadas.



Imágenes 1 y 2 recuperadas de <https://www.bibliotecavirtualdeyucatan.com.mx/> [25 de julio de 2024]
 Imagen 3 recuperada de Google (s.f.) [25 de julio de 2024]

Referencias bibliográficas

El Cócora (1860). Imprenta de Manuel Galiano.
 Darío, R. [1900] (2003). "La mujer española". El modernismo y otros textos críticos. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes.
https://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/el-modernismo-y-otros-textos-crticos-0/html/fee0d3b4-82b1-11df-acc7-002185ce6064_4.html
 Frederick, J. T. (1975). "Hawthorne's «Scribbling Women»". The New England Quarterly, 48(2), 231. <https://doi.org/10.2307/364660>
 Mott, F. (1947). Golden Multitudes The Story Of Best Sellers In The United States. The Macmillan Company.

Semilla de aguacate yucateco (*Persea americana* var. *americana*) como fuente de obtención de bioetanol 2G

Autores: Rosa L. Zapata-Luna, María G. Uc-Cob, Neith Pacheco, Juan C. Cuevas-Bernardino

Correo: rozapata_al@ciatej.edu.mx

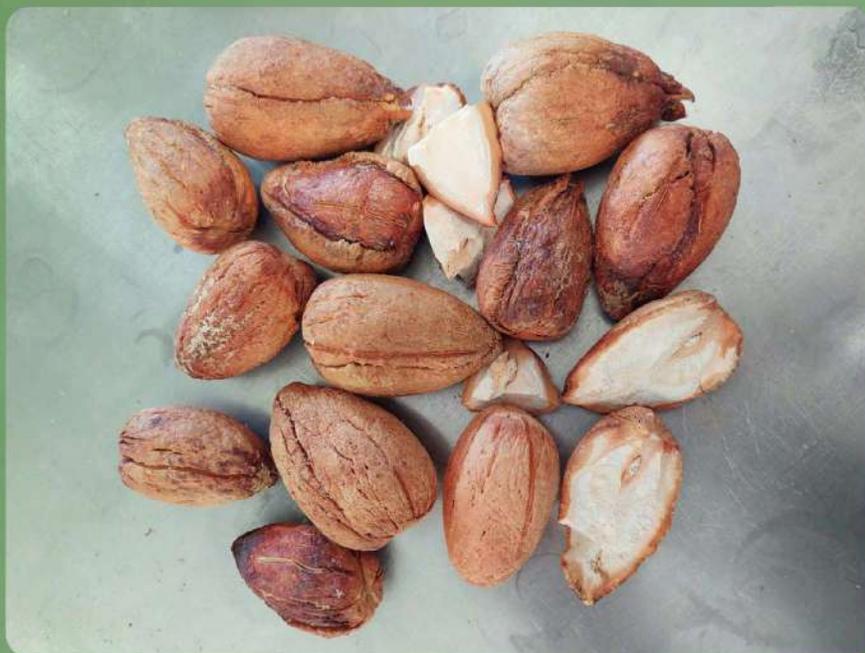
Palabras clave: subproductos agrícolas, aguacate lagunero, biocombustible.

A través de los años ha sido evidente el crecimiento poblacional en el mundo. En 2019 se reportaron 8000 millones de habitantes, estimándose que esta cifra aumentará a 9700 millones para el año 2050 (Carpio et al., 2019). Al incrementar el número poblacional, es inherente el alza en los servicios básicos y en la demanda de mayores recursos, por ejemplo, los alimentos, que llegan a generar una gran cantidad de residuos agroindustriales que representan un problema ambiental, ya que gran parte de estos no reciben un manejo y tratamiento adecuado (depositándose en vertederos), lo que a su vez ocasiona la generación de gases de efecto invernadero nocivos para la salud y el medio ambiente (Rangel et al., 2023).

Una de las industrias mexicanas que genera grandes cantidades de residuos es la hortofrutícola, en especial, la de los aguacates, la cual reportó en el año 2017 una producción de 2.03 millones de toneladas, mientras que para el año 2022 la producción fue de 2.54 millones de toneladas obtenidas (SIAP, 2023). Según datos publicados en una nota reciente (junio 2024) en el *Diario de Yucatán*, señala que «Yucatán se une a la fiebre del aguacate», pues la entidad en mayo de 2024 era el líder peninsular con 645.18 hectáreas sembradas y 103.50 de ellas cosechadas, lo que generó una producción de 1611.80 toneladas de aguacates y un rendimiento de 15.57 ton/ha; esta cifra fue la más alta de todo México y 5.2 veces mayor a la reportada en el estado de Michoacán.



De acuerdo con Caballero-Sánchez et al. (2023), los subproductos agrícolas de la industria de procesamiento de aguacate son las cáscaras y las semillas, las cuales constituyen del 21 al 30 % del material procesado, cuya biomasa se desperdicia y carece de aplicaciones de valor comercial. De esa manera, al proponer un valor agregado a los subproductos del aguacate, específicamente a la semilla, es posible la producción de compuestos de valor agregado como el bioetanol, el cual se podría incorporar a la industria de procesamiento de este fruto para aumentar los índices de aprovechamiento del recurso y disminuir la generación de residuos, propiciando una economía circular.



El bioetanol es un biocombustible de origen vegetal producido mediante la fermentación de materia orgánica rica en azúcares y la conversión del almidón en etanol. Este biocombustible se emplea principalmente en motores de combustión interna como aditivo o reemplazo de la gasolina (IMP, 2017). Asimismo, el bioetanol presenta una ventaja significativa frente a los combustibles tradicionales: posee un mayor índice de octano y ofrece mayor seguridad en su uso. Además, al ser un recurso renovable y ecológico, ayuda a disminuir las emisiones provenientes de combustibles fósiles (Caballero-Sánchez et al., 2023)

El bioetanol industrial se obtiene mediante la fermentación de sustratos ricos en glucosa —como jugos, melazas y almidones—, y se conoce como bioetanol de primera generación (1G), ya que se produce con tecnología convencional. Cuando se produce a partir de sustratos lignocelulósicos, se denomina bioetanol de segunda generación (2G). Aunque la producción de bioetanol 1G es la más común a nivel mundial, compite con materias primas destinadas a la alimentación humana y animal, lo que ha impulsado el desarrollo de procesos alternativos para la obtención de bioetanol 2G en el que no se compromete la soberanía alimentaria (Del Moral-Ventura et al., 2023).

En el Laboratorio de Inocuidad y Trazabilidad Alimentaria del CIATEJ Subsele Sureste, se ha trabajado en el estudio del aprovechamiento de subproductos del aguacate yucateco, variedad lagunero, dentro del marco de los proyectos PRONAI-321295 e Investigadores por México-1039. Dentro de los tres componentes –pulpa, cáscara y semilla de este fruto–, se ha encontrado que la semilla está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, formando una composición compleja, por lo que tiene potencial como fuente de obtención de bioetanol. En la **Figura 1** se muestra el proceso de pretratamiento, deslignificación, hidrólisis, fermentación y destilación por el que se somete la semilla para la obtención de bioetanol.

Se utilizó la levadura más común –la *Saccharomyces cerevisiae*–, debido a que se ha demostrado que este microorganismo puede producir altos rendimientos de etanol a partir de diversos materiales de biomasa, logrando hasta 0.24 g de etanol por gramo de biomasa (Acevedo-García et al., 2018).



Figura 1. Proceso de obtención de bioetanol a partir de biomasa de aguacate lagunero.

Es importante resaltar que el método de extracción juega un rol crucial en el rendimiento de bioetanol. En esta primera aproximación de generación del combustible a partir de estos residuos agrícolas locales, después de la hidrólisis se observó una concentración de sólidos solubles de 32 °Brix a una temperatura de 25 °C, lo que indica que el 32 % en peso de la solución está compuesto por sólidos solubles, principalmente azúcares, que pueden ser utilizados por el microorganismo para generar alcohol. Este resultado es superior al 27.5 °Brix reportado por Rahman et al. (2024). Sin embargo, es importante seguir estudiando diferentes métodos de liberación de estos azúcares. Aún se continúa estandarizando el proceso de fermentación para evaluar un rendimiento adecuado de bioetanol.

En conclusión, la semilla de aguacate representa una fuente prometedora como biomasa para la generación de bioetanol, con múltiples beneficios ambientales y económicos. A pesar de los avances logrados, el desarrollo de bioetanol a partir de subproductos agrícolas —como la semilla de aguacate— enfrenta desafíos técnicos y económicos, ya que es necesario mejorar la eficiencia de conversión, optimizar los métodos de fermentación y realizar estudios a mayor escala para evaluar la viabilidad comercial de este proceso. En este sentido, las estrategias futuras se deben de enfocar en proyectos transdisciplinarios que integren los diferentes actores de la academia, sociedad y gobierno para superar estos obstáculos y maximizar el potencial de esta fuente de energía renovable.



Referencias

- Acevedo-García, V., Padilla-Rascón, C., Díaz, M. J., Moya, M., & Castro, E. (2018). Fermentable sugars production from acid-catalyzed steam exploded barley straw. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 1939-1944. <https://doi.org/10.3303/CET1870324>
- Caballero-Sanchez, L., Lázaro-Mixteco, P., Vargas-Tah, A., & Castro-Montoya, A. (2023) Pilot-scale bioethanol production from the starch of avocado seeds using a combination of dilute acid-based hydrolysis and alcoholic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Microbial Cell Factories*, 22, 119. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02110-5>
- Carpio, A., Hancoco, M., Cutipa, A., & Flores, E. (2019). Estrategias del marketing viral y el posicionamiento de marca en los restaurantes turísticos de la Región de Puno. *Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 70-80. <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.33595/2226-1478.10.1.331>
- Del Moral-Ventura, S.T., Carvajal-Zarrabal, O., Navarro-Moreno, L.G., Carrillo-Ahumada, J., Aguilar Uscanga, M.G., & Nolasco-Hipolito, C. (2023) Development of technology to produce lignocellulosic bioethanol in Mexico, challenges, and opportunities. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 62. https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/bioetanol_oax._1_riiit_div.pdf
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). (2017) Reporte de Inteligencia Tecnológica: Bioetanol. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/296708/IT_Bioetanol_01022018.pdf (consultado el 20/08/2024).
- Rahman, H., Nehemia, A., & Puji, H. (2024) Investigating the potential of avocado seeds for bioethanol production: A study on boiled water delignification pretreatment. *International Journal of Renewable Energy Development*, 12(4), 684-654. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.52532>
- Rangel-Vázquez, G., Cano-Gómez, C. I., Muñiz-Márquez, D. B., & Wong-Paz, J. E. (2023). Aprovechamiento de la cáscara de litchi para la obtención de bioproductos. En R. C. Martínez Montejano, G. González Badillo, J. J. J. Rodríguez, L. J. Ontañón García-Pimentel, & I. Campos Cantón (Eds.), *Avances en innovación social desde la Zona Media del estado de San Luis Potosí*, 1, 12-16. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Producción anual agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (consultado el 20/08/2024).

Exploración del almidón de semillas de Ramón para materiales biodegradables: sinergia con biopolímeros derivados de fuentes pesqueras y acuícolas.

Autoras: Neith Aracely Pacheco López, Soledad Cecilia Pech Cohuo
Correo: soledad.pech@upy.edu.mx, coordinación.robotica@upy.edu.mx
Palabras clave: *Brosimum alicastrum*, quitosano, biopolímeros

El árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) es fuente de diversos productos, entre ellos el almidón, que se extrae de la harina obtenida a partir de las semillas secas de sus frutos. El almidón es un biopolímero compuesto por dos elementos clave: la amilosa y la amilopectina. La proporción y la estructura de estos componentes determinan las propiedades específicas del almidón, que varían según su origen botánico, morfología y el tamaño de los gránulos (Zapata-Luna et al., 2021). Existen varios métodos de extracción del almidón, que van desde el uso de productos químicos, como soluciones de hidróxido de sodio o ácidos, hasta métodos más ecológicos que emplean únicamente agua (Pech-Cohuo et al., 2021). El almidón de Ramón puede utilizarse en la producción de alimentos, pero también tiene aplicaciones en la creación de materiales biodegradables (Pérez-Pacheco et al., 2014; Rolando Ríos-Soberanis et al., 2016). Desde 2014, varios grupos de investigación del sureste de México han estudiado las propiedades fisicoquímicas, biológicas, reológicas y térmicas de este almidón, con el objetivo de emplearlo como material biodegradable (Pérez-Pacheco et al., 2014; Rolando Ríos-Soberanis et al., 2016).



Alternativa ante el uso de plásticos desechables.

Entre sus aplicaciones, destaca su uso en almidones termoplásticos, los cuales contienen agua o un plastificante como el glicerol o sorbitol (Ríos-Soberanis et al., 2016). Este tipo de almidón puede procesarse en equipos especializados utilizados para la fabricación de productos convencionales como vasos, bolsas, platos, cucharas, entre otros. La producción de almidones termoplásticos es esencial para reducir la cantidad de residuos plásticos sintéticos en el mundo, los cuales presentan largos tiempos de degradación y causan graves problemas de contaminación debido a su inadecuada disposición y la falta de políticas públicas de reciclaje (Pacheco et al., 2019; Pérez-Pacheco et al., 2016).

Una aplicación relevante del almidón es la producción de películas para embalaje alimenticio, principalmente debido a sus tiempos de biodegradación. En combinación con otros biopolímeros y compuestos bioactivos, el almidón de Ramón puede mejorar las propiedades de conservación de los alimentos embalados (Pacheco et al., 2019; Pech-Cohuo et al., 2022). Uno de estos biopolímeros es el quitosano, que tiene propiedades antimicrobianas y antioxidantes comprobadas (Pech-Cohuo et al., 2022) como se muestra en la Figura 1. Este biopolímero proviene principalmente de peces, caparazones de crustáceos (cangrejos, camarones, langostas, etc.), hongos e insectos (Kumari & Kishor, 2020). Además, los residuos de la industria camaronera son una fuente viable para la obtención de quitosano, contribuyendo así a mitigar los riesgos ambientales derivados de su acumulación y descomposición, y a evitar la contaminación de fuentes de agua (Santos et al., 2020).

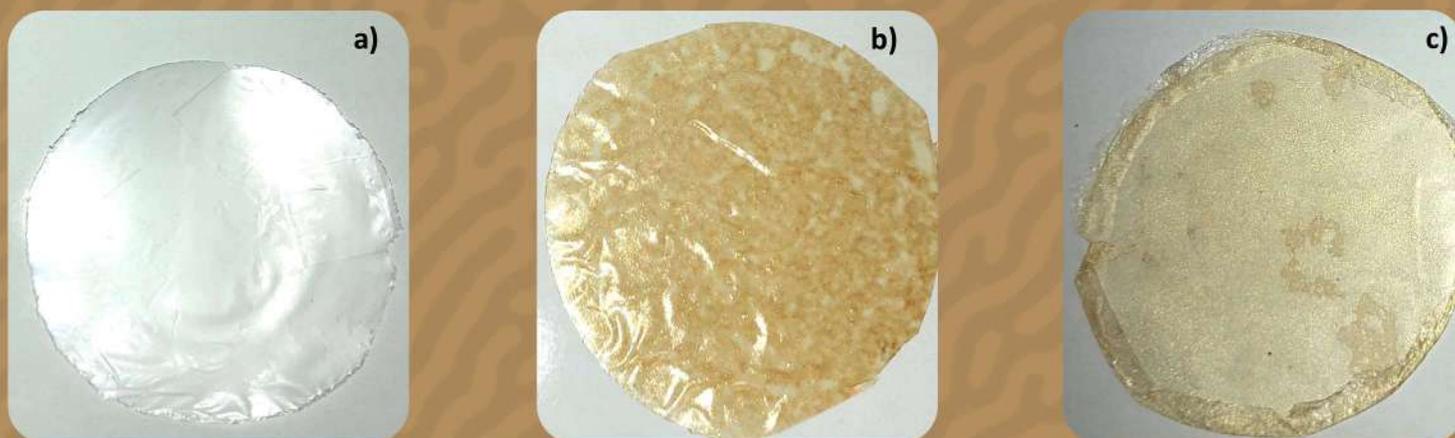


Figura 1. Películas tipo embalaje alimenticio de a) almidón de Ramón, b) de quitosano y c) Quitosano/almidón de Ramón con quercetina como compuesto bioactivo (Pech-Cohuo et al., 2022).

Alternativa en el campo biomédico y farmacéutico.

Como se mencionó, la combinación del almidón de Ramón con quitosano tiene aplicaciones destacadas en la industria alimentaria (Pech-Cohuo et al., 2022). Sin embargo, también puede utilizarse para otros propósitos, como la creación de membranas antimicrobianas, cápsulas para la liberación controlada de fármacos, o para la regeneración de tejido óseo en el campo biomédico (Seidi et al., 2021). Otra aplicación que se ha comenzado a explorar es la fabricación de bio-tintas para bio-impresión 3D de tejidos para crecimiento de células neuronales (Butler et al., 2020).

El almidón también podría combinarse con otros biopolímeros marinos (Figura 2), como el colágeno proveniente de las escamas y la piel de los peces, que son considerados residuos en la pesca y la acuicultura (Avila Rodríguez et al., 2018). Otro biopolímero usado en combinación con el almidón es el alginato, derivado de algas marinas, con aplicaciones en la liberación controlada de medicamentos en el área farmacéutica (Thomas et al., 2021).



Figura 2.

Biopolímeros de origen marino y acuícola que podrían utilizarse en combinación con el almidón de Ramón.

Alternativa en el campo de la electrónica y la robótica.

Es importante mencionar que en años recientes se ha investigado el uso del almidón en combinación con otros biopolímeros para generar electrónicos flexibles verdes (Figura 3) (Xiang et al., 2022), así como se ha propuesto su uso en el área "Soft robot", esto es, para la construcción de robots con cubiertas blandas. Lo anterior para asegurar un comportamiento más seguro al compartir espacios de trabajo con los seres humanos (Medina & Vélez, 2014). Por lo que el almidón de Ramón y sus combinaciones con otros biopolímeros podrían ser susceptibles a su aplicación en nuevas tecnologías en el área de robótica y electrónica.

En resumen, el almidón de las semillas de Ramón tiene un gran potencial para la generación de materiales biodegradables, y su combinación con otros biopolímeros obtenidos de residuos marinos podría potenciar sus propiedades.

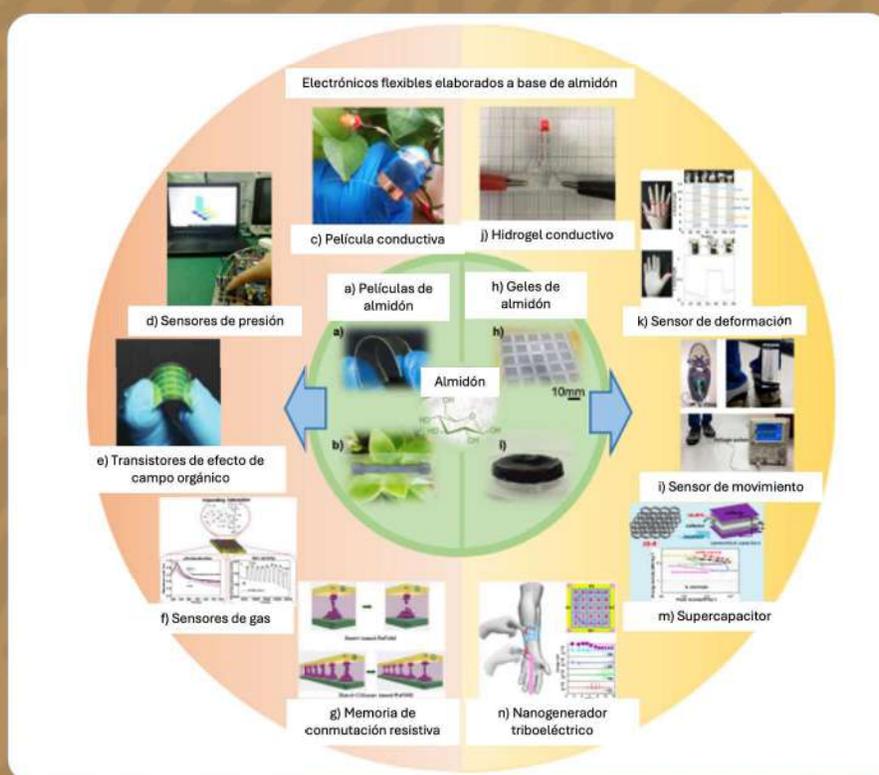


Figura 3. Resumen de potenciales aplicaciones del almidón para la fabricación de electrónicos flexibles, imagen adaptada al español de Xiang et al (2022).

Agradecimientos

PRONAI 321295 "Desarrollo e implementación de metodologías sustentables para el aprovechamiento de biomasa de algas, residuos pesqueros y acuícolas de la península de Yucatán, para su valorización como ingredientes alimenticios nutritivos y productos funcionales" de la convocatoria 2022-01 Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia para la Soberanía Alimentaria del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT).



Bibliografía

- Avila Rodríguez, M. I., Rodríguez Barroso, L. G., & Sánchez, M. L. (2018). Collagen: A review on its sources and potential cosmetic applications. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 17(1), 20-26.
- Butler, H. M., Naseri, E., MacDonald, D. S., Andrew Tasker, R., & Ahmadi, A. (2020). Optimization of starch- and chitosan-based bio-inks for 3D bioprinting of scaffolds for neural cell growth. *Materialia*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2020.100737>
- Kumari, S., & Kishor, R. (2020). Chitin and chitosan: origin, properties, and applications. In *Handbook of chitin and chitosan* (pp. 1-33). Elsevier.
- Medina, J. H., & Vélez, P. N. (2014). "Soft Robotic": Una nueva generación de robots. *Maskana*, 5, 109-118.
- Pacheco, N., Naal-Ek, M. G., Ayora-Talavera, T., Shirai, K., Román-Guerrero, A., Fabela-Morón, M. F., & Cuevas-Bernardino, J. C. (2019). Effect of bio-chemical chitosan and gallic acid into rheology and physicochemical properties of ternary edible films. *International journal of biological macromolecules*, 125, 149-158.
- Pech-Cohuo, S. C., Hernandez-Colula, J., Gonzalez-Canche, N. G., Salgado-Transito, I., Uribe-Calderon, J., Cervantes-Uc, J. M., Cuevas-Bernardino, J. C., Ayora-Talavera, T., & Pacheco, N. (2021). Starch from Ramon seed (*Brosimum alicastrum*) obtained by two extraction methods. *MRS Advances*, 6(38), 875-880.
- Pech-Cohuo, S. C., Martín-López, H., Uribe-Calderón, J., González-Canché, N. G., Salgado-Tránsito, I., May-Pat, A., Cuevas-Bernardino, J. C., Ayora-Talavera, T., Cervantes-Uc, J. M., & Pacheco, N. (2022). Physicochemical, mechanical, and structural properties of bio-active films based on biological-chemical chitosan, a novel ramon (*Brosimum alicastrum*) starch, and quercetin. *Polymers*, 14(7), 1346.
- Pérez-Pacheco, E., Canto-Pinto, J. C., Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I. A., Estrada-León, R. J., & Chel-Guerrero, L. (2016). Thermoplastic starch (TPS)-cellulosic fibers composites: mechanical properties and water vapor barrier: a review. *Composites from renewable and sustainable materials*, 85.
- Pérez-Pacheco, E., Moo-Huchin, V., Estrada-León, R., Ortiz-Fernández, A., May-Hernández, L., Ríos-Soberanis, C., & Betancur-Ancona, D. (2014). Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate polymers*, 101, 920-927.
- Rolando Ríos-Soberanis, C., Javier Estrada-León, R., Manuel Moo-Huchin, V., José Cabrera-Sierra, M., Manuel Cervantes-Uc, J., Arturo Bello-Pérez, L., & Pérez-Pacheco, E. (2016). Utilization of ramon seeds (*Brosimum alicastrum* swartz) as a new source material for thermoplastic starch production. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(47).
- Santos, V. P., Marques, N. S., Maia, P. C., Lima, M. A. B. d., Franco, L. d. O., & Campos-Takaki, G. M. d. (2020). Seafood waste as attractive source of chitin and chitosan production and their applications. *International journal of molecular sciences*, 21(12), 4290.
- Seidi, F., Yazdi, M. K., Jouyandeh, M., Dominic, M., Naeim, H., Nezhad, M. N., Bagheri, B., Habibzadeh, S., Zarrintaj, P., & Saeb, M. R. (2021). Chitosan-based blends for biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 183, 1818-1850.
- Thomas, D., Mathew, N., & Nath, M. S. (2021). Starch modified alginate nanoparticles for drug delivery application. *International journal of biological macromolecules*, 173, 277-284.
- Xiang, H., Li, Z., Liu, H., Chen, T., Zhou, H., & Huang, W. (2022). Green flexible electronics based on starch. *Flexible Electronics*, 6(15). <https://doi.org/10.1038/s41528-022-00147-x>
- Zapata-Luna, R. L., Ayora-Talavera, T., Pacheco, N., García-Márquez, E., Espinosa-Andrews, H., Ku-González, Á., Ruiz-Ruiz, J., & Cuevas-Bernardino, J. C. (2021). Physicochemical, morpho-structural and rheological characterization of starches from three *Phaseolus* spp. landraces grown in Chiapas. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1410-1421.

Las grasas buenas de *Octopus maya*: valor nutricional y su microencapsulación para su incorporación en alimentos

Autores: Daniela Aguilar González, Teresa Gladys Cerón Carrillo, Juan Valerio Cauich Rodríguez, Emmanuel de Jesús Ramírez Rivera, Ingrid Mayanin Rodríguez Buenfil, Manuel Octavio Ramírez Sucre

Palabras clave: subproductos, ácidos grasos omega-3, microencapsulación

Octopus maya

Pulpo mexicano o pulpo rojo (Figura 1) son nombres que recibe la especie *Octopus maya*, endémica de la península de Yucatán que, además, se caracteriza por su simetría corporal, desarrollo físico y gran capacidad de aprendizaje gracias a su sistema nervioso altamente desarrollado, además se distingue por poseer dos manchas debajo de los ojos que le dan el nombre de pulpo de cuatro ojos. Esta especie es un recurso primordial para el sector pesquero de la región, ya que es el sustento económico de las familias yucatecas y genera 15 mil empleos con un valor de hasta 36 millones de dólares anuales, aproximadamente 720 millones de pesos (DOF, 2023; Rosas et al., 2014; Santiago et al., 2024).



Figura 1. Ejemplares de *Octopus maya* de la pesca de 2023 (CONAPESCA, 2024)

Subproductos de *Octopus maya*

El pulpo maya se compone de un 73% de brazos considerado como materia prima y 27% de subproductos (Figura 2) como cabezas, vísceras y puntas de los tentáculos, los cuales, se desechan y al no darles un tratamiento se inicia su descomposición, contribuyendo a la contaminación (en función de su disposición) de los ecosistemas terrestres, acuáticos y del aire, generando emisiones de gases como amonio (NH_3) y ácido sulfúrico (H_2S), causando daños en la salud humana (Rasmiya Begum et al., 2024).

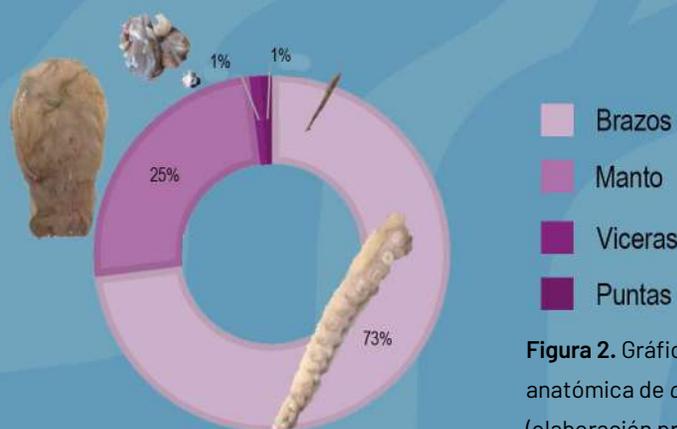


Figura 2. Gráfico de la estructura anatómica de *octopus maya* (elaboración propia)

Actualmente la comunidad científica se ha centrado en el aprovechamiento de estos subproductos con extracciones de compuestos de interés como proteínas y lípidos. Los lípidos de pulpo se componen por ácidos grasos omega-3 (DHA y EPA), que son de gran valor comercial por sus propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas, además promueven el desarrollo neurológico (Banaszak et al., 2024).

Valor nutricional del pulpo

El aumento en la demanda de alimentos marinos ha traído consigo un desabasto de especies de peces, incrementando así el consumo en cefalópodos (FAO, 2022) como *Octopus vulgaris* y *Octopus maya*. El consumo de pulpo es valorado por su contenido nutricional (Tabla 1) además presenta un contenido lipídico del 2% (Figura 3) constituido por fosfolípidos, colesterol/esteroles y ácidos grasos omega-3. (Almeida et al., 2022; Banaszak et al., 2024; FAO, 2023).

Tabla 1. Contenido nutricional en *Octopus vulgaris* (Zamuz et al., 2023)

Contenido nutricional	Contenido en peso seco
Proteína	70-85%
Lípidos totales	2%
Vitamina A	2.2±0.8 µg/g
Vitamina C	2.7±0.8 µg/g
Vitamina E	7.42±1.46 µg/g
Calcio	1,966±388 mg/kg
Magnesio	4146±464 mg/kg
Cobre	14.5±3.9 mg/kg
Zinc	55.1±8.3 mg/kg
Hierro	29.6±26.0 mg/kg
Fósforo	6802±107 mg/kg
Potasio	12452±234 mg/kg
Sodio	29672±4751 mg/kg

Ácidos grasos omega (DHA y EPA)

Los lípidos son macronutrientes fundamentales en el organismo, ya que tienen la capacidad de almacenar energía que el cuerpo utiliza para realizar sus funciones, además son componentes estructurales de la membrana celular, funcionan como aislantes térmicos que regulan la temperatura corporal y son transportadores de nutrientes por todo el cuerpo, lo que ayuda a la prevención de enfermedades. Los lípidos están compuestos por triacilglicerol (tríesteres de glicerol) con tres ácidos carboxílicos de cadena larga (ácidos grasos) (figura 4). Algunos de ellos, aportan beneficios a la salud, entre ellos, los ácidos grasos omega-3 (AΩ3), como el DHA (ácido docosahexaenoico) y EPA (ácido eicosapentaenoico) que previenen y/o tratan enfermedades cardiovasculares, neurológicas, diabetes, cáncer e inflamación (Wang et al., 2024) y promueven la salud cerebral, articular, cardíaca y ocular, además contienen propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas (Almeida et al., 2022; Banaszak et al., 2024; FAO, 2023).

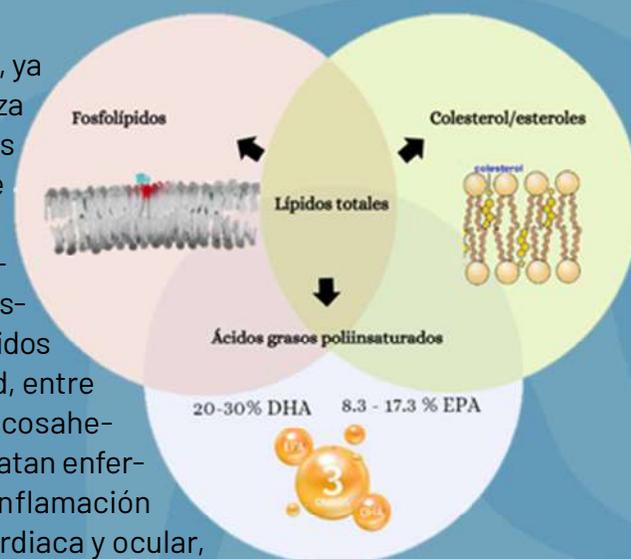


Figura 3. Composición lipídica de *Octopus vulgaris* (Zamuz et al., 2023)

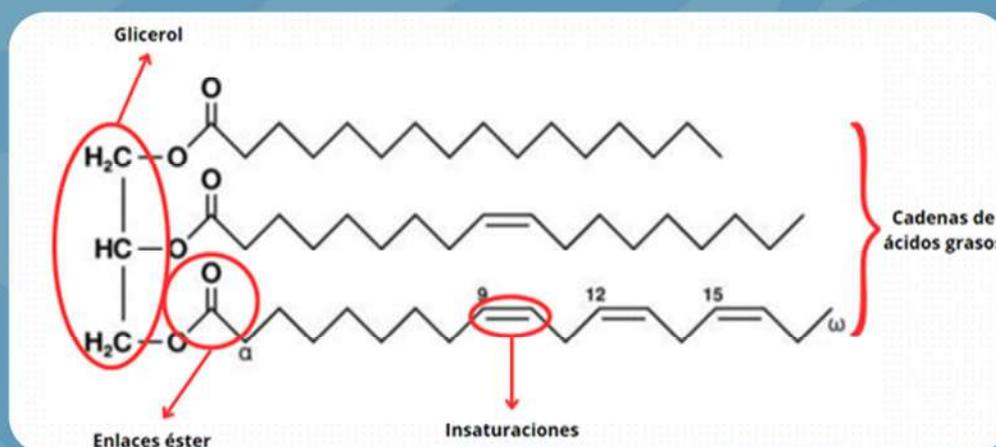


Figura 4. Estructura química de los lípidos (elaboración propia).

El DHA está compuesto de 22 átomos de carbono con 6 dobles enlaces (insaturaciones) que inician a partir del 3er carbono, de aquí su nomenclatura sea C22:6 n-3 y se nombre un ácido graso poliinsaturado omega-3; por su parte, el EPA se compone de 20 átomos de carbono con 5 dobles enlaces e igualmente inician a partir del 3er carbono (C20:5 n-3) (Figura 5). Por su estructura química los AΩ3 son susceptibles al deterioro oxidativo (reacciones indeseables con O₂), por lo que, para protegerlos de las condiciones de procesamiento (como temperatura y tiempo de proceso) y almacenamiento (reacciones intrínsecas de los componentes de la matriz alimentaria) se han implementado técnicas como la de microencapsulación, que mediante una protección (pared) permite el transporte y liberación controlada, retarda la oxidación, extiende su periodo de almacenamiento y atrapa olores (Kalladathvalappil Venugopalan et al., 2024).

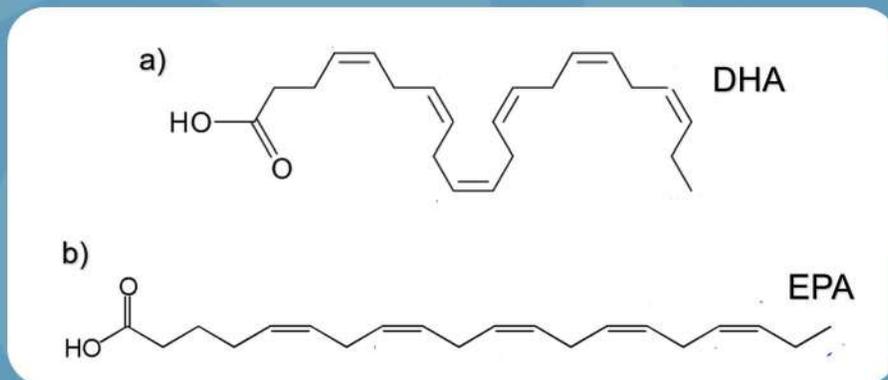


Figura 5. Estructuras químicas de a) ácido docosahexaenoico y b) ácido eicosapentaenoico (elaboración propia)

Microencapsulación

La microencapsulación consiste en rodear un compuesto de interés por un material de pared para formar cápsulas de 0.2 a 5000 μm de diámetro (Calderón-Oliver & Ponce-Alquicira, 2022). El tamaño de la microcápsula se elige en función de la aplicación final y dependerá de factores como el método de microencapsulado (coacervación compleja o simple, liofilización o secado por aspersión) y el agente encapsulante (biopolímeros) (Díaz-Montes et al., 2023). Actualmente el método de microencapsulación más utilizado en la industria alimentaria es el de coacervación compleja, que produce microcápsulas estables, con superficie delgada, resistentes al calor y permite la liberación controlada de compuestos de interés. Este método implica en el uso de 2 biopolímeros con cargas opuestas (como gelatina que con carga negativa) que puedan ajustarse al pH y enfriamiento de los man alrededor del compuesto de del recubrimiento que atraparán al aplicación (Figura 6) ya sea para propiedades organolépticas y/o nutricionales en matrices alimentarias (Hernández-Nava y Jiménez-Mun- guía, 2018).

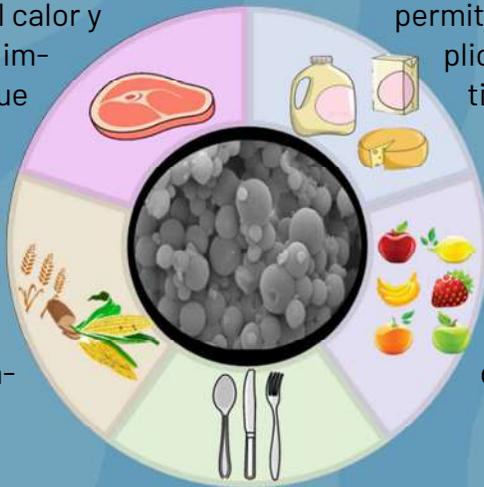


Figura 6. Aplicación de microencapsulados en la industria alimentaria (Modificado de Calderón-Oliver & Ponce-Alquicira, 2022)

Hoy en día es importante el desarrollo de productos con alto valor nutricional para cubrir la demanda de alimentos saludables. La incorporación de nutrientes como los ácidos grasos omega-3 microencapsulados obtenidos del aceite de los subproductos de *Octopus maya* son una alternativa que promete mejorar la salud humana ofreciendo una variedad más amplia de alimentos enriquecidos con DHA y EPA. En CIATEJ se están realizando trabajos de investigación sobre la microencapsulación de aceite rico en ácidos grasos omega-3 de subproductos de *Octopus maya* para su incorporación en productos de panificación, reduciendo así daños medioambientales y aportando una nueva alternativa de microencapsulados para su adición en diversos alimentos. En próximos números les daremos a conocer nuestro producto final de panificación adicionado con microcápsulas de aceite rico en ácidos grasos omega-3.

Bibliografía

- Almeida, C., Loubet, P., Laso, J., Nunes, M. L., & Marques, A. (2022). Environmental assessment of common octopus (*Octopus vulgaris*) from a small-scale fishery in Algarve (Portugal). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(6), 849–867. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02072-7>
- Banaszak, M., Dobrzyńska, M., Kawka, A., Górna, I., Woźniak, D., Przysławski, J., & Drzymała-Czyż, S. (2024). Role of Omega-3 fatty acids eicosapentaenoic (EPA) and docosahexaenoic (DHA) as modulatory and anti-inflammatory agents in noncommunicable diet-related diseases – Reports from the last 10 years. *Clinical Nutrition ESPEN*, 63, 240–258. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2024.06.053>
- Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2022). The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules*, 27(5), 1499. <https://doi.org/10.3390/molecules27051499>
- CONAPESCA. (2024). Está México en tercer lugar en producción de pulpo a nivel mundial, de acuerdo a la última publicación de la FAO. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/esta-mexico-en-tercer-lugar-en-produccion-de-pulpo-a-nivel-mundial-de-acuerdo-a-la-ultima-publicacion-de-la-fao#:~:text=Durante%20el%202023%20se%20registr%C3%B3,a%C3%B1o%20anterior%20de%20la%20CONAPESCA>
- Díaz-Montes, E., Cerón-Montes, G. I., & Vargas-León, E. A. (2023). Encapsulación de compuestos bioactivos: una revisión sistemática. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(20), 17–28. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9575>
- DOF. (2023). ACUERDO por el que se establece el volumen de captura permisible para el aprovechamiento del recurso pulpo rojo (*Octopus maya*) en aguas de jurisdicción federal en los estados de Campeche y Yucatán para la temporada de pesca 2023. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5707837&fecha=07/11/2023#gsc.tab=0
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/05dd1625-23c4-4030-a733-247b5a48b496/content>
- FAO. (2023). GLOBEFISH HIGHLIGHTS INTERNATIONAL MARKETS FOR FISEHRIES AND AQUACULTURE PRODUCTS. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cc43ec74-209e-49e0-b163-34025f7f32c4/content>
- Hernández-Nava y Jiménez-Munguía. (2018). Coacervación compleja: una alternativa como un método de microencapsulación. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos (TSIA)*, 22–28. <https://tsia.udlap.mx/coacervacion-compleja-una-alternativa-como-un-metodo-de-microencapsulacion/>
- Kalladathvalappil Venugopalan, V., Ramadevi Gopakumar, L., Kumaran Kizhakkeppurath, A., Sekhar Chatterjee, N., Soman, V., Mohamed Hatha, A. A., Benjakul, S., & Mathew, S. (2024). Enhancement of oxidative stability of polyunsaturated fatty acid-rich fish oil: microencapsulation using chitosan-whey protein complex and betalain. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(4). <https://doi.org/10.1111/ijfs.16956>
- Rasmiya Begum, S. L., Himaya, S. M. M. S., Imthiyas, M. S. M., & Afreen, S. M. M. S. (2024). Fish Waste: Understanding the Pollution Potential and Sustainable Mitigation Strategies (pp. 427–440). https://doi.org/10.1007/978-981-99-8593-7_20
- Rosas, C., Gallardo, P., Mascaró, M., Caamal-Monsreal, C., & Pascual, C. (2014). *Octopus maya*. In *Cephalopod Culture* (pp. 383–396). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8648-5_20
- Santiago, I., Rosas, C., Cruz-López, H., Domingues, P., Pascual, C., Mascaró, M., Sánchez-Arteaga, A., Caamal, C., & Gallardo, P. (2024). Growth, survival, digestive activity and respiratory metabolism of *Octopus maya* juveniles fed with prepared diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.1111/jpn.13976>
- Wang, Y., Jin, J., Wu, G., Wei, W., Jin, Q., & Wang, X. (2024). Omega-9 monounsaturated fatty acids: a review of current scientific evidence of sources, metabolism, benefits, recommended intake, and edible safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2313181>
- Zamuz, S., Bohrer, B. M., Shariati, M. A., Rebezov, M., Kumar, M., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2023). Assessing the quality of octopus: From sea to table. In *Food Frontiers* (Vol. 4, Issue 2). <https://doi.org/10.1002/fft2.226>

Florecimientos Algales Nocivos en la península de Yucatán

Autores: J. Alejandro Kurczyn Robledo, Alejandro J. G. Sosa Gómez, Manuel Sacristán De Alva, Alejandra Prieto Davo, Jorge Herrera Silveira, Víctor L. Amaro Soris, Paulo Salles Afonso de Almeida.

Correo: jkurczyn@ingen.unam.mx

Palabras clave: Florecimientos Algales Nocivos, Plataforma Yucatán, Campañas Oceanográficas, Predicción Numérica.

El fitoplancton es un conjunto de algas microscópicas, como las diatomeas, los dinoflagelados y las algas azul-verde, que representan uno de los componentes bióticos más importantes de nuestro planeta. Junto con las cianobacterias conforman la base de la cadena alimenticia de los océanos, además de ser responsable de la fijación de dióxido de carbono y la producción de más del 50% del oxígeno en la Tierra. La palabra fitoplancton proviene del griego fito ("planta"), plancton ("errante").

Dentro del fitoplancton se encuentran algunas especies de microalgas que pueden producir compuestos tóxicos cuando crecen de forma desmedida e impactar el ambiente marino causando episodios de mortandad en organismos mayores, como crustáceos, moluscos bivalvos, peces y mamíferos marinos. Incluso pueden llegar a los humanos con el consumo de algunas especies marinas provocando intoxicaciones de diferente intensidad, desde infecciones gastrointestinales hasta la muerte, debido a sus potentes toxinas. Estos eventos, conocidos como Florecimientos Algales Nocivos (FANs), o llamados de manera coloquial "marea roja", debido a que las microalgas involucradas son de pigmentación roja o café, tienen implicaciones socioeconómicas importantes.



Figura 1. Ejemplos de mareas rojas en el estado de Yucatán, la pigmentación rojiza del agua de mar es característica de estos eventos. Pueden generar gran mortandad de organismos marinos, los cuales recalán en las playas afectadas.

Existen varios factores que pueden contribuir a que se desencadene un evento de marea roja. Sin embargo, la forma en que estos factores interactúan para crear un florecimiento nocivo no es del todo clara y como tal es motivo actual de investigación. Algunos florecimientos se dan cuando el viento y las corrientes son favorables para el transporte de nutrientes hacia zonas donde generalmente hay bajas concentraciones de estos. Por ejemplo, algunos nutrientes esenciales como el nitrógeno, el fósforo y el ácido silícico, que se encuentran en aguas profundas, por efectos de las corrientes con el viento y el fondo marino, obligan al agua marina profunda a ascender hacia la superficie, provocando el fenómeno llamado surgencia costera, dejando disponibles estos nutrientes al fitoplancton.

En otros casos, los FANs están relacionados con nutrientes vertidos en las zonas costeras debido a actividades antropogénicas, como las descargas residuales o el arrastre de fertilizantes agrícolas al mar. Mientras que otros se han reportado como consecuencia de fenómenos naturales como el intercambio entre las aguas contenidas dentro de las lagunas costeras o estuarios con el mar adyacente, los altos valores de temperatura del agua marina y el impacto de eventos climáticos extremos como huracanes o inundaciones. Existe preocupación por parte de la comunidad científica sobre la afectación del cambio climático, que resulte en una mayor frecuencia e intensidad de los FANs en las costas de Yucatán.

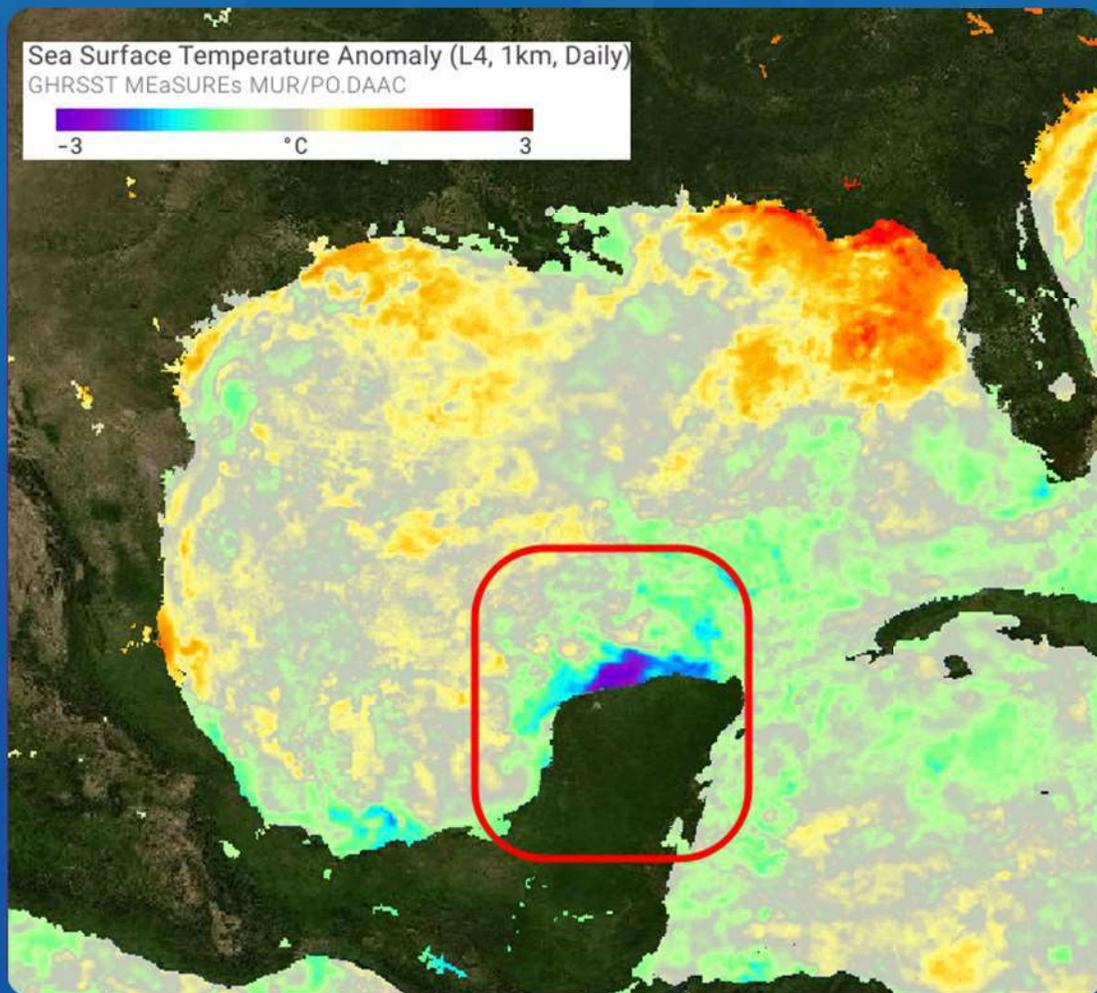


Figura 2. Anomalía de la temperatura superficial del mar, evidenciando un evento de surgencia costera en las costas de Yucatán y Campeche (recuadro en rojo). Fuente <https://soto.podaac.earthdatacloud.nasa.gov/>

Las mareas rojas constituyen una amenaza para la salud pública, para las actividades económicas y para el medio ambiente, y un riesgo para la vida costera. Por ello, se requieren estudios científicos para detectar y pronosticar su posible formación con antelación. En este sentido, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a través del programa GII - Grupos Interdisciplinarios de Investigación, está financiando y llevando a cabo un proyecto de investigación enfocado en la prevención y mitigación de los impactos causados por los FANs en las zonas costeras de la Península de Yucatán.

Este programa propone implementar un modelo computacional de predicción, que permita estudiar las interacciones físico-biológicas de las condiciones ambientales regionales (*i.e.* corrientes, viento, temperatura, salinidad marina, nutrientes), con la abundancia de microalgas y bacterias de acompañamiento. El proyecto involucra el monitoreo continuo del ambiente marino de la península de Yucatán a partir de campañas oceanográficas, con las cuales se obtienen datos sobre las condiciones oceanográficas y bio-geoquímicas del mar, que puedan estar ligadas al desarrollo de un posible florecimiento nocivo. Este es un esfuerzo conjunto entre personal de investigación del Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros y la Facultad de Química de la UNAM (en Sisal, Yucatán) y del CINVESTAV Mérida, quienes se han puesto como objetivo la predicción temprana de este tipo de eventos en la región.



Figura 3. Campañas oceanográficas para estudio de las mareas rojas (Proyecto GII 3117). En ellas se recaba información sobre la calidad del agua de mar en diferentes zonas de la costa peninsular.

Las observaciones en campo se complementan con una herramienta computacional que coadyuva a la predicción numérica de posibles eventos futuros. Inicialmente, para la calibración y evaluación de la eficiencia de estos modelos de predicción computacionales, se trabaja con eventos de marea roja del pasado, a partir del análisis de la información ambiental existente para dicho evento, en fuentes de información mundial, como son algunas bases de datos de modelos numéricos y de imágenes satelitales. Posteriormente se intenta recrear el acontecer del evento de marea roja del pasado y se analiza la capacidad de la herramienta computacional para simular el desarrollo de dicho evento. Si las simulaciones son suficientemente correctas, entonces, se dice que el modelo está bien calibrado y se procede a predecir eventos futuros con base en la información ambiental reciente. Actualmente se está trabajando en el desarrollo y calibración de un modelo de predicción sobre eventos de marea roja en las costas de la Península de Yucatán usando los datos recabados en campo, así como la información sobre eventos de marea roja del pasado.

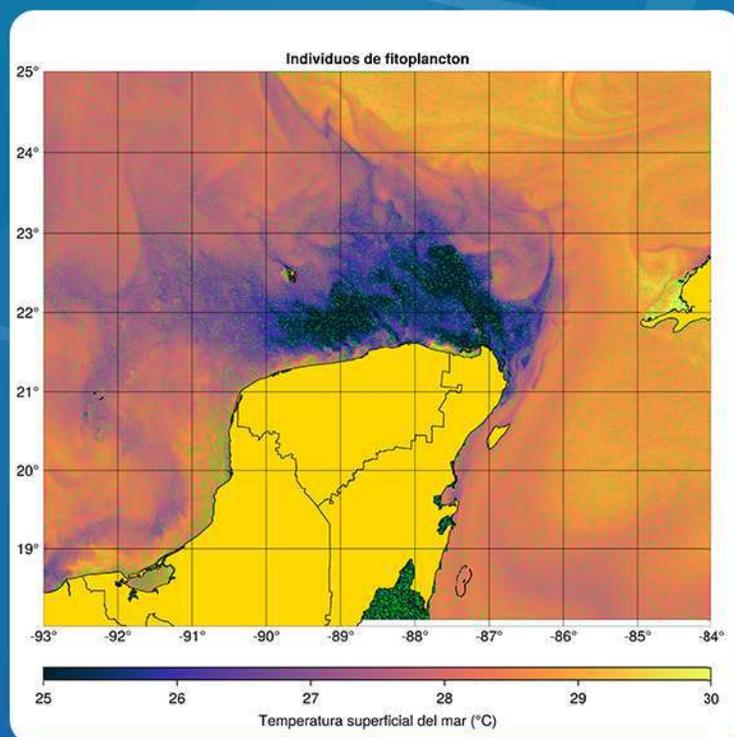


Figura 4. Simulación numérica del transporte de fitoplancton (punto verdes) para el 01 de junio de 2011. Los colores del fondo representan la temperatura superficial del mar de ese día.

Agradecimientos

Queremos agradecer el apoyo recibido en las salidas de campo a José López González, Juan Alberto Gómez Liera, Emanuel Uc Sánchez y a todos los alumnos que nos han acompañado, así como el apoyo con el procesamiento de las muestras en laboratorio a Norma Angélica Márquez Velázquez

Referencias bibliográficas

- Anderson et al. (2021). Marine harmful algal blooms (HABs) in the United States: History, current status and future trends. *Harmful Algae*. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.101975>
- Enriquez C, Mariño-Tapia IJ, Herrera-Silveira JA. (2010). Dispersion in the Yucatan coastal zone: Implications for red tide events. *Continental Shelf Research* 30 (2010) 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.10.005>
- Fujiyoshi, S. et al. (2023). Monitoring bacterial composition and assemblage in the Gulf of Corcovado, southern Chile: Bacteria associated with harmful algae. *Current Research in Microbial Science*. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2023.100194>
- Imai, I., Inaba, N. & Yamamoto, K. (2021). Harmful algal blooms and environmentally friendly control strategies in Japan. *Fish Sci* 87, 437-464 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12562-021-01524-7>
- Stauffer BA, Bowers HA, Buckley E, Davis TW, Johengen TH, Kudela R, McManus MA, Purcell H, Smith GJ, Vander Woude A and Tamburri MN. (2019). Considerations in Harmful Algal Bloom Research and Monitoring: Perspectives From a Consensus-Building Workshop and Technology Testing. *Front. Mar. Sci.* 6:399. doi: 10.3389/fmars.2019.00399
- Herrera-Silveira JA, Álvarez GC., Merino VF, Aguilar-Trujillo A. (2010). Mareas rojas en las costas de Yucatán. En Durán R. y M. Méndez (Eds). 2010. *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp.

¿Qué es el holobionte coralino? una visión general de su función.

Autores: Luna-Álvarez Miguel Ángel, Maldonado-Sánchez Julieta

Correo: maria.maldonado@cinvestav.mx

Palabras clave: Holobionte coralino, microorganismos, asociaciones bacterianas, enfermedades, cambio climático.

Los arrecifes de coral

Los arrecifes de coral son verdaderas maravillas naturales, destacándose por ser una de las estructuras marinas más grandes y vitales del mundo. Los corales son animales formados por diminutos pólipos que forman colonias idénticas genéticamente (Mackie, 1986). Estos se reproducen a partir de la división asexual, expandiéndose y llegando a formar estructuras masivas de carbonato de calcio de varios metros (Figura 1). Esto da lugar a uno de los ecosistemas más complejos y diversos del planeta, dónde ocurren infinidad de encuentros entre múltiples especies, ocasionando competencias o simbiosis entre éstas.

Los arrecifes de coral son conocidos por crecer en ambientes oligotróficos debido a la poca cantidad de nutrientes disponibles en el agua donde habitan, por lo que, la mayoría de los organismos que viven ahí han tenido que desarrollar asociaciones entre ellos en diversas circunstancias; y los corales son uno de los más grandes representantes en cuanto a asociaciones específicas de microorganismos se trata, asociándose con bacterias, arqueas, hongos, virus, y protistas, incluyendo a las algas simbióticas fotosintéticas (dinoflagelados) del género *Symbiodinium* (Thompson et al., 2015), formando un holobionte coralino (del griego *hólos*, "todos"; *bios*, "ser vivo, organismo") (Figura 2).



Figura 1. Arrecife de coral en el Mar Caribe. En la parte superior se aprecia una de las principales especies de corales formadores de arrecife, *Orbicella annularis* (Fotografía: Julieta Maldonado-Sánchez).

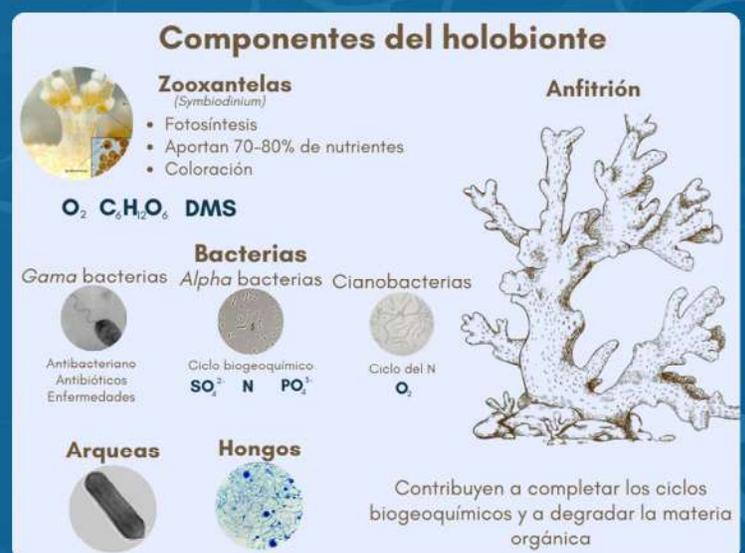


Figura 2. El holobionte coralino formado por diferentes microorganismos que viven dentro del tejido de los corales (Diagrama: Miguel Luna-Álvarez).

Holobionte coralino

La gran mayoría de pólipos del coral presentan una barrera microbiana en la parte más exterior de su superficie, sobre la epidermis (Figura 3) (Ritchie, 2006). Así mismo, dentro de la misma superficie, las células que la conforman segregan una mucosidad cuándo se sienten amenazados. Esta mucosidad está constituida por metabolitos secundarios a base de mucinas que poseen glicoproteínas de alto peso molecular, enriquecidas con fotosintato y productos de desecho, representando un hábitat rico en recursos que puede ser fácilmente colonizado por diversas bacterias marinas (Thompson et al., 2015). Este tipo de mecanismos está basado en los semioquímicos que, en palabras simples, median la comunicación entre organismos, a veces atrayéndolos, a veces alejándolos, siendo uno de los mecanismos más empleados por numerosos organismos sésiles dentro del mar (Jackson & Buss, 1975; Pawlik et al., 2007). No se ha demostrado, pero se cree que a través de estos mecanismos el pólipo podría estar atrayendo a los otros organismos que le son útiles (Bythell & Wild, 2011), ya que los corales no poseen un sistema inmunológico como los humanos, por lo que las relaciones con comunidades de microorganismos favorecen la generación de un holobionte coralino más resiliente, creando un sistema inmunológico adaptativo al medio (Reshef et al., 2006; Pawlik et al., 2007).

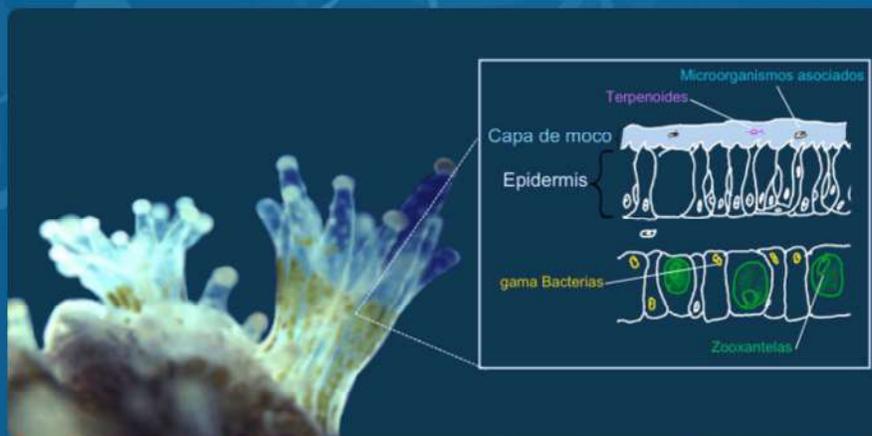


Figura 3. Diagrama de un pólipo de coral donde se muestran la dermis del coral con microorganismos asociados (Diagrama: Miguel Luna-Álvarez).

La comunidad cambiante del holobionte coralino

Como ya se mencionó, dentro de cada pólipo se han generado distintas relaciones simbióticas, la más destacable evolutivamente es con las zooxantelas que le proporcionan nutrientes como la glucosa y el nitrógeno, necesarios para conformar su estructura, y que en ocasiones representan entre el 70% y 80% de su fuente principal de alimento. Su presencia o ausencia tiene fuertes implicaciones en el estado de salud del coral y en la degradación del arrecife (Figura 4). En un estado saludable, la comunidad microbiana del coral puede inhibir la potencial colonización y crecimiento de patógenos, como las especies de *Vibrio* (Koh, 1997; Ritchie, 2006). Sin embargo, conforme comienza a enfermarse, este tipo de bacterias tienen mayor posibilidad de invadir al coral. En corales sanos, dentro de su gastrodermis, existe una menor cantidad de bacterias asociadas siendo por lo general γ -proteobacterias (Reshef et al., 2006; Rosenberg et al., 2007). Sin embargo, cuando ocurre un evento de blanqueamiento, el microbioma cambia, destacando la asociación con bacterias del género *Vibrio* y de acidobacterias. Por otro lado, en corales con presencia de alguna enfermedad comúnmente se presentan bacterias como *Clostridia*, *Rhodabacter* y cianobacterias (Rosenberg et al., 2007). Cada bacteria tiene funciones específicas dentro del coral, en algunos casos se generan compuestos antimicrobianos y antibióticos que inhiben a otros organismos. Un ejemplo se puede observar en el holobionte del coral duro *Acropora palmata*, en el cual la generación de compuestos antimicrobianos (antibióticos) es generada por bacterias de la familia *Pseudoalteromonadaceae*, que inhiben el crecimiento de otras bacterias (Koh, 1997; Rosenberg et al., 2007).



Figura 4. Arrecife de coral en estado de degradación, dominado por coral muerto, corales blandos de abanico (*Gorgonia ventalina*) y el zoantido *Palythoa caribaeorum* en la base del coral (Fotografía: Miguel Luna-Álvarez).

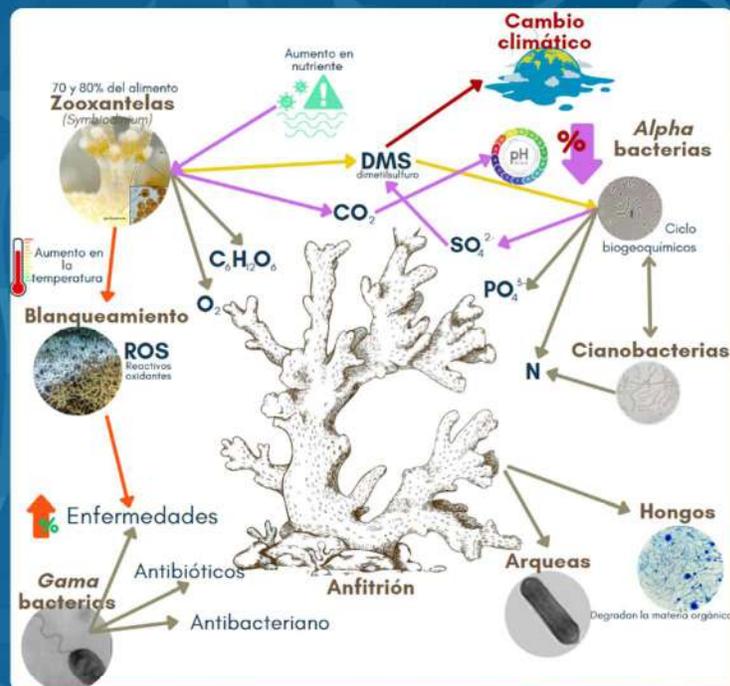


Figura 5. Diagrama del Holobionte coralino y su asociación a eventos de cambio climático. Flechas grises: nutrientes para el coral. Flechas rosas: ruta de acidificación del océano. Flechas naranjas: aumento de la temperatura. Flecha roja: cambio climático. Flechas amarillas: sulfuro de dimetilo (Diagrama: Miguel Luna-Álvarez).

La reacción ante amenazas actuales

El holobionte coralino también contribuye a los ciclos biogeoquímicos y de nutrientes que necesita el coral, pero estos microorganismos dependen fuertemente a su vez de las condiciones ambientales (Rosenberg et al., 2007). Se considera que actualmente ocurre una cantidad de cambios intermitentes en estos ecosistemas, donde el arrecife intenta adaptarse (resiliencia) a las nuevas condiciones que le rodean. Sin embargo, dichas condiciones cambian más rápidamente que la velocidad de adaptación del arrecife (Díaz-Pulido et al., 2009). Unas de estas condiciones son el cambio climático y el aumento de nutrientes que lleva a una sobreproducción de CO_2 . En la Figura 5, se muestra *grosso modo* al holobionte coralino; en dicho diagrama, a la izquierda, en sentido opuesto a las manecillas del reloj, observamos la afectación de la asociación de las zooxantelas por el aumento de la temperatura del océano, las cuáles generan un exceso de reactivos oxidantes (ROS) que estresan al coral, llevándolo a expulsar a sus simbiontes y a un posterior blanqueamiento, lo que lo deja débil y expuesto a enfermedades debido al desbalance de su microbioma. Del lado derecho del diagrama, en sentido a las manecillas del reloj, observamos como el cambio climático aumenta la acidificación de los océanos, (modificando el pH haciéndolo menos alcalino), afectando así a las bacterias degradadoras de sulfuro de dimetilo (DMS) asociadas a los corales, que al disminuir, afectan los ciclos biogeoquímicos (regulación del clima), ya que son formadoras de partículas de núcleos de condensación (nubes) y del olor característico del mar (Raina et al., 2010; Vidal-Márquez, 2021).

Para reflexionar...

Cómo hemos visto, el holobionte coralino es el principal arsenal que tienen los corales en contra del cambio climático y frente a las presiones por actividades humanas hoy en día. Por lo que estudiar su complejidad microbiana se ha vuelto de gran interés para la conservación de los arrecifes, ya que muchos de estos microorganismos se relacionan con las enfermedades de corales y las circunstancias de su blanqueamiento. Sin embargo, el papel del ser humano se presenta como un frente en la batalla que perturba cada una de esas asociaciones, dejando un futuro incierto para los arrecifes de coral en este mundo cambiante.

Referencias

- Bythell, J., & Wild, C. (2011). Biology and ecology of coral mucus release. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 408(1-2), 88-93.
- Diaz-Pulido, G., McCook, L., Dove, S., Berkelmans, R., Roff, G., Kline, D., & Hoegh-Guldberg, O. (2009). Doom and boom on a resilient reef: climate change, algal overgrowth and coral recovery. *PLoS one*, 4(4), e5239.
- Jackson, J., & Buss, L. (1975). Alleopathy and spatial competition among coral reef invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 72(12), 5160-5163.
- Koh, E. (1997). Do scleractinian corals engage in chemical warfare against microbes? *Journal of Chemical Ecology*, 23, 379-398.
- Mackie, G. (1986). From aggregates to integrate physiological aspects of modularity in colonial animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 313(1159), 175-196.
- Pawlik, J., Steindler, L., Henkel, T., Beer, S., & Ilan, M. (2007). Chemical warfare on coral reefs: sponge metabolites differentially affect coral symbiosis in situ. *Limnology and Oceanography*, 52(2), 907-911.
- Raina, J., Dinsdale, E., Willis, B., & Bourne, D. (2010). Do the organic sulfur compounds DMSP and DMS drive coral microbial associations? *Trends in microbiology*, 18(3), 101-108.
- Reshef, L., Koren, O., Loya, Y., Zilber-Rosenberg, I., & Rosenberg, E. (2006). The coral probiotic hypothesis. *Environmental microbiology*, 8(12), 2068-2073.
- Ritchie, K. (2006). Regulation of microbial populations by coral surface mucus and mucus-associated bacteria. *Marine Ecology Progress Series*, 322, 1-14.
- Rosenberg, E., Koren, O., Reshef, L., Efrony, R., & Zilber-Rosenberg, I. (2007). The role of microorganisms in coral health, disease and evolution. *Nature Reviews Microbiology*, 5(5), 355-362.
- Thompson, J., Rivera, H., Closek, C., & Medina, M. (2015). Microbes in the coral holobiont: partners through evolution, development, and ecological interactions. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 4, 176.
- Vidal-Márquez, A. (2021) Composición, mecanismos e importancia del microbioma en organismos marinos. *The Biologist (Lima)*. 19(2), 175-185.

Residuos plásticos: una fuente de materia prima para obtener membranas para purificación de agua

Autores: María Ortencia González Díaz, Mauricio Hunh Ibarra, Marcial Yam Cervantes, Rita, Sulub Sulub, Amairani Peraza Castañeda, Libia Itzá Uitzil, Jazmín Briceño Dzib, Manuel Aguilar Vega

Correo: maria.gonzalez@cicy.mx

Palabras clave: desechos plásticos, tecnología de membranas, tratamiento de agua.

Los plásticos son parte de nuestra vida diaria y han contribuido a mejorar la calidad de vida y el crecimiento de varios sectores de la sociedad. Sin embargo, su uso diario también ha provocado la generación de grandes cantidades de desechos plásticos.

¿Sabías que la producción global de plástico ha alcanzado casi 400 millones de toneladas y que la cantidad que se recicla es de alrededor del 9 % de todo lo producido?

Esta baja reciclabilidad ha ocasionado un impacto ambiental grave y negativo, pues se pueden encontrar plásticos contaminando desde los océanos hasta las montañas más altas, destruyendo los ecosistemas, la salud humana y la vida silvestre, en particular las especies marinas (Figura 1). Por ejemplo, cien mil tortugas y mamíferos marinos y un millón de aves marinas mueren anualmente por la contaminación del plástico de los mares (Profeco, 2021; Alves, 2024).

Sin cambios en las políticas actuales, se proyecta que la generación mundial de desechos plásticos se triplicará para 2060. Ante esta situación, la reutilización y reciclaje de materiales plásticos es uno de los grandes retos del siglo XXI.

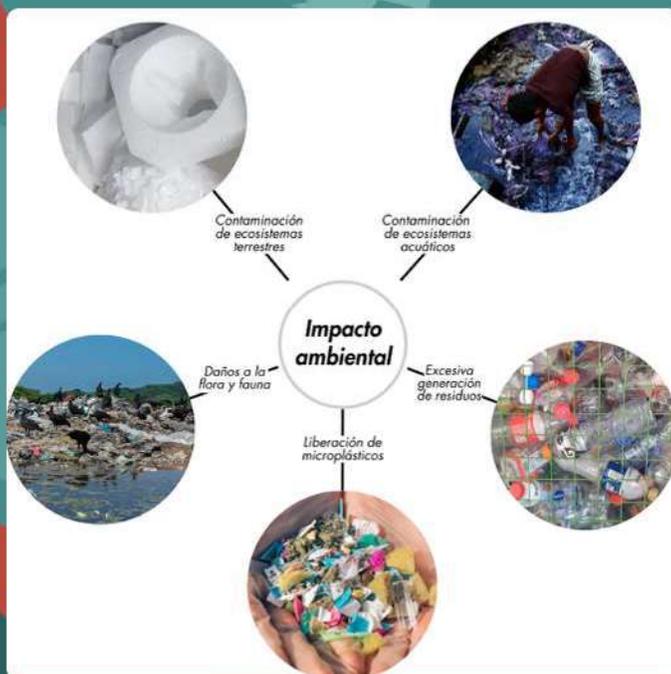


Figura 1. Impacto ambiental causado por los residuos plásticos.

Considerando esta situación, en el Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. (CICY) se está desarrollando el proyecto «Membranas de fibra hueca de residuos de poliestireno expandido sulfonado para el tratamiento de aguas residuales: material potencial para la economía circular», liderado por la Dra. María Ortencia González Díaz y financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt).

Actualmente, la tecnología de membranas es la que más aceptación e innovación ha tenido para el tratamiento de agua. De acuerdo con el Banco Mundial, se proyecta que el mundo enfrentará un déficit del 40 % entre la demanda prevista y el suministro de agua disponible para el año 2030 (World Bank Group, 2023). México es uno de los 25 países que enfrenta un alto estrés hídrico, lo que significa que cada año se extrae una media del 40 % del agua disponible para su uso (Chunyang et al., 2021). Por lo tanto, con este proyecto se pretende resolver dos problemáticas a la vez: demostrar que se le puede dar un segundo uso a los residuos plásticos y lidiar con el problema de la escasez de agua en México, en particular, de nuestra región.

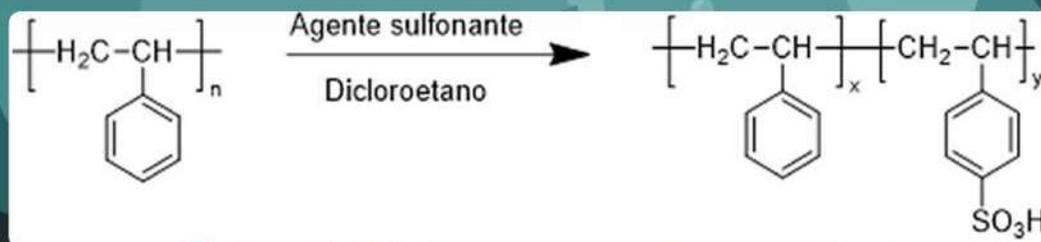
En este sentido, en los laboratorios del CICY se han probado dos tipos de desechos de poliestireno para la fabricación de membranas: 1) poliestireno expandido (PSE), obtenido de material de embalaje, comúnmente conocido como unice; y 2) poliestireno de alto impacto reciclado (RHIPS), obtenido de una bandeja (Figura 2).

Los intentos de reciclaje del poliestireno se han basado en el reciclado químico para convertir los residuos en los compuestos químicos que le dieron origen (hidrocarburos químicos) (Shu-Hui et al., 2021). Sin embargo, el proceso no es económicamente rentable porque el costo de los hidrocarburos es bajo en comparación con los que se obtienen por reciclaje.



Figura 1. Desechos de a) PSE y b) RHIPS, empleados para la elaboración de las membranas.

En este proyecto se planteó como alternativa de reciclaje a la sulfonación de residuos de PSE y RHIPS, mediante una reacción química donde se sustituye un átomo de hidrógeno por un grupo funcional de ácido sulfónico (Esquema 1).



Esquema 1. Reacción de sulfonación de desechos de PSE.

Con la introducción de grupos sulfónicos en las membranas de desechos de PSE, se obtiene un mejor desempeño en la eliminación de sales, colorantes y algún otro contaminante en las aguas. Con el RHIPS se obtuvieron membranas en forma de película plana (Figura 3) y con el PSE membranas de fibra hueca (Figura 4); ambas presentan una porosidad adecuada para separar distintos tipos de partículas contaminantes por diferencias de tamaño. Las membranas de RHIPS sulfonado lograron hasta un 70 % de eliminación de sales.

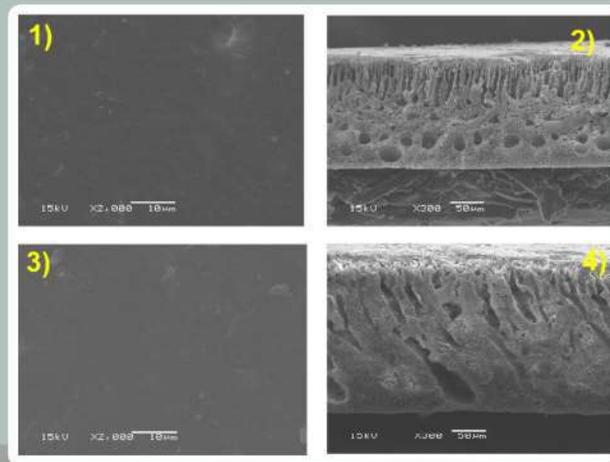


Figura 3. Fotografías de la superficie y laterales de las membranas de RHIPS sin sulfonar (1,2) y sulfonadas (3 y 4), observadas con un microscopio electrónico de barrido (MEB).

Existen otro tipo de membranas, como las de fibra hueca (MFH), que ofrecen una mayor superficie de membrana por unidad de volumen en un dispositivo o módulo de separación, lo que da como resultado una mayor eficiencia e intensificación del proceso, en comparación con las de geometría plana, y son las más usada en la actualidad. Uno de los materiales más empleados para su elaboración es el polímero conocido como polifenilsulfona (PFS), el cual también es usado en la fabricación de asientos, partes de aviones, mangos de instrumentos médicos, etc.

En los laboratorios del CICY se realizaron diversos experimentos para estudiar si las membranas de fibra hueca de PFS fabricadas con algún porcentaje de poliestireno expandido (PSE) reciclado sulfonado pueden ser eficientes en los procesos de tratamiento de aguas, obteniendo resultados positivos, pues las MFH con 20 a 40 % de PSE reciclado presentan una morfología similar a la MFH elaborada de material virgen (PFS)(Figura 4).

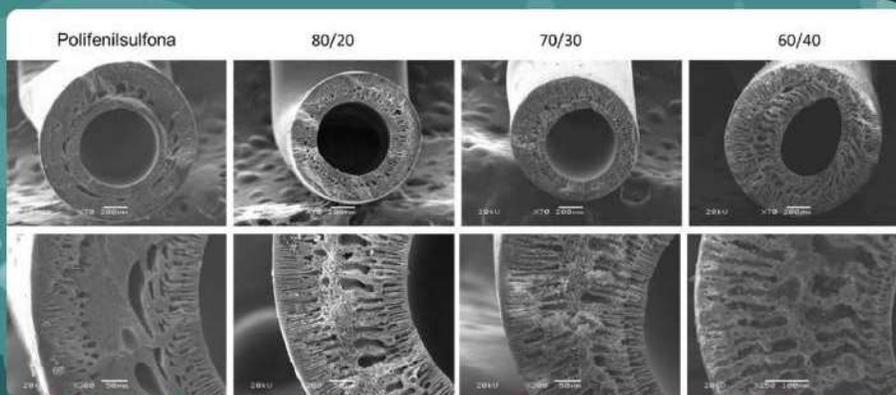


Figura 4. Imágenes transversales de MFH con acercamiento de X70 y X300 observadas con un MEB.

Los resultados obtenidos en la purificación de agua a través de la eliminación de colorantes, demostraron que las membranas con 20 % de desechos de PSE sulfonado fueron capaces de purificar hasta el 98 % del tinte negro reactivo 5 y 32 % del tinte azul de metileno (Figura 5). Los porcentajes de eliminación de colorantes fueron muy similares a los obtenidos con la membrana de material virgen PFS, lo cual demostró que es posible dar un segundo uso a este tipo de materiales de desecho, ayudando a disminuir la contaminación de agua por tintes o colorantes.

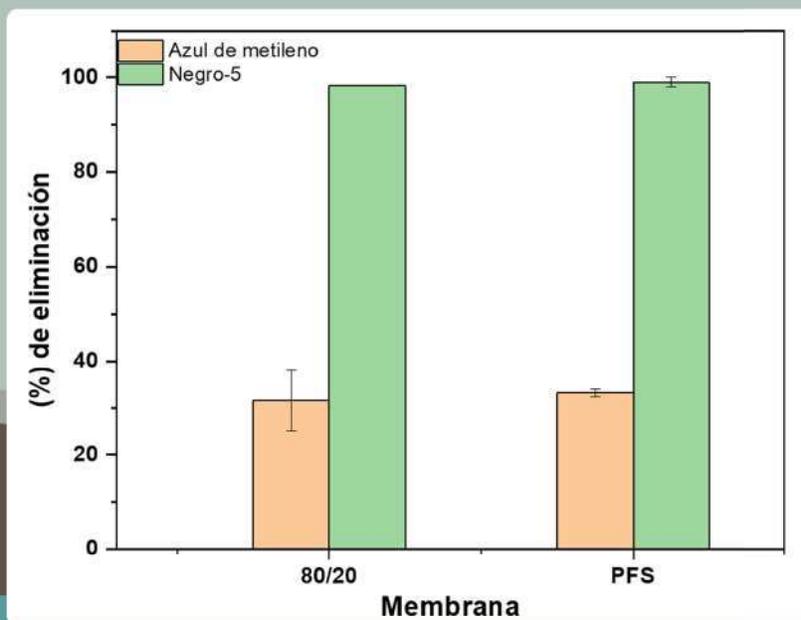


Figura 5. Capacidad de eliminación de colorantes en membranas de PFS y PFS con 20 % de desechos de PSE.

Las y los investigadores y estudiantes involucrados continúan trabajando en la factibilidad técnica y económica de la economía circular que permita el desarrollo de membranas poliméricas a partir de diversos residuos plásticos; esperan, a mediano plazo, contar con módulos y prototipos de membranas a nivel experimental para la purificación de agua en ríos, cenotes y diversas aguas salobres e industriales que requieren la eliminación de contaminantes.

Referencias

- Alves, B. (2024). Plastic waste worldwide-statistics & facts. Statista. <https://www.statista.com/topics/5401/global-plastic-waste/#topicOverview>
- Chunyang, H., Zhifeng, L., Jianguo, W., Xinhao, P., Zihang, F., Jingwei, L., & Brett, B. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12, 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- Procuraduría Federal del Consumidor (Profeco). (2021). Contaminación por plástico. <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es>
- Shu-Hui, L., Chun-Cheng, L., Chi-Wen, L., & Shih-Hsien, C. (2021). Rapid modification of waste expanded polystyrene with H₂SO₄/trace persulfate in one pot for effective adsorption of fluoroquinolone antibiotic and its regeneration. *Chemosphere*, 271, 129529. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129529>
- World Bank Group. (2023). Water. <http://www.worldbank.org/en/topic/water/overview>

Soluciones basadas en la naturaleza: una alternativa frente a las inundaciones en la ciudad de Mérida, Yucatán

Autora: Dra. Bertha Hernández Aguilar

Correo: bertha.hdz@iecologia.unam.mx

Palabras clave: NBS, Jardines de Lluvia, inundaciones, resiliencia, Mérida.

Las ciudades enfrentan hoy desafíos sin precedentes debido al cambio climático, cuyas repercusiones han superado la capacidad de adaptación de muchas urbes. Según el último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2022), el calentamiento global, resultado de las actividades humanas, está desencadenando efectos adversos sin precedentes en los sistemas socioambientales. Eventos extremos como inundaciones, sequías prolongadas y olas de calor están afectando de manera directa a las ciudades, poniendo en riesgo no solo la infraestructura, sino también la calidad de vida de millones de personas.

La urbanización descontrolada ha agravado estos problemas, dificultando la transición hacia un futuro más sostenible. En respuesta, surge la necesidad urgente de adoptar enfoques urbanos sostenibles y resilientes, como la integración de espacios verdes, la gestión adecuada de los recursos hídricos y la reducción de la huella de carbono como señalan Ozment et al. (2021). Entre las estrategias emergentes en América Latina destacan las soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés), que ofrecen alternativas frente a la infraestructura "gris". Estas soluciones, como explican Watkin et al. (2019), buscan proteger y restaurar ecosistemas naturales o modificados en zonas urbanas y rurales, proporcionando servicios ecosistémicos esenciales y contribuyendo a la mitigación de los efectos del cambio climático.



Capturando el poder del agua

Los jardines de lluvia son un tipo de NBS que se define como depresiones poco profundas, diseñadas para captar y gestionar flujos de agua de lluvia procedentes de superficies impermeables como el concreto de las ciudades (Ver figura 1). En términos técnicos, un jardín de lluvia es una excavación de aproximadamente 1.5m de profundidad que se rellena con materiales de diversos granulados para poder filtrar el agua pluvial y que llegue de forma limpia al acuífero (Ver figura 2). De acuerdo con las autoridades municipales de Mérida, los objetivos principales de estos jardines son reducir los riesgos de inundaciones y filtrar contaminantes antes de que lleguen al acuífero. Además, buscan mejorar el paisaje y la movilidad urbana, crear espacios públicos, y mitigar el efecto de la Isla de Calor (IMPLAN, 2021).

En este contexto, se desarrolló el proyecto RULA-IRES 2024, cuyo objetivo fue realizar una evaluación preliminar de los beneficios de los jardines de lluvia en Mérida, una ciudad especialmente vulnerable a las inundaciones. El estudio se enfocó en la colonia Juan Pablo II, donde se encuentran los primeros jardines de lluvia piloto implementados por el H. Ayuntamiento de Mérida, en la Avenida 132. La investigación fue diseñada y ejecutada por un grupo de estudiantes de diversas universidades (Duke University, Arizona State University, University of North Carolina, Columbia University) de Estados Unidos y la ENES Mérida, quienes emplearon una metodología que combinó trabajo de campo y análisis documental. Esta metodología incluyó una revisión de la literatura y de documentos oficiales, visitas frecuentes para la toma de muestras de agua y suelo, entrevistas informales y semiestructuradas con actores clave, y un mapeo participativo desarrollado en la sede poniente del Instituto de la Mujer.



Figura 1. Foto tomada el 9 de abril de 2024, recorrido facilitado por el IMPLAN. Fotografía: Bertha Hdz-Aguilar



Figura 2. Foto tomada el 24 de junio de 2024, equipo RULA-IRES tomando muestras de agua. Fotografía: Bertha Hdz-Aguilar

Jardines de Lluvia: evaluación en terreno y perspectiva comunitaria

Los resultados más relevantes incluyen las discusiones con vecinos y residentes locales sobre los impactos de las inundaciones. Los vecinos señalaron problemas relacionados con la movilidad, especialmente los tiempos de traslado que se alargan durante las lluvias y los riesgos al salir o transitar por calles inundadas. También expresaron su preocupación por la acumulación de agua, que favorece la proliferación de mosquitos. Durante el taller, se mencionó a la basura como un factor que obstaculiza el flujo de agua hacia las zanjas de drenaje convencionales (ver Figura 3). Cabe destacar que ninguno de los participantes estaba al tanto de la existencia de estos jardines de lluvia. Sin embargo, al finalizar la interacción, se discutieron los beneficios asociados a estos jardines, lo que despertó un notable interés entre los participantes por conocer más sobre el tema e involucrarse en su cuidado y mantenimiento.

En cuanto a los resultados técnicos de los jardines en la colonia Juan Pablo II, el diseño ingenieril que facilita el movimiento del agua pluvial es crucial. El primer jardín de lluvia, ubicado en la Calle 67D y Calle 132, es el que mejor funciona gracias a su guarnición dentada, es decir, bordes acortados, y a su mayor tamaño (ver Figura 4). En cambio, el segundo jardín de lluvia, situado en la Calle 5D y Calle 132, solo funciona bien en las áreas donde se ha implementado la guarnición dentada. Por último, el tercer jardín de lluvia, monitoreado en esta investigación y ubicado entre la Calle 67B y la Av. Mérida 2000, no es muy eficaz debido a su pequeño tamaño, que resulta insuficiente para la cantidad de agua que se acumula en esa calle, y a la falta de barreras adecuadas para permitir la entrada del agua (RULA-IRES, 2024).



Figura 3. Zanja convencional de drenaje de agua. Fotografía: Bertha Hdz-Aguilar

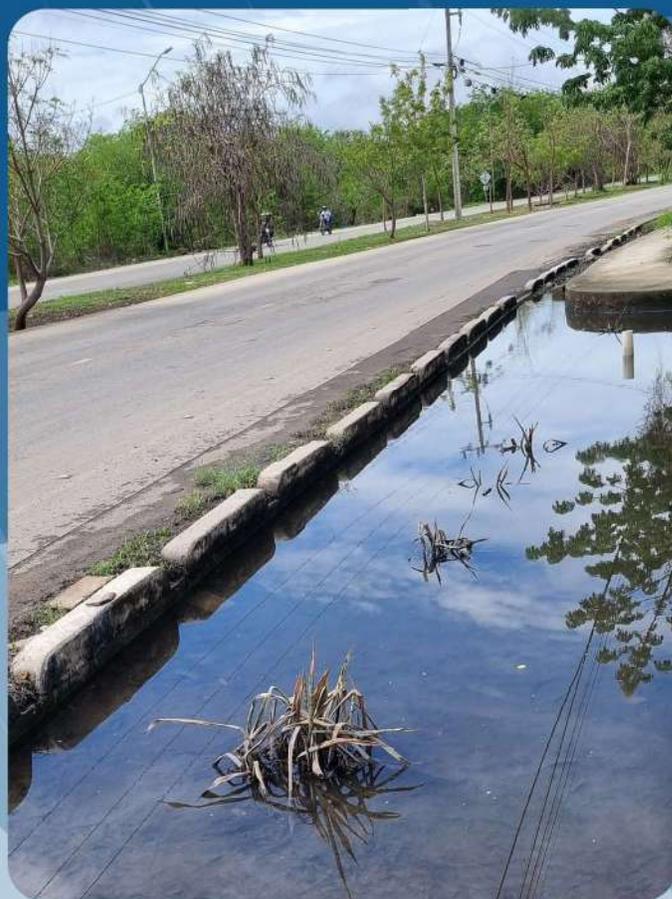


Figura 4. Bordes acortados de los jardines de lluvia. Fotografía: Bertha Hdz-Aguilar

El camino a seguir para la ciudad

Esta experiencia subraya la importancia de reconocer los beneficios de los jardines de lluvia en una ciudad como Mérida. Aunque uno de los principales desafíos de estas soluciones es la dificultad de seleccionar lugares adecuados para su implementación, el financiamiento resulta esencial tanto para su construcción como para su mantenimiento. La eficacia de estos proyectos aumenta significativamente cuando se involucra a la comunidad en su desarrollo. Algunos ejemplos de la eficacia de estos jardines se han presentado en ciudades como Bogotá, Colombia o Sau Pablo, Brasil, en donde los jardines han contribuido a mejorar la infiltración del agua y con ello, la reducción de contaminantes que se infiltra al subsuelo así como para mitigar las inundaciones (Castañer, 2020). Por lo tanto, sensibilizar a la población sobre el funcionamiento de los jardines de lluvia es crucial para lograr mejores resultados y replicar estos proyectos en otras áreas de la ciudad. Un primer paso es divulgar su funcionamiento, para luego invitar a los tomadores de decisiones y a la ciudadanía en general a participar activamente en el cuidado y mantenimiento de estos sistemas, que, cuando son gestionados adecuadamente, ofrecen beneficios sustanciales para toda la ciudad.

Agradecimientos

Al proyecto RULA-IRES desarrollado durante junio y julio de 2024, con la participación de estudiantes de la ENES Mérida y estudiantes de intercambio internacional de Estados Unidos.

Extendemos nuestro agradecimiento a todos los participantes, vecinos, al Instituto de la Mujer sede Poniente y al Instituto Municipal de Planeación de Mérida (IMPLAN). En especial a Said Chuc por los comentarios. Para más información, les invitamos a consultar <https://natura-net.org/rula>.

Fuentes de consulta:

Castañer, C. M., & Mesquita Pellegrino, P. R. (2020). Sustainable urban drainage designing approach for São Paulo and humid sub-tropical climates. In *Green Technologies and Infrastructure to Enhance Urban Ecosystem Services: Proceedings of the Smart and Sustainable Cities Conference 2018* (pp. 151-162). Springer International Publishing.

IPCC (ed.) (2022) "Chapter 6: Cities, Settlements and Key Infrastructure," in *Climate change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. IPCC.

IMPLAN. (2021). *Sistemas Urbanos de drenaje pluvial sostenible para Mérida. Elementos para el modelo de Gestión*. IMPLAN. Resiliencia Urbana. SUDS. 2021.

Ozment, S., M. Gonzalez, A. Schumacher, E. Oliver, G. Morales, T. Gartner, M. Silva, G. Watson y A. Grünwaldt. (2021). «Soluciones basadas en la naturaleza en América Latina y el Caribe: situación regional y prioridades para el crecimiento». Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo e Instituto de Recursos Mundiales.

Watkin, L. J., Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Weesakul, S., & Torres, A. S. (2019). A framework for assessing benefits of implemented nature-based solutions. *Sustainability*, 11(23), 6788.

La ciudad de Mérida frente al cambio climático y al acelerado cambio de uso de suelo: la importancia de la conservación de los bosques urbanos

Autores: Karla Rodríguez Medina, Xavier Chiappa Carrara

Correos: karla.rdz@enesmerida.unam.mx, chiappa@unam.mx

Palabras clave: ciudades sostenibles, ecología urbana, cambio climático

A pesar de que las ciudades ocupan el 2-3% del espacio geográfico mundial, las actividades humanas consumen entre el 70 y 80% de los recursos naturales y emiten más del 80% de los gases de efecto invernadero, especialmente CO₂, superando los límites naturales de concentración en la atmósfera del último milenio. Esto resulta en aumentos de temperatura y cambios en los patrones climáticos (Phillips et al. 2017; Udara et al., 2019; Hoornweg et al., 2020; UN-HABITAT, 2020).

Muchas ciudades presentan un acelerado crecimiento urbano que implica cambios en el uso de suelo, principalmente debido a la construcción de nuevas zonas habitacionales, comerciales/industriales, lo que provoca pérdida de la cobertura vegetal y aumento de la superficie de concreto, reduciendo la capacidad de disminución de gases de efecto invernadero. Al aumentar la superficie de concreto, se absorbe más energía térmica y se retiene más calor, dando origen al fenómeno conocido como isla de calor urbana (Taha et al., 1988).

Bowler et al. (2010) revisaron estudios que respaldan el efecto de enfriamiento que tienen los bosques urbanos. Una de sus conclusiones es que, a mayor superficie de vegetación, mayor es el efecto de enfriamiento en las ciudades. Señalan que no es lo mismo una superficie verde con césped, que una superficie verde con arbolado urbano y especies nativas, siendo esta última la que mayor efecto de enfriamiento tiene (Barradas, 1991; Bacci et al., 2003; Chang et al., 2007). Se ha demostrado que el arbolado urbano ofrece otros servicios ambientales como la disminución de la concentración de contaminantes atmosféricos derivados de las emisiones automovilísticas e industriales, disminución de la contaminación acústica, mayor capacidad de filtración de agua en temporada de lluvias evitando inundaciones. Los bosques urbanos funcionan como reservorios de poblaciones de especies que son importantes tanto para la sociedad como para el entorno natural, p.ej., las especies controladoras de plagas, polinizadoras y dispersoras de semillas (Nowak, 2002; Czaja et al., 2020; Schwaab et al., 2021).

En la ciudad de Mérida, el arbolado urbano es fundamental para mitigar las olas de calor comunes en la zona. Los registros multianuales muestran que la temperatura media es de aprox. 27 °C, llegando, durante la primavera y el verano, a poco más de 40 °C. Sin embargo, en los últimos años las temperaturas extremas se han presentado con mayor frecuencia. En mayo del presente año se registró por primera vez en 34 años una temperatura de 44.6 °C con una sensación térmica de más de 50 °C. Se muestra una tendencia al alza de más de dos grados centígrados en la temperatura promedio mensual en comparación con años anteriores (CONAGUA, 2024)(Figuras 1 y 2). Es probable que estos picos se intensifiquen por el acelerado crecimiento urbano derivado de la actividad inmobiliaria que conlleva el uso desmedido de lotes para construcción, eliminando selva baja caducifolia y/o vegetación secundaria.

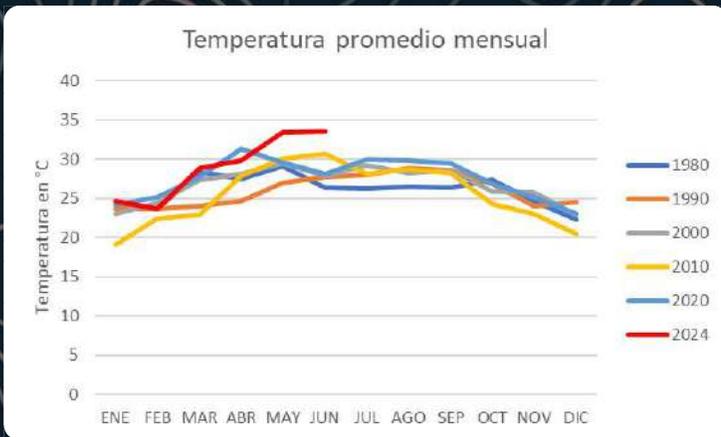
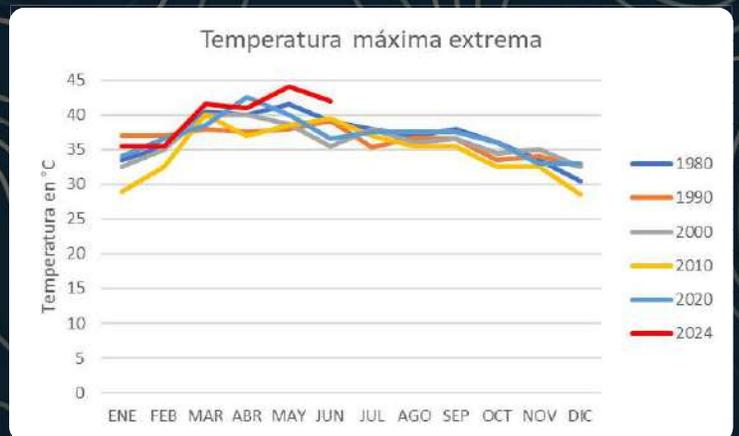


Figura 1. Temperatura promedio mensual por décadas (1980-2024) en Mérida. Línea roja: temperatura medida en el presente año, y hasta el mes de junio. Normales Climatológicas de CONAGUA (2024).

Figura 2. Temperatura máxima extrema por décadas (1980-2024) Mérida. Línea roja: temperatura medida en el presente año, y hasta el mes de junio. Normales Climatológicas de CONAGUA (2024).



En el Estudio Demográfico y Territorial (2023) sobre el crecimiento de la ciudad de Mérida, se muestra cómo la expansión urbana ha sido desproporcionada, dispersa y poco planeada desde el punto de vista de la sostenibilidad. De acuerdo con el INEGI (2020), el 72.7 % de la población (723,322 personas) del municipio se encuentra dentro de la ciudad ocupando el 48.1 % de la superficie urbanizada, mientras que el 27.3 % (271,807 personas) vive en la periferia, ocupando un 51.9% de la superficie con un incipiente grado de urbanización (Figura 3). Este crecimiento ha provocado que, durante las dos primeras décadas de este siglo, se deforestaran anualmente 205.08 ha de selva para la construcción de viviendas, estimando un total de 5,413 ha deforestadas, contribuyendo a la pérdida de la biodiversidad urbana y de la funcionalidad ecológica (Carrillo-Niquete et al., 2021). La mayor parte de esta deforestación y fragmentación del hábitat se observa en la zona norte del municipio (Figura 4).

En los escenarios climáticos publicados en el Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo ante el Cambio Climático (2024) de la Unidad de Desarrollo Sustentable del Ayuntamiento (futuro cercano 2015-2039), se pronostica que habrá un incremento de hasta 1.42 °C en la temperatura media, lo que representa un incremento del 5 % respecto al promedio histórico.

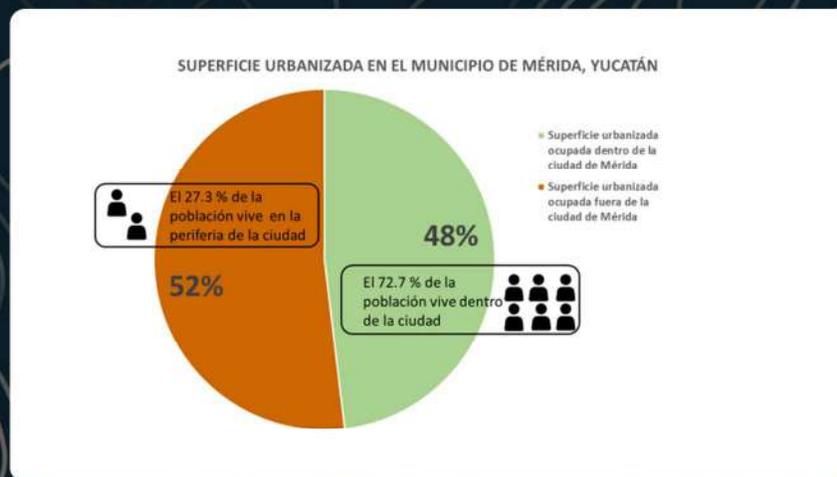


Figura 3. Superficie urbanizada del municipio de Mérida dentro y fuera de la ciudad, y personas que viven en cada fracción.

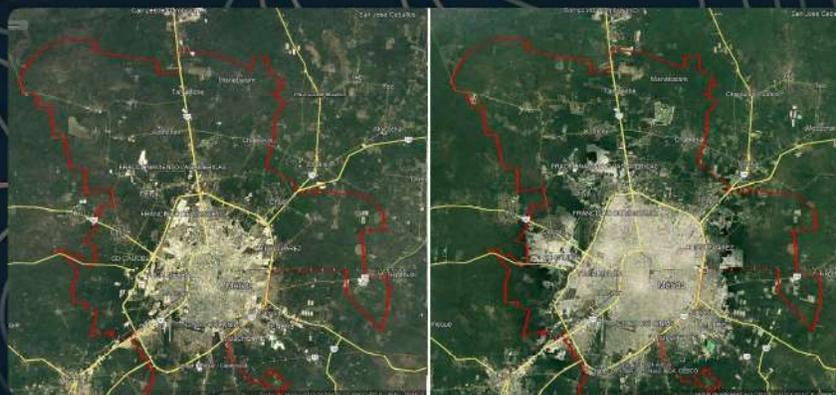


Figura 4. La imagen de la izq. es de 2010 y la de la derecha, 2023. La mayor parte de la fragmentación de la vegetación fuera de la ciudad de Mérida (delimitada por la línea amarilla), se ha dado en la zona norte.

Urge planear el desarrollo urbano de la Cd. de Mérida considerando el equilibrio entre el crecimiento inmobiliario y la conservación de los bosques urbanos. El replanteamiento debe discutirse en el marco de las propuestas de desarrollo de ciudades sostenibles, y debe basarse en 1) estudios científicos que documenten la importancia de los servicios funcionales que brinda la biodiversidad urbana en la ciudad; 2) el Análisis de Vulnerabilidad y Riesgos ante el Cambio Climático de la Ciudad de Mérida; y 3) el Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad.

En el Laboratorio de Biología de la Conservación de la UNAM generamos información científica que relaciona los bosques urbanos y los rasgos funcionales ecológicos de la biodiversidad urbana. Mantener áreas de vegetación suficientemente grandes se traducirá en beneficios ambientales, sociales y económicos para la ciudad.

Referencias bibliográficas

- Barradas, V.L., (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City. *Int. J. Biometeorol.* 35, 24–28.
- Bacci, L., Morabito, M., Raschi, A., Ugolini, F., (2003). Thermohygro-metric conditions of some urban parks of Florence (Italy) and their effects on human well-being. In: Paper presented at the Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155.7
- Carrillo-Niquete G.A., Andrade J.L, Valdez-La-zalde J.R, Reyes-García C. y Hernández-Stefanoni J.L. (2021). Characterizing spatial and temporal deforestation and its effects on surface urban heat islands in a tropical city using Landsat time series. *Landscape and Urban Planning* 217: 1–13.
- Chang, C.R., Li, M.H., Chang, S.D., (2007). A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape Urban Plann.* 80, 386–395
- CONAGUA, (2024). Normales Climatológicas Mensuales por Estado https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Mensuales/yuc/mes31097.txt
- Czaja, M., Kolton, A., & Muras, P. (2020). The complex issue of urban trees—Stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forests*, 11(9), 932.
- Estudio Demográfico y Territorial (2023). Crecimiento de la Ciudad de Mérida. Cuantificación y Dimensionamiento de la Periferia Urbana. *MetropoliMid*
- Estudio de Riesgos y Vulnerabilidad al Cambio Climático del Municipio de Mérida, Yucatán (2024). Centro Mario Molina, Unidad de Desarrollo Sustentable del Ayuntamiento de Mérida.
- Phillis, Y. A., Koukoglou, V. S., & Verdugo, C. (2017). Urban sustainability assessment and ranking of cities. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 254–265.
- Hoorweg, D., Sugar, L., & Gomez, C. L. T. (2020). Cities and greenhouse gas emissions: moving forward. *Urbanisation*, 5(1), 43–62.
- INEGI, Censo de Población y Vivienda (2020). Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020: Yucatán /Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2023.
- Nowak, D. J. (2002). The effects of urban trees on air quality. *USDA forest service*, 96–102.
- Taha, H., Akbari, H., Rosenfeld, A., Huang, J., 1988. Residential cooling loads and the urban heat island - the effects of albedo. *Build. Environ.* 23, 271–283
- Udara Wilhelm Abeydeera, L. H., Wadu Mesthrige, J., & Samarasinghalage, T. I. (2019). Global research on carbon emissions: A scientometric review. *Sustainability*, 11(14), 3972.
- UN-Habitat, *World Cities Report (2020). The Value of Sustainable Urbanization (United Nations Human Settlement Programme, 2020).*
- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature communications*, 12(1), 6763

Franjas satelitales: Un bosquejo de la topografía terrestre y sus variaciones

Autor: Alejandro Téllez Quiñones

Correo: atellez@centrogeo.edu.mx

Palabras clave: Percepción Remota, Imágenes Satelitales, Radar de apertura sintética, Interferometría radar, Modelos digitales de elevación.

Algunos antecedentes.

Las imágenes satelitales de los radares de apertura sintética o SAR (por sus siglas en inglés) aportan información valiosa de la superficie terrestre mediante aplicaciones derivadas de lo que se conoce como *interferometría* SAR. Entre estas aplicaciones, dos de las más interesantes son los modelos digitales de terreno y los mapas relacionados con las vibraciones sísmicas. Partiendo de la geometría que involucra la triangulación entre dos posiciones satelitales y alguna posición particular en el terreno, la captura de imágenes de la misma zona de estudio desde estas dos posiciones permite la construcción de una tercera imagen compleja cuyo término de fase posee información de la topografía de dicha zona, o sus variaciones.

A finales de los 70's, los sistemas formadores de imágenes mediante radar empezaron a tomar un importante rol en percepción remota, primeramente, en investigaciones de superficies planetarias y posteriormente con los satélites de la NASA, como en el caso de la plataforma *SEASAT* lanzada en 1978 para la observación de la Tierra (Bamler et al., 1998). En las misiones de esa época fue demostrada la capacidad de estos sistemas para ofrecer mapas confiables de la superficie terrestre con información referente a las propiedades físicas de los elementos dispersores que la conforman, así como su topografía. En general, el monitoreo global mediante imágenes satelitales es en la actualidad un vasto campo de estudio que ofrece importantes aplicaciones prácticas para el medioambiente, el clima, desastres naturales como los terremotos, las inundaciones, estudios urbanos, monitoreo del sargazo (Ver Fig.1) etc.



Fig.1 Imagen radar en falso RGB mediante cociente de polarizaciones VV/VH

Algunos satélites poseen sensores de tipo óptico, realizando mediciones de datos de reflectancia de la radiación incidente del sol, con la detección de una porción del haz correspondiente a determinadas longitudes de onda en el espectro. Sin embargo, las plataformas con sensores de tipo radar detectan información de los así llamados *coeficientes de retrodispersión*, magnitudes físicas que poseen información de las propiedades dieléctricas de los objetos distribuidos sobre la superficie terrestre. Desde luego, para realizar esta detección, se emplea radiación electromagnética en el dominio de las microondas, es decir, mediante longitudes de onda en el orden de centímetros (como en el caso de Sentinel-1, ver Fig. 2).

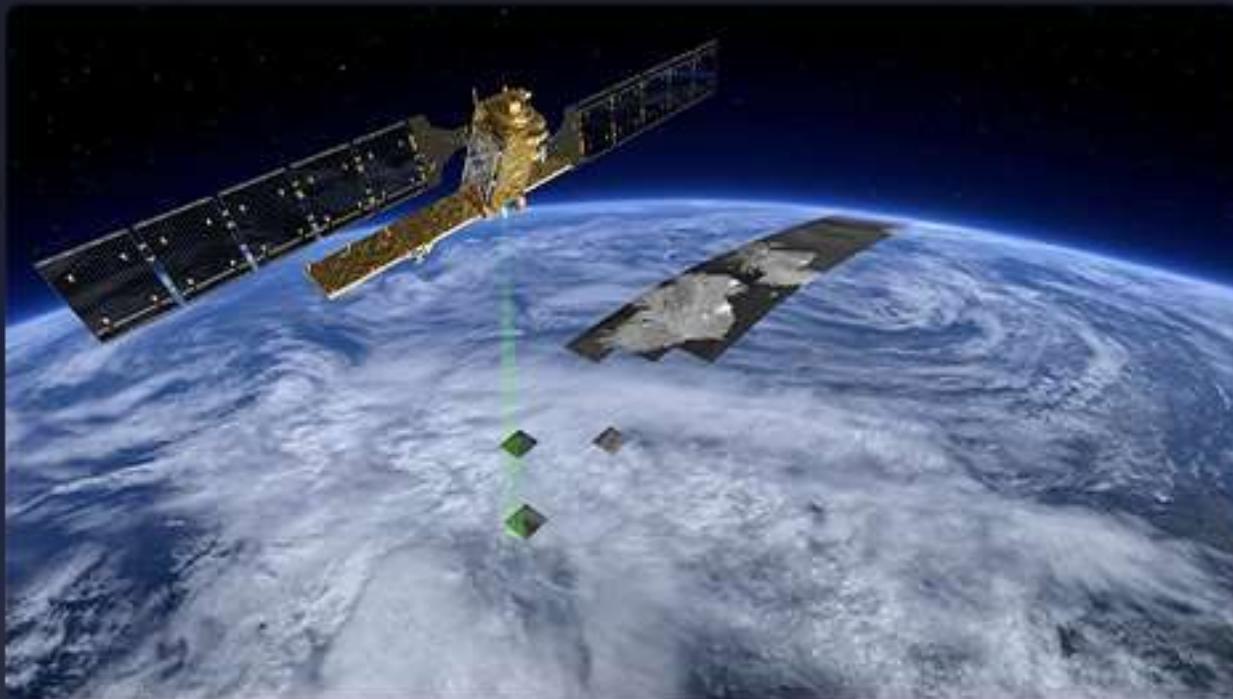


Fig. 2 Lanzamiento del Sentinel-1 ESA. Agencia Espacial Europea. (2014).

A diferencia de los sensores ópticos, los sensores radar se consideran sistemas activos, en el sentido de que éstos controlan su propia fuente de radiación, y pese a que los ópticos ofrecen generalmente imágenes de mayor resolución en comparación a los de radar, éstos últimos tienen la ventaja de poder hacer mediciones, independientemente de las condiciones climáticas, meteorológicas o de iluminación solar. Sin embargo, más allá de las bondades o deficiencias de las imágenes de radar, en comparación a las multiespectrales, ambas pueden ser usadas como formas complementarias, ya que con unas se pueden corroborar los resultados de las otras en ciertos tipos de aplicaciones. De hecho, la fusión de imágenes de ambos tipos de sensores, ópticos y de radar, es una realidad que es posible hoy en día, debido a la existencia de diversas técnicas de interpolación y la gran cantidad de programas de cómputo especialmente diseñados para la manipulación y el procesamiento de dichas imágenes.

Patrones de franjas SAR y modelos digitales de elevación.

Es posible que en algún momento de nuestra vida cotidiana hayamos visto un curioso e hipnótico patrón de franjas generado por la superposición de un par de telares, mallas, pabellones o mosquiteros (Ver Fig.3).

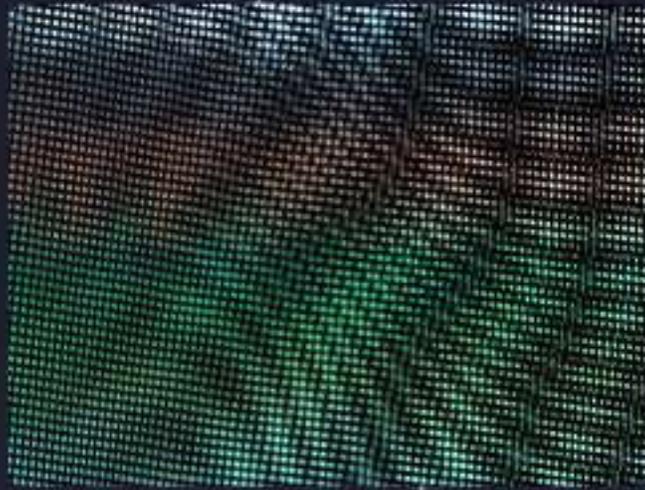


Fig. 3 Patrón de Moiré. Gómez, J. (2011).

Este fenómeno óptico, es conocido como patrón de Moiré (Yokozeki et al., 1976). Por extraño que parezca, patrones como este poseen información de superficies, tal y como en el caso de aquellos generados mediante interferometría óptica o interferometría SAR (Hanssen, 2002). La información de estas superficies está inmersa en los términos de fase de las señales complejas que representan a una superposición de ondas electromagnéticas. Un término de fase es una cantidad directamente proporcional a una diferencia de longitudes geométricas, normalmente asociadas a los caminos recorridos por la radiación electromagnética en algún arreglo que involucra a un objeto de estudio y a una posible fuente de radiación.

Aunque rigurosamente no todos estos patrones de franjas o interferogramas derivan de una superposición real de ondas electromagnéticas, algunos de ellos pueden generarse artificialmente con la información de ciertas imágenes, tal y como es el caso de los interferogramas SAR (Ver Fig.4).

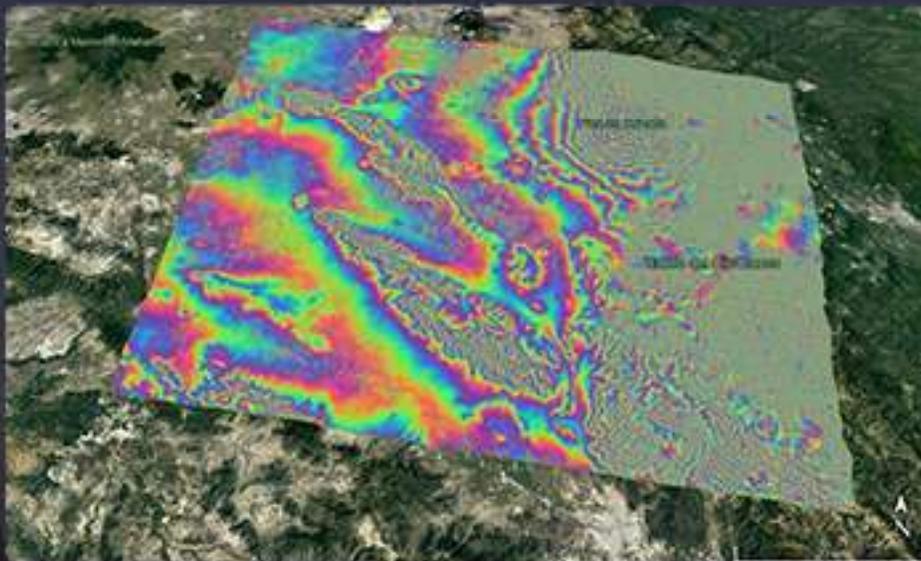


Fig. 4 Interferograma topográfico en una región cerca del Pico de Orizaba

En aplicaciones para desarrollar modelos digitales de terreno o mapas de subsidencia o elevación, causados por actividad sísmica, volcánica o algún fenómeno similar, primeramente, requerimos la obtención de una función llamada *fase interferométrica*. Esta fase se construye directamente con los datos de una señal compleja, obtenida de al menos un par de imágenes satelitales de radar, de la misma zona geográfica. Así, la información contenida e implícita en esta función, corresponde literalmente a un múltiplo de la superficie de elevación o deformación del terreno, según se trate de datos estrictamente topográficos, o aquéllos que correspondan a una diferencia entre un término topográfico de referencia y un modelo actualizado. Los *modelos de elevación* resultantes (como el mostrado en la Fig. 5), son un insumo fundamental en diversos estudios de vulcanología, geografía física, mapas de riesgos, etc.

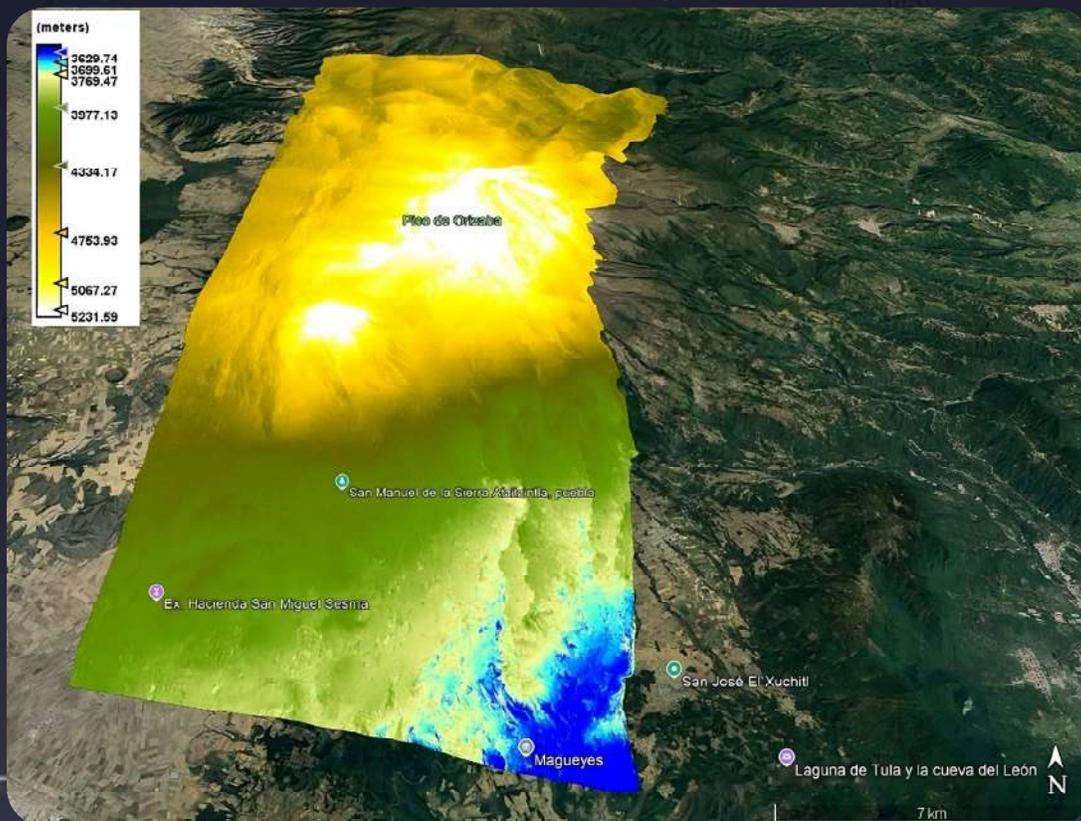


Fig. 5 Modelo de elevación resultante para el Pico de Orizaba

Puesto que la información de esta fase no puede ser obtenida directamente, lo primero que se obtiene es una versión discontinua de este mismo término, una imagen conocida como *interferograma SAR*. Este interferograma o patrón de franjas, requiere ser procesado mediante ciertos métodos o procedimientos matemáticos; los así llamados *algoritmos de desenvolvimiento de fase*. En la sede Yucatán de CentroGeo, se estudian y proponen estos complejos algoritmos (Télliez et al., 2020, 2021, 2023), con miras a un desarrollo tecnológico capaz de lidiar con las problemáticas que demandan el costo para el procesamiento de estos datos y la precisión para obtener estimaciones libres de ambigüedades (Ver Fig.6).

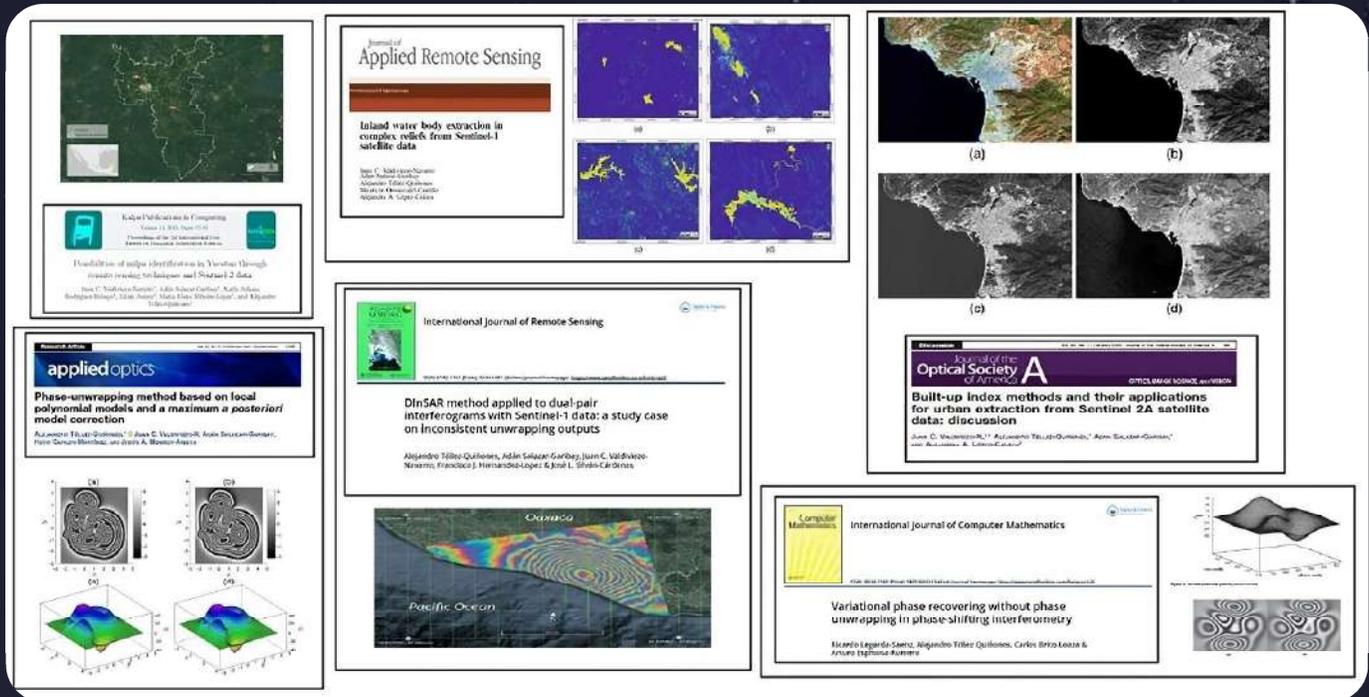


Fig. 6 Investigaciones diversas con imágenes satelitales y sobre algoritmos de desenvolvimiento de fase

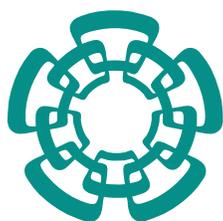
Referencias.

- R. Bamler and P. Hartl, "Synthetic aperture radar interferometry," *Inverse Problems*, 14, R1-R54 (1998).
- S. Yokozeki, Y. Kusaka, and K. Patorski, "Geometric parameters of moiré fringes," *Applied Optics*, 15, 2223-2227 (1976).
- R.F. Hanssen, *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*, (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 2001).
- A. Téllez-Quiñones, A. Salazar-Garibay, J.C. Valdiviezo-Navarro, F. Hernandez-Lopez, and J.L. Silván-Cárdenas, "DInSAR method applied to dual-pair interferograms with Sentinel-1 data: a study case on inconsistent unwrapping outputs," *International Journal of Remote Sensing*, 41(12), 4662-4681 (2020).
- A. Téllez-Quiñones, J.C. Valdiviezo-Navarro, A. Salazar-Garibay, H. Carlos-Martínez, and J.A. Monroy-Anieva, "Phase-unwrapping method based on local polynomial models and a maximum a posteriori model correction," *Applied Optics*, 60(5), 1121-1131 (2021).
- A. Téllez-Quiñones, D.B. Chi-Couoh, L.B. Gamboa-Salazar, R. Legarda-Sáenz, J. Valdiviezo-Navarro, M. León-Rodríguez, "Two-dimensional phase unwrapping based on Fourier transforms and the Yukawa potential spectrum," *Journal of the Optical Society of America A*, 40(4), 692-702 (2023).
- Agencia Espacial Europea, Se aproxima el lanzamiento del Sentinel-1A, https://www.esa.int/kids/es/Aprende/La_Tierra/El_cambio_climatico/Se_aproxima_el_lanzamiento_del_Sentinel-1A (2014).
- Gómez, J., Patrón de Moiré, <https://juliogm.wordpress.com/2011/02/18/%C2%BFadios-micro-moire/> (2011).



gaceta

Órgano Oficial de Divulgación del Sistema de Investigación, Innovación
y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán



Cinvestav
UNIDAD MERIDA



CentroGeo
21°07'51"N 89°46'51"O 0008m



UPY BIS
UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE YUCATÁN



**UNIVERSIDAD
MODELO**





gaceta

Órgano Oficial de Divulgación del Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán

Contáctanos: gaceta.siidetey@gmail.com | www.siidetey.org



RENACIMIENTO MAYA
YUCATÁN

SIIES
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN
SUPERIOR



SIIDETEY



Parque Científico y
Tecnológico de Yucatán



CONAHCYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología