



gaceta

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



Juntos transformemos
Yucatán
GOBIERNO DEL ESTADO

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.siidetey@gmail.com

www.siidetey.org

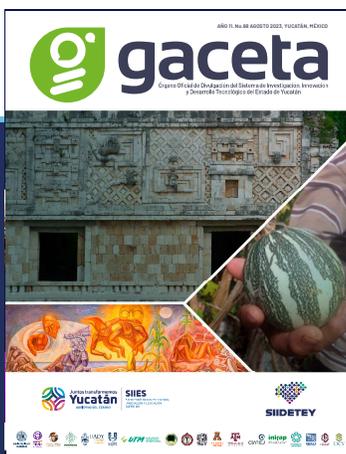
Con base en el Decreto de Creación del SIIDETHEY, se consideró importante desarrollar e implementar un esquema de información que permita divulgar las acciones que el propio Sistema desarrolla en materia de ciencia y tecnología, a fin de dar a conocer su quehacer y despertar el interés de la misma comunidad académica y de investigación.

A partir de los nuevos retos económicos y sociales, se ha identificado la necesidad de vincular de mejor manera la actividad científica, no solamente con su propio ecosistema, sino llevarlo a un segundo nivel de interacción con las actividades sociales y productivas, ante lo cual, esta nueva versión de la Gaceta SIIDETHEY pretende ser ese vínculo, acercando a los sectores involucrados con un matiz de pertinencia para la generación y utilización del conocimiento en ámbitos que trasciendan la esfera de lo estrictamente científico.

Es mucho y muy variado lo que la ciencia puede aportar a la vida cotidiana; con la creación de espacios para su divulgación, se generan las condiciones para el aprovechamiento del conocimiento producido en pro del impulso al desarrollo de una entidad como la nuestra, que le apuesta a la investigación y a la innovación como ejes transversales del bienestar social y económico.

Mtro. Mauricio Cámara Leal

Secretario de Investigación, Innovación y Educación Superior.



Quiénes Somos:

Gaceta SIIDETHEY es una publicación 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**.

Gaceta SIIDETHEY tiene una paginación variable; puede ser impresa en papel couché de 115 g. y forros en 130 g., a todo color, en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Oficinas de la DGII, ubicadas en el Parque Científico Tecnológico de Yucatán (PCTY), Km 5.5 Carretera Sierra Papacal - Chuburna Puerto.

Gaceta SIIDETHEY No. 68, Diciembre 2024. Mérida, Yucatán, México



Directorio

Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior

Mtro. Mauricio Cámara Leal

Mtro. Gerardo Vela Monforte

Universidad Autónoma de Yucatán

Dr. Carlos Alberto Estrada Pinto

Centro de Investigación Científica de Yucatán

Dr. Pedro Iván González Chi

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

Dr. Víctor Vidal Martínez

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

Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera

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. María Isabel Rodríguez Hereida

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 Saldívar Moreno

Universidad Politécnica de Yucatán

Dr. Alfredo Ulibarri Benítez

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

Rosa Martha Peralta Blanco

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

Patricia Fortuny Loret de Mola

UADY

Ramon Peniche Mena

UNIVERSIDAD MODELO

Jorge Carlos Canto Esquivel

UTM

Jorge Martínez Vera

ECOSUR

Carmen Olivia Rosas Correa

CINVESTAV

Rafael Rivera Bustamante

CIMAT

Joel Antonio Trejo Sánchez

SIIES

Ericka Guiselle Garibay Nava

ITM

Hermila Andrea Ulibarri Benítez

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

¡La Academia habla de la Milpa Maya... así!.....	5
Huertos familiares de Tabasco: aproximaciones ecológicas y sociales.....	8
La Agrosilvicultura de Hongos: Una Solución Sostenible para la Alimentación y la Conservación de Bosques.....	12
Momordica charantia. Un ejemplo de recurso Fitogenético con potencial uso como pigmento de origen natural.....	16
Las abejas sin aguijón de Yucatán (Tribu Meliponini): Evaluación de los posibles beneficios nutraceuticos de sus productos.....	20
TECH4NATURE: Identificando jaguares para su conservación mediante aprendizaje profundo.....	25
“Nematofauna bajo el lente: Explorando el uso de la secuenciación masiva en el Caribe mexicano en tiempos de Sargazo”	30
Fortalecimiento de la Infraestructura Científica para la Vigilancia y Control de Enfermedades Infecciosas en la Universidad Autónoma de Yucatán.....	34
Desarrollo y transferencia tecnológica para el fortalecimiento del estudio integral de enfermedades infecciosas en el estado de Yucatán.....	38
Energía Renovable Costera.....	43
Vehículos autónomos propulsados con energía renovable para el cuidado de las costas de la península de Yucatán.....	47

¡La Academia habla de la Milpa Maya... así!

Karla Juliana Rodríguez Robayo. AGROSAVIA - Corporación colombiana de investigación agropecuaria
Rosa Martha Peralta-Blanco. Centro de Investigación en Ciencias de la Información Geoespacial A.C.
María Elena Méndez-López. Centro de Investigación en Ciencias de la Información Geoespacial A.C.
Alejandro Molina-Villegas. Centro de Investigación en Ciencias de la Información Geoespacial A.C.
Lilián Juárez Téllez. Centro de Investigación en Ciencias de la Información Geoespacial A.C.

Palabras clave: geoespacial, geointeligencia, sistemas socioecológicos, milpa

La milpa constituye el principal sistema agroalimentario de la Península de Yucatán. Las cualidades que reúne como condiciones geográficas, culturales, ambientales y agrícolas la han posicionado junto con el sistema agrícola chinampero como uno de los Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) que alberga México. Dadas las características que le confieren este nombramiento, académicos provenientes de diversas disciplinas han demostrado interés por estudiarla, de manera que ha sido posible la consolidación de múltiples áreas de especialidad. Pese a ello, desde una perspectiva general, las directrices académicas que le atañen se encuentran difusas, por lo que al interior de la comunidad científica existe un desconocimiento interinstitucional de la producción académica

“Estudios territoriales de la milpa maya” es uno de los proyectos de mayor relevancia en CentroGeo (GeoINT, 2023), el cual se encuentra impulsado por el Área de Sistemas Socioecológicos de la sede Yucatán. En el marco de este proyecto, se publicó el artículo “What do we talk about when we talk about milpa? A conceptual approach to the significance, topics of research and impact of the mayan milpa system” (Rodríguez-Robayo, 2020) elaborado por los investigadores Karla Juliana Rodríguez Robayo, María Elena Méndez-López, Alejandro Molina-Villegas y Lilián Juárez Téllez, el cual tuvo como finalidad identificar las principales características del estudio del sistema agrícola milpa maya.



Metodología y resultados preliminares

El procedimiento utilizó dos técnicas: la curación automatizada de información documental, que consiste en un análisis del contenido temático de artículos científicos, capítulos de libros y otro tipo de documentos afines; y la aplicación de entrevistas abiertas a especialistas, para obtener un grado más específico de las investigaciones del tema. La conjunción de ambos procedimientos proporcionó una mirada íntegra en la que se evitó el sesgo de la interpretación humana al basarse en métricas obtenidas de la frecuencia y coexistencia de la palabra "Milpa" con otras palabras o expresiones, pero de forma simultánea se logró profundizar en las inquietudes y opiniones de los investigadores entrevistados.

Del conjunto de fuentes de datos se obtuvo una muestra de 169 documentos y doce entrevistas compuestas por 24 preguntas abiertas, en donde resaltan tópicos como la definición, la temporalidad, el tipo de investigación y los impactos positivos o negativos.

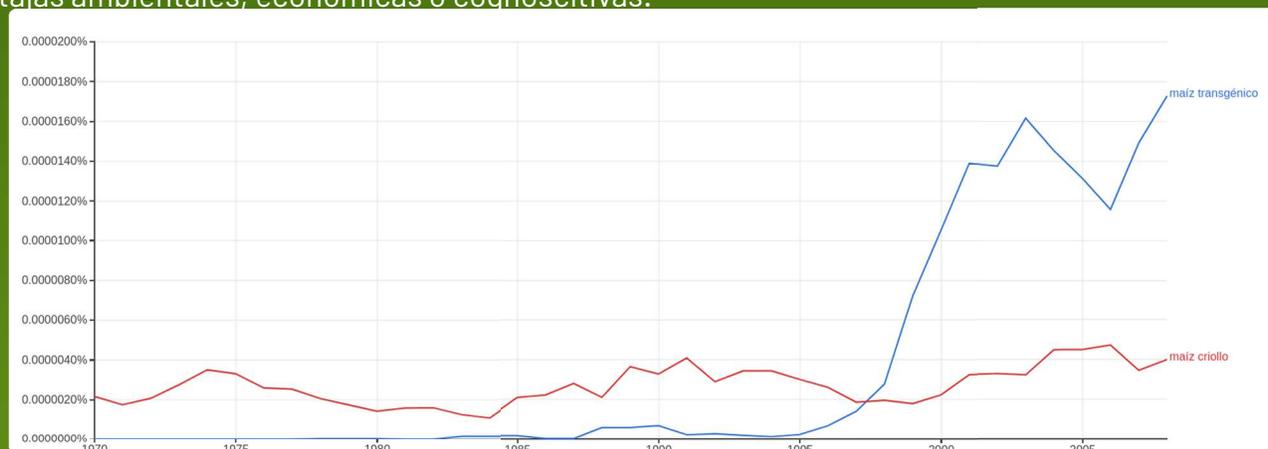
En el caso de la curación automatizada de información, se pudo identificar que el total de documentos se compuso de artículos, documentos especializados y capítulos de libros escritos en español e inglés dentro de tres temporalidades significativas correspondientes: documentos anteriores al año 2000, del 2001 al 2010 y del 2011 al 2018. Respecto al perfil investigativo, el origen de los documentos proviene de Yucatán, Otras regiones de México y Otros países. Así mismo, la nacionalidad del primer autor en todos los casos fue clasificada como Mexicana, Estadounidense y Otras.

Definición temática y temporal de la milpa

Del análisis de fuentes documentales y entrevistas se evidenció que existe una amplia diversidad de interpretaciones científicas de la milpa, en las que el factor temporal es un determinante. En este sentido fue posible la agrupación temática de las definiciones dentro de cinco categorías correspondientes a:

- I. Agricultura y técnica de cultivo,
- II. Conocimiento tradicional,
- III. Aspectos ambientales,
- IV. Sistema económico y,
- V. Multidisciplina y conocimiento

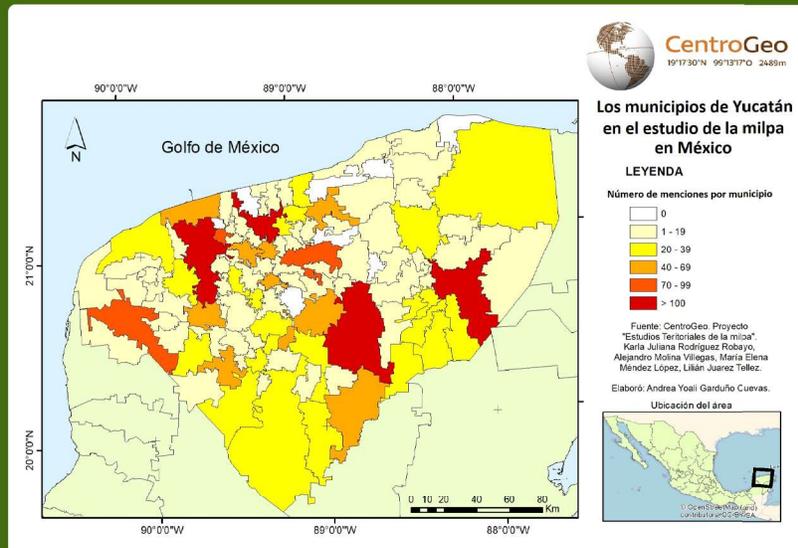
De estas categorías se identificaron dos periodos en los que existió la preponderancia de algunas definiciones con respecto de otras. El primer periodo corresponde de 1993 a 2012 en donde la Milpa se identificaba en mayor instancia por la apreciación de su agricultura con relación a los procesos socioculturales que derivan de ella. En el segundo periodo de 2013 a 2017 la conceptualización tuvo determinadas adaptaciones en las que se contempla como (1) Un sistema agrícola y su relación con aspectos ambientales; (2) Una actividad agrícola; o (3) Un sistema agrícola relacionado con dos o más categorías. Lo anterior nos conduce hacia la afirmación de que a través del tiempo los investigadores se han concientizado sobre las características y significaciones multifactoriales de la milpa, ya que si bien desde un inicio se concibió como una dualidad socio-agrícola, su trascendencia se enfocó posteriormente a sus ventajas ambientales, económicas o cognoscitivas.



¿Quién y cómo se estudia a la Milpa?

Dado que las tendencias preliminares del estudio demuestran que el sistema milpa corresponde a un objeto de estudio de la interdisciplina, en el ámbito del procesamiento de los datos pudieron identificarse perfiles específicos del tipo de investigación realizada. Con base en ello, se pudieron apreciar tres grupos disciplinares: medioambiental, sociocultural y económico.

Así mismo se señala que existen temas pendientes catalogados como áreas de oportunidad para la siguiente generación de investigadores, entre los que se encuentran la transferencia tecnológica, los impactos de la milpa, la gobernanza, la transferencia gubernamental, los derechos humanos, la salud y los correspondientes a aspectos legales.



Los investigadores afirman que...

Si bien el tema de las implicaciones de la milpa corresponde a un campo recién explorado, no pueden omitirse ciertos hitos investigativos relacionados con su impacto en el marco de una cultura eminentemente maya. Al respecto, se afirma que la milpa impacta de forma positiva al sistema sociocultural que la alberga, ya que el proceso de siembra y cosecha mantiene vivas la tradición, usos y costumbres, además de perdurar el conocimiento ambiental implícito en el proceso. Así mismo promueve la cohesión social, reduce el riesgo de inseguridad alimentaria y desnutrición.

No obstante, también se advierten consideraciones negativas. En este caso se señala que la quema efectuada para la preparación para la siembra es un generador de incendios forestales. Así mismo, la adopción y uso de agroquímicos modifican los procesos edafológicos y la integridad de los cuerpos de agua. Socialmente se señala que existen prácticas asociadas que son criminalizadas tales como la caza de animales, principal fuente de proteínas de la población. Y finalmente se menciona que la actividad agrícola derivada de la milpa no puede ser considerada una actividad económica ya que su rentabilidad se encuentra limitada al autoconsumo, esto debido a la dificultad de colocar los excedentes en el comercio local.

Ahora que sabes el modo en que la academia concibe la milpa maya te preguntamos ¿Qué es lo que significa para ti? ¿Qué opinas de lo expresado por la academia? ¿Cuáles son las aportaciones científicas con las que puedes contribuir? Estaremos encantados de escucharte.

Fuentes de consulta:

GeoINT. Laboratorio Nacional de Geointeligencia. (2023). Proyectos: Milpa Maya peninsular. Recuperado el 30 de noviembre de 2023, de <https://geoint.mx/site/proyectos/id/7.html>

Rodríguez-Robayo, K. J., Méndez-López, M. E., Molina-Villegas, A., & Juárez, L. (2020). What do we talk about when we talk about milpa? A conceptual approach to the significance, topics of research and impact of the mayan milpa system. *Journal of Rural Studies*, 77, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.04.029>

Huertos familiares de Tabasco: aproximaciones ecológicas y sociales

César Enrique Montiel Sánchez y César Augusto de la Cruz López
El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa.

Palabras clave: agricultura familiar, medio ambiente, sistemas socioculturales

Este artículo tiene como propósito reflexionar sobre los beneficios ecológicos y sociales que representan los huertos familiares (HF) en el contexto específico de Tabasco, México. Los HF son espacios con diferentes estratos de vegetación como árboles, arbustos y hierbas que suelen ubicarse alrededor de las casas proporcionando alimentos y recursos forestales a las familias (González, 2018). Desde una perspectiva ecológica, contribuyen a conservar suelos, sirven de hábitat para diversos seres vivos, almacenan carbono y han contribuido a domesticar y mantener especies silvestres (Chablé et al., 2021). En lo social, coadyuvan a la soberanía alimentaria, sirven como lugares de recreación y convivencia, apoyan la economía del hogar, son medios para comunicar y mantener la identidad alimentaria, entre otras funciones (Ordoñez et al., 2018).



Estos huertos son considerados acervos de conocimientos, prácticas y creencias milenarias, así como contemporáneas pues se han adaptado a las múltiples características geográficas y culturales donde se desarrollan (González, 2007). Los HF son parte de la agricultura campesina, pues ésta se caracteriza porque las familias son la fuerza de trabajo, la siembra es diversificada, aprovecha los bienes ecológicos del entorno y la producción se destina al autoabasto (van der Ploeg, 2010). Este tipo de agricultura suele estar armonizada con los procesos ecológicos lo que genera menor impacto en la naturaleza (Toledo et al., 2019).

En contraste, la agricultura capitalista deforesta grandes extensiones de bosques para sembrar en monocultivos que requieren contratar mano de obra, aplicar agroquímicos, emplear maquinarias y sistemas de riego automatizados, además, su finalidad es generar utilidades vendiendo sus productos en amplias redes comerciales (van der Ploeg, 2010). Esta lógica agrícola genera serias afectaciones a los sistemas naturales y sociales (Toledo et al., 2019).

Por otra parte, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2021, p. 23), Tabasco está ubicado al sureste de México en la denominada Llanura Costera del Golfo Sur, por lo cual la mayoría de su territorio es planicie inundable, también hay elevaciones en el estado que van de los 100 a los 1000 msnm debido a que limita con las sierras de Chiapas y Guatemala. En cuanto al clima, predomina el cálido húmedo con lluvias todo el año con un promedio anual de precipitación que va de los 1,600 a 3,600 mm y con una temperatura media alrededor de los 26°C (Ibíd., 2021, p. 61). Dada la abundancia de aguas superficiales en la entidad hay vegetación acuática; en las costas, los manglares; en laderas y planicies, selva perennifolia (Ibíd., 2021, p. 69). Por esta diversidad paisajística, los HF suelen estar compuestos de distintas variedades florísticas que dependen del grupo sociocultural y de la región del estado (Alcudia et al., 2018; Chablé et al., 2021).

En los aspectos sociales, según el censo 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021), Tabasco cuenta con una población de poco más de 2 millones 400 mil habitantes. La economía del estado está principalmente vinculada a la extracción de petróleo y gas; no obstante, la agricultura, ganadería, acuicultura, pesca y minería de cal, grava y arena son actividades importantes (CONABIO, 2021, p. 101). También están presentes pueblos originarios como los ayapanecos, choles, chontales de Tabasco, nahuas, tzeltales, zoques y otros, lo cual nos habla de una diversidad cultural en el territorio tabasqueño (Instituto Nacional de Pueblos Indígenas, 2020).



Para Tudela (1989) en la revisión de la historia de Tabasco, destacan dos grandes proyectos agrícolas: Plan Chontalpa (1966) y Plan Balancán-Tenosique (1972), estos planes estaban concebidos desde la lógica de la agricultura capitalista porque buscaban aumentar la producción mediante el uso de tecnologías mecánicas y agroquímicas. Siguiendo al autor, estos proyectos también implicaron grandes cambios a nivel ecológico y social, pues requirieron del drenaje de humedales mediante el represamiento de ríos en Chiapas para tener más superficie de siembra, asimismo desmontaron enormes porciones de selva, ello implicó el reordenamiento de las comunidades en ejidos, además introdujeron técnicas y variedades vegetales poco representativas para el campesinado, incitándolos a abandonar sus conocimientos.

Una investigación realizada en el municipio de Cárdenas por Chávez et. al (2012) retrata que si bien los proyectos modernizadores del agro tabasqueño pretendieron desplazar los sistemas de conocimientos campesinos, en algunos HF persisten lógicas de manejo distintas a las capitalistas. Para Avilez et. al (2020), los huertos en Comalcalco, además de contribuir a los procesos ecológicos y económicos, favorecen la comunicación de saberes, la convivencia, proveen alimentos, proporcionan belleza escénica y recrean tradiciones. Por su parte, Alcudia et. al (2018), realizaron un estudio en comunidades de los municipios de Balancán, Emiliano Zapata, Macuspana y Tenosique encontrando que las condiciones socioambientales están relacionadas con la agrobiodiversidad presente en los HF. Para el contexto urbano de Villahermosa, Montiel et al. (2023) reporta que el huerto ayuda a enseñar a las nuevas generaciones sobre la importancia del cuidado de la naturaleza, los periodos de cultivo, preparación de alimentos y medicinas, así como tejer relaciones sociales con la comunidad al intercambiar plantas o productos.

Tabasco ha vivido proyectos agrícolas capitalistas los cuales han provocado fuertes deterioros ambientales trayendo consigo pérdida en la biodiversidad y en la provisión de servicios ecosistémicos. Ante esta situación, los HF bajo la lógica campesina representan una alternativa que contribuye a enriquecer el paisaje con diversa vegetación.



En la entidad, la agricultura capital está desplazando a la campesina y originarias al considerarlas anticuadas, por ello, los HF invitan a revalorar críticamente los sistemas de conocimientos, prácticas y creencias campesinas al considerar que en ellos hay pistas para enfrentar el daño de la naturaleza, la inseguridad alimentaria y el deterioro de la cultura. Desde el ámbito de las políticas públicas, el fortalecimiento de los HF en Tabasco podría tomar en cuenta la lógica campesina y originarias, no sólo las corrientes capitalistas para que con el paso del tiempo los huertos sigan siendo valorados como agriculturas que no sólo contribuye a la preservación del ecosistema, sino que al mismo tiempo coadyuvan a la preservación de la diversidad fitogenética, social y cultural.



Referencias bibliográficas:

- Alcudia, A., van der Wal, H., Suárez, J., Martínez, P., & Castillo, M. M. (2018). Home garden agrobiodiversity in cultural landscapes in the tropical lowlands of Tabasco, México. *Agroforestry Systems*, 92(5), 1329–1339. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0078-5>
- Avilez, T., van der Wal, H., Aldasoro, E. M., & Rodríguez, U. (2020). Home gardens' agrobiodiversity and owners' knowledge of their ecological, economic and socio-cultural multifunctionality: a case study in the lowlands of Tabasco, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(42), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13002-020-00392-2>
- Chablé, R., Palma, D. J., Vázquez, C. J., Ruiz, O., Mariaca, R., Ascensio, J., & Palma, D. J. (2021). Environmental services in home gardens of la Chontalpa, Tabasco, Mexico. *Agro Productividad*, 6(8). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i10.2041>
- Chávez, E., Rist, S., & Galmiche, Á. (2012). Lógica de manejo del huerto familiar en el contexto del impacto modernizador en Tabasco, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 9(68), 177–200. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/3148>
- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2021). La biodiversidad en Tabasco. Estudio de caso. CONABIO. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?id=20230928131129>
- González, A. (2007). Agroecosistemas mexicanos: pasado y presente. *Itinerarios: revista de estudios lingüísticos, literarios, históricos y antropológicos*, 6, 55–80. <https://itinerarios.uw.edu.pl/resources/html/article/details?id=224357&language=es>
- González, A. (2018). Historia y orígenes de un agroecosistema. Los huertos en México. En M. de J. Ordoñez (Ed.), *Atlas biocultural de huertos familiares en México*. (pp. 43–85). Universidad Nacional Autónoma de México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INPI. Instituto Nacional de Pueblos Indígenas. (2020). Atlas de los pueblos indígenas en México. <http://atlas.inpi.gob.mx/tabasco-2/>
- Montiel, C. E., Yanes, M., & Aldasoro, E. M. (2023). "Yo lo recibí de parte mi mamá y ella por parte de su mamá". Procesos educativos en un huerto familiar urbano de Villahermosa, Tabasco (México). *X Congreso Iberoamericano de Pedagogía*.
- Ordoñez, M. de J., Benjamín, J. A., & Lope, D. (2018). ¿Por qué estudiar los huertos familiares en México? En M. de J. Ordoñez (Ed.), *Atlas biocultural de huertos familiares en México*. (pp. 15–36). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Toledo, V. M., Barrera, N., & Boege, E. (2019). ¿Qué es la Diversidad Biocultural? Universidad Nacional Autónoma de México.
- Tudela, F. (1989). *La modernización forzada del trópico: el caso de Tabasco*. El Colegio de México.
- Van der Ploeg, J. D. (2010). *Nuevos campesinos. Campesinos e imperios alimentarios*. Icaria editorial.

La Agrosilvicultura de Hongos: Una Solución Sostenible para la Alimentación y la Conservación de Bosques

Luis-Bernardo Vázquez, Grupo de Ecología, Paisaje y Sustentabilidad. TAO. El Colegio de la Frontera Sur.
Paul Thomas, Faculty of Natural Sciences, University of Stirling.

Palabras clave: Innovación, agrosilvicultura, Cambio Climático, Micorrizas

Los bosques y selvas a nivel mundial están bajo amenaza de desaparecer. Entre 2015 y 2020, la tasa de deforestación de estos ecosistemas, se estimó en alrededor de 10 millones de hectáreas cada año. Desde 1990, se cree que alrededor de 420 millones de hectáreas de bosque se han perdido debido a la conversión de tierras, entre 2000 y 2010, el 40 % de la deforestación en los trópicos fue resultado directo de la expansión localizada de la agricultura y ganadería comercial (Hosonuma et al., 2012). Según un estudio de la FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), se pronostica que la demanda de tierras agrícolas se acelerará en los próximos años, con un aumento notable en esta demanda del 50 por ciento para el año 2050. Esta proyección está influenciada directamente por el rápido crecimiento población y por un cambio en los hábitos alimentarios de la población humana a nivel mundial. De hecho, uno de los impulsores más potentes de la expansión de las tierras agrícolas son los cambios en los hábitos alimentarios humanos (Tilman y Clark, 2014). En América del Sur, alrededor del 71% de la selva tropical ha sido reemplazada por pastos y un 14% adicional para el cultivo de alimentos para animales. Desde la perspectiva del uso de la tierra, la producción de proteína animal es en general muy ineficiente y reemplazar la ingesta dietética con proteína vegetal reduciría significativamente la cantidad de tierra agrícola necesaria para alimentar a la población mundial. Sin embargo, se pronostica que el consumo *per capita* de proteína animal aumentará significativamente (FAO, 2017) contribuyendo aún más a las tasas de deforestación mundial.



La pérdida masiva de bosques para la agricultura no es sostenible, y existe un amplio consenso a nivel geopolítico de que esto debe detenerse. La agrosilvicultura, que implica la integración de árboles en paisajes agrícolas o la agricultura en paisajes forestales, tiene el potencial de reducir los conflictos en el uso de la tierra. Por ejemplo, en África occidental, la agrosilvicultura con cacao puede ser una herramienta valiosa para proteger la biodiversidad y mantener altos niveles de producción alimentaria (Thomas & Vázquez, 2022). Sin embargo, la práctica común de cultivar árboles en monocultivos con especies no nativas en sistemas de agricultura a gran escala no es adecuada para cumplir con las prioridades de conservación y biodiversidad. Desde el punto de vista del clima y del carbono, sabemos que talar árboles de manera acelerada, es devastador. Pero los impactos son más profundos: el 75% del agua dulce accesible del mundo proviene de cuencas hidrográficas boscosas, y con el 80 % de la población mundial enfrentando una amenaza a su seguridad hídrica, los bosques y selvas juegan un papel muy importante en detener la desertificación y prevenir la erosión del suelo, además de servir de protección contra las inundaciones en las zonas costeras, y ser el hogar de una gran cantidad de especies, muchas de las cuales son importantes polinizadores de cultivos. Entonces, ¿qué soluciones existen? Sabemos que la producción de alimentos tiene diferentes impactos en la naturaleza según su origen y método de producción. Sin embargo, ¿qué sucedería si pudiéramos desarrollar un sistema que permita la producción de alimentos y la conservación de bosques en la misma parcela de tierra? Los hongos ofrecen una posible solución.

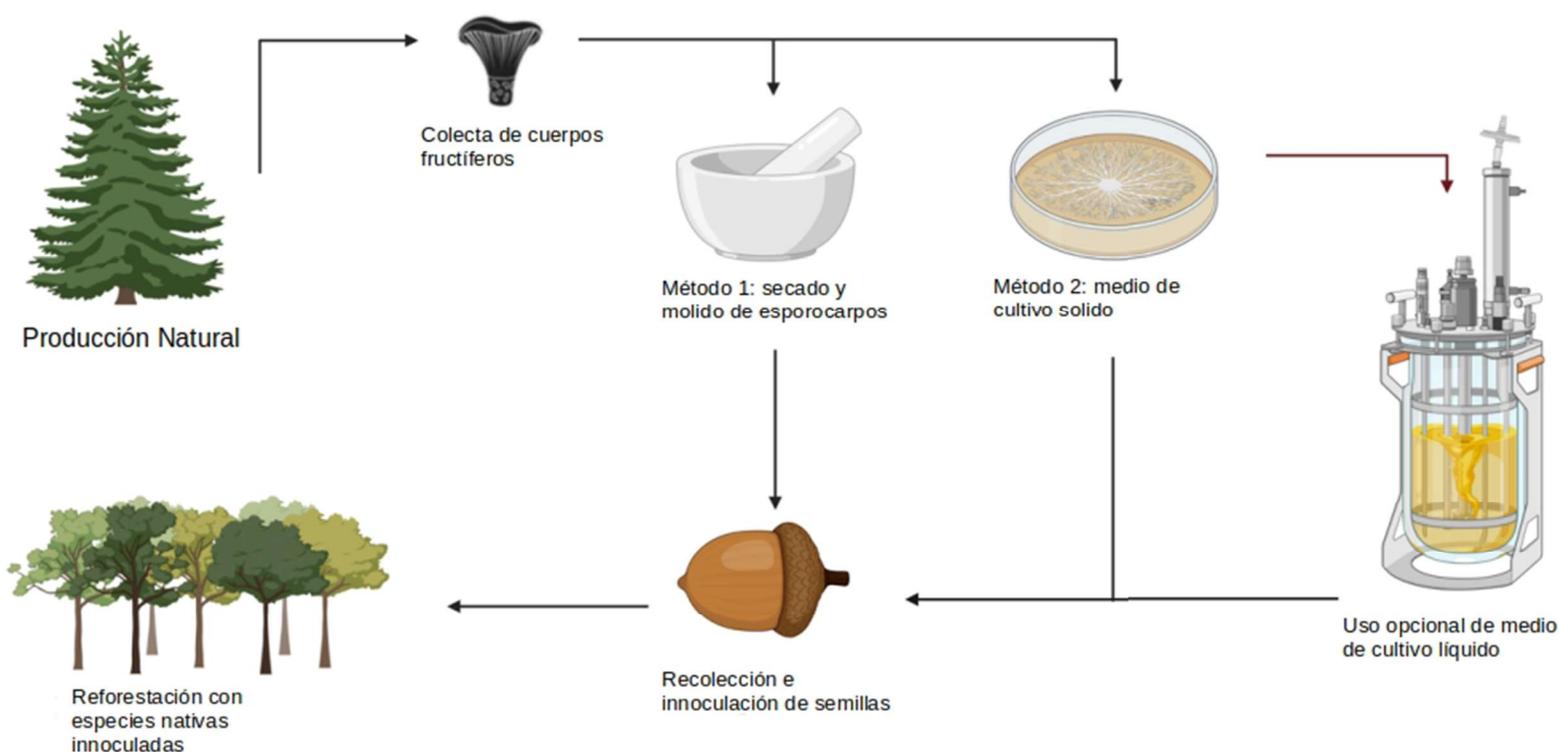


La mayoría de los hongos comestibles de mayor valor son especies micorrizicas. Los hongos ectomicorrizicos (HEM) forman una asociación a menudo mutualista con una planta asociada. Para facilitar el intercambio de nutrientes por carbohidratos derivados de plantas, se forma una estructura con el sistema de raíces de la planta hospedante, conocida como micorriza. A pesar de su alto valor, la mayoría de las especies HEM comestibles aún no se cultivan y las trufas son una excepción notable. Las especies de trufas a menudo se producen en sistemas abiertos y similares a huertos. Para combinar de manera eficiente la producción de alimentos con la biodiversidad y los objetivos de conservación, se necesita la identificación de otras especies de HEM que puedan ser cultivadas pero en condiciones naturales con una variedad de árboles nativos hospedantes. Sin embargo, los éxitos logrados en el cultivo de trufas aún no se han replicado. Se han intentado métodos similares con especies muy apreciadas por su alto valor nutrimental y comercial, como *Boletus edulis* (seta comestible), *Cantharellus sp* (rebozuelo) y *Tricholoma matsutake* (matsutake), pero sistemas de cultivo fiables y replicables para estos u otros HEM aún no se han desarrollado. La única excepción, por su alto valor nutrimental y relativa facilidad de manejo, es la familia de los hongos de la familia de las Russulaceas. Aunque todavía no se ha cultivado ampliamente, se han logrado avances significativos en el cultivo del *Lactarius deliciosus* (mizcalo o robellón) europeo, y en ambientes similares a huertos se han reportado cosechas anuales superiores a 1000 kg / Ha (Guerin-Laguette, 2021). El género *Lactarius* muestra mucho potencial de cultivo y utilizando métodos similares aplicados a *L. deliciosus*, también se han producido micorrizas con otras especies de *Lactarius* (Guerin-Laguette 2021). De estos, *Lactarius indigo* (Hongo azul, añil, zuin, quexque, ririchaca) se encuentra ampliamente en el Neotrópico y Neártico, y es una fuente de alimento muy apreciada por comunidades locales. Además, esta especie crece con una variedad de árboles hospederos en diferentes condiciones bioclimáticas y estados de conservación de bosques.

Cantharellus sp



En una reciente investigación (Thomas y Vázquez, 2022), se propone y describe cómo cultivar una especie de hongo simbiótico, el *Armillaria mellea*, desde el aislamiento en laboratorio hasta el desarrollo de árboles jóvenes de especies nativas con raíces inoculadas con este hongo. Estos árboles se pueden plantar en zonas climáticas adecuadas que van desde Costa Rica hasta los Estados Unidos. A medida que la asociación entre el árbol y el hongo madura, comienzan a producir hongos ricos en proteínas. Este enfoque tiene el potencial de aumentar la producción de alimentos, aprovechar los beneficios de los bosques y reducir la carga ambiental asociada con la agricultura intensiva, como el uso de fertilizantes y agua. Además, a medida que estos árboles inoculados con hongos crecen, extraen carbono de la atmósfera, lo que contribuye a la lucha contra la crisis climática. En resumen, esta estrategia no solo tiene el potencial de aumentar la producción de alimentos, sino que también puede contribuir a la conservación de la biodiversidad, actuar como sumidero de carbono y estimular el desarrollo económico en las zonas rurales.



Referencias

- FAO, F. (2017). The future of food and agriculture—Trends and challenges. Annual Report.
- Graesser, J., Aide, T. M., Grau, H. R., & Ramankutty, N. (2015) Cropland/pastureland dynamics and the slowdown of deforestation in Latin America. *Environmental Research Letters*, 10(3), 034017.
- Guerin-Laguet, A. (2021). Successes and challenges in the sustainable cultivation of edible mycorrhizal fungi—furthering the dream. *Mycoscience*, 62(1), 10-28.
- Hosonuma, N., et al. (2012). An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters*, 7(4), 044009.
- Thomas, P. & Vazquez, L.-B. (2022) A novel approach to combine food production with carbon sequestration, biodiversity and conservation goals. *Science of The Total Environment*, 806 (1), 151301. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151301
- Timan, D. & Clarck, M. (2014) Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515, 518-522. DOI: 10.1038/nature13959

Momordica charantia UN EJEMPLO DE RECURSO FITOGENÉTICO CON POTENCIAL USO COMO PIGMENTO DE ORIGEN NATURAL.

Rojas- Valentín Nicté Alejandra

Facultad de Ingeniería Química UADY. Inn, Perif. de Mérida Lic. Manuel Berzunza 13615, Chuburná de Hidalgo, 97203 Mérida, Yuc.

Reyes-Vaquero Lorena, Canche-Moo Leydi del Rocío

CONAHCyT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Subsede Sureste. CP 97302. Mérida, Yucatán, México.

Ramos-Díaz Ana Luisa, Cano-Sosa Julia

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

Palabras clave: Pigmento, *Momordica Charantia*, Recurso fitogenético.

Si observamos la naturaleza y principalmente las plantas con flores y frutos podemos darnos cuenta que son un abanico de colores, muchos ya son empleados como pigmentos vegetales, pero aun hay una gran gama de posibilidades aun no utilizadas para colorear por ejemplo alimentos, reemplazando los colorantes artificiales que son causa de alergias y enfermedades.



Un pigmento es aquel material que cambia el color de la luz reflejada como resultado de la absorción selectiva del color. Los pigmentos se pueden clasificar dependiendo de si es natural o artificial, su procedencia y solamente en los pigmentos naturales (pueden ser de origen vegetal, animal y mineral (García López et al. 2016, Roque, 2012). Entonces, si los pigmentos se clasifican en naturales o artificiales ¿en qué se diferencia uno de otro?, los pigmentos vegetales hacen referencia a la naturaleza química de sus compuestos independientemente de su aplicación (Aceto, 2021).

Cabe recalcar que las plantas pueden producir varios colores y tonalidades atrayendo así a los polinizadores (Qaisar et al., 2019). Mientras que los sintéticos son productos modificados química o físicamente. Dentro de sus ventajas se encuentra que son más fáciles de usar, pueden tener características hidrosolubles e insolubles, más resistentes a altas temperaturas, pH extremos, luz, etc. (Sánchez Juan, 2013.). Sin embargo, a pesar de las ventajas, los pigmentos sintéticos pueden ocasionar intolerancia a algunos consumidores y en algunos casos provocar hiperactividad en niños e incluso ser carcinogénicos y tóxicos (Alfonso Pellicer, 2021).

Por otro lado, un ejemplo de un pigmento natural es el Beta-apo-8'-carotenal (C30) (Alfonso Pellicer, 2021), se caracteriza por su color anaranjado oscuro, el cual se produce a partir de la degradación oxidativa del B-caroteno. Presenta un color intenso del que se pueden obtener varias tonalidades además del naranja, dependiendo del solvente que se use durante la extracción (Jang et al., 2023). Por otro lado, el pigmento sintético que se usa en vez del Beta-apo-8'caroteno es el Rojo Allura AC (Alfonso Pellicer, 2021) también conocido como rojo 40 con número E 129, el cual es tóxico y puede estar relacionado con la producción de metabolitos carcinogénicos (Dey et al., 2019). Es por eso que actualmente se buscan alternativas a los pigmentos sintéticos y las plantas son una opción para reemplazarlos. Los metabolitos conocidos como antocianinas, carotenoides, betalaínas, clorofilas, polifenoles y flavonoides entre otros, son algunos de los compuestos presentes en los pigmentos vegetales y además de dar color poseen actividad antioxidante (Boo et al., 2012). Estos metabolitos secundarios provenientes de distintas partes de las plantas son la base de muchos colorantes vegetales, los cuales se pueden extraer y ser usados a nuestro beneficio.



Es por ello que en el laboratorio de Biotecnología Vegetal de la subsele Sureste del CIATEJ, estamos trabajando con recurso fitogenético con potencial para ser utilizado como pigmento en diversas áreas como alimentación, salud, textil y cosmeceútica. Un ejemplo del recurso con el trabajamos actualmente es la especie *Momordica charantia*. Esta planta en nuestro entorno crece prácticamente silvestre como observamos en *imagen 1*, en donde podemos ver como incluso utiliza de sostén los cables de postes de energía eléctrica para extenderse ya que es una planta tipo enredadera. Esta planta es conocida coloquialmente como cundeamor, melón, calabaza amarga, bálsamo y catajera (Heike Vibrans, 2009) es miembro de la familia de las curcubitáceas. Contiene compuestos bioactivos como clorofilas, carotenoides, curcuminas, antocianinas, betalainas y flavonoides (Boo et al. 2012). En el 2022 Batool y colaboradores reportaron el uso de colorante extraído de esta planta para teñir algodón, este reporte reafirma nuestro trabajo y el potencial de esta especie para obtener pigmentos que puedan ser utilizados en áreas como la de los alimentos y ser una alternativa de sustitución de pigmentos sintéticos.



Figura 1. Planta de *Momordica Charantia*



Figura 2. a) fruto de *Momordica Charantia*. b) Fruto de *Momordica Charantia* abierto con semilla expuesta.

El fruto de esta especie es característico por su forma y coloración naranja, además sus semillas son de color rojo intenso lo que nos lleva a su estudio y obtención de colorantes. (Fig. 2). Como parte del trabajo realizado en esta especie hemos obtenido extractos de fruto y semilla utilizando métodos convencionales de extracción como maceración, sonicación y soxhlet, obteniendo extractos con diferentes coloraciones como las observadas en la *figura 3*.

Figura 3.
Extractos de
Momordica
Charantia



Los extractos obtenidos se están analizando a diferentes condiciones de pH, temperatura e iluminación para poder medir la estabilidad, así como también se realizan estudios de citotoxicidad en *Artemia salina* como un inicio para evaluar su potencial uso en alimentos. De igual manera para poder tener el cultivo *in vitro* en el laboratorio estamos realizando metodologías para su estableciendo *in vitro* y desarrollando protocolos de micropropagación. Como podemos observar en *Figura 4* la germinación *in vitro* de *Momordica charantia*, y hasta el día 70, en donde ya tenemos una plántula lista para pase *ex vitro* o micropropagación.

Agradecimientos:

Al CIATEJ y al apoyo de CONACYT por proyecto con clave 320786 aprobado en convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera. Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022 y por estancias posdoctorales 167009 y 536272.

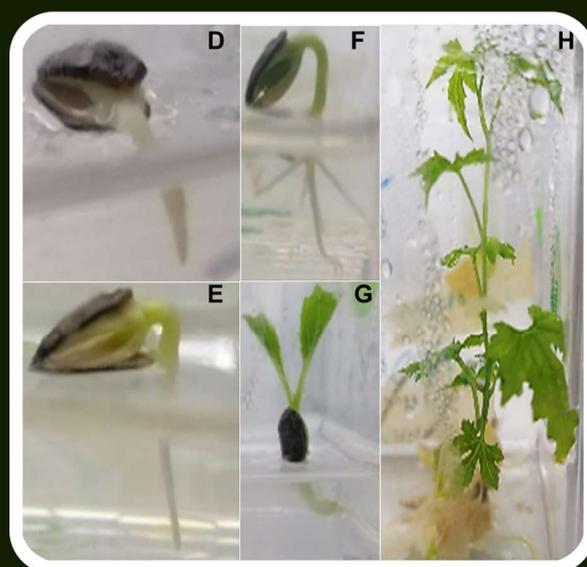


Fig. 4. Germinación de *Momordica charantia*. D) Germinación de semillas de *Momordica charantia* día 9 de cultivo, E) Semilla día 11 de cultivo, F) Día 12 de cultivo, G) Plántula día 14, H) Plántula de 70 días.v

Bibliografía

- Vibrans, H. (2009). Cucurbitaceae *Momordica charantia* L. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cucurbitaceae/momordica-charantia/fichas/ficha.htm>.
- Batool, F., Adeel, S., Iqbal, N., Azeem, M., & Hussaan, M. (2022). Sustainable natural coloring potential of bitter melon (*Momordica charantia* L.) residues for cotton dyeing: innovative approach towards textile industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 34974–34983. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17803-w>
- Aceto, M. (2021). Pigments—the palette of organic colourants in wall paintings. In *Archaeological and Anthropological Sciences* (Vol. 13, Issue 10). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01392-3>
- García López, A., & Armiñana Tormo, J. J. (2016). PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PICTÓRICAS.
- Boo, H. O., Hwang, S. J., Bae, C. S., Park, S. H., Heo, B. G., & Gorinstein, S. (2012). Extraction and characterization of some natural plant pigments. *Industrial Crops and Products*, 40(1), 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.042>
- Roque, G. (2012). Pigmentos, tintes y formas (Vol. 28, pp. 39–62).
- Dey, R., Linares, G., Munguía, R., & Chávez, E. (2019). Construction and validation of an instrument for evaluating the consumption of food with red allura. *Información Tecnológica*, 30(3), 219–226. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300219>
- Sánchez Juan, R. (2013). La química del color en los alimentos. *Química Viva*, 12(3).
- Jang, W., Lee, C., Suh, H. J., & Lee, J. (2023). β -Carotene and β -apo-8'-carotenal contents in processed foods in Korea. *Food Science and Biotechnology*, 32(11), 1501–1513. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01285-2>
- Qaisar, U., Afzal, M., & Tayyeb, A. (n.d.). Commercial Applications of Plant Pigments. *International Journal of Biotech Trends and Technology (IJBTT)*, 9. <http://www.ijbttjournal.org>
- Alfonso Pellicer, M. (2021). Revisión bibliográfica sobre los efectos adversos de los colorantes sintéticos de 2008 a 2021. <https://www.mendeley.com/reference-manager/reader-v2/950046ee-762c-3e25-a321-4ed90ae696f0/4c889975-a3da-1fc7-058f-839247f49f4b>

Las abejas sin aguijón de Yucatán (Tribu Meliponini): Evaluación de los posibles beneficios nutraceuticos de sus productos

Ángeles Sánchez Contreras, Mariela García Aguilar, Roger Enrique Silveira Chin, Francisco Humberto Ortiz Salazar de el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste
Mariana Delgadillo Díaz de la Escuela de Ciencias de la Salud-Licenciatura en Nutrición. Universidad Marista de Mérida
Palabras clave: Meliponni, productos melipona, nutraceuticos.

A lo largo de la historia, los seres humanos han dependido de su entorno para obtener los nutrientes necesarios en su dieta. Un nuevo término, "nutracéutico", se refiere a productos alimenticios que no sólo nutren, sino que también brindan otros beneficios para la salud. Los alimentos tradicionales son característicos de cada región y pueden contribuir a la salud general (Azul & Almendra, 202, González, 2012) En Yucatán se están revalorizando las propiedades nutricionales y medicinales de las abejas sin aguijón de la especie Meliponini. El CIATEJ y la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Marista de Mérida colaboran para evaluar la funcionalidad y los beneficios potenciales de la miel y geo propóleo de Meliponini. Estudiantes de maestría y doctorado del posgrado en Innovación Biotecnológica del CIATEJ realizan investigaciones para determinar los efectos nutraceuticos por consumo de estos icónicos productos regionales.



Efecto pre y probiótico de miel melipona.

En general, la miel de diferentes especies de abejas, incluido el género *Apis*, puede tener efectos prebióticos similares. Estos hallazgos sugieren que la miel puede ser parte de una dieta saludable, por su función prebiótica y probiótica. Los microorganismos beneficiosos, llamados probióticos, son componentes esenciales de una buena salud. (Davani-Davari et al., 2019). Algunos carbohidratos, catalogados como prebióticos, favorecen el crecimiento de estos microorganismos. En general la miel tiene propiedades antimicrobianas y bacteriostáticas, pero investigaciones recientes han explorado sus componentes prebióticos y su impacto en la salud digestiva.

Los estudios de Zheng et al., 2018 han demostrado que el microbioma de las abejas melíferas es similar al de los humanos, probablemente debido al hecho de que ambas especies han consumido miel durante miles de años. Las abejas son capaces de digerir y fermentar oligosacáridos, al igual que los humanos en el colon, con la ayuda de microorganismos beneficiosos. En las abejas melíferas se han encontrado dos especies esenciales de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (*Snodgrassella alvi* y *Gilliamella apicola*), responsables del metabolismo de los carbohidratos y de la producción de ácidos grasos necesarios para su supervivencia.

Si bien la miel se compone principalmente de azúcares como fructosa y glucosa, también contiene una pequeña fracción de oligosacáridos, minerales y aminoácidos. La investigación en curso está explorando diferentes mieles regionales de abejas sin aguijón para identificar oligosacáridos que tengan un impacto positivo en la salud intestinal. Se ha descubierto que la miel es eficaz en el tratamiento de molestias digestivas, úlceras pépticas, gastritis y gastroenteritis. (Raymann & Moran, 2018; Schell et al., 2022).



Efecto hipoglucemiante de la miel de Melipona y su índice glucémico (IG).

También se ha demostrado que la miel puede contrarrestar los radicales libres y actuar como agente antimicrobiano y antiinflamatorio, lo que la convierte en una potencial alternativa auxiliar en el tratamiento de la diabetes Omotayo et al. (2010). Erejuwa (2014), evaluó los efectos de la miel multifloral producida por abejas silvestres sin aguijón de malasia, en ratas con diabetes inducida. Verificando la reducción de los niveles de glucosa en sangre y una mejora del estrés oxidativo en los riñones.), planteó la hipótesis de que la fructosa y los oligosacáridos presentes en la miel contribuyen a su efecto hipoglucemiante y a sus componentes antioxidantes. Esta iniciativa de investigación tiene como objetivo evaluar mieles regionales y caracterizar los oligosacáridos presentes y definir su funcionalidad hipoglucemiante y nutracéutica. Fletcher et al. (2020) evaluó la miel de abejas neotropicales sin aguijón de Australia, y descubrió que el disacárido trealulosa, un isómero estructural de la sacarosa, puede reducir los niveles de glucosa en sangre y prevenir la oxidación y la generación de radicales libres propios de la miel. En CIATEJ trabajamos en la determinación del Índice Glucémico por consumo en un protocolo de investigación clínica nutricional con voluntarios sanos para brindar información relevante que permita la revalorización de este producto regional de tradición ancestral.



Rito de primavera para la producción ancestral en meliponicultura de Yucatán. Foto cortesía Sra. Anselma Chale Euan

Geopropóleos de la península de Yucatán

Otro producto de las abejas sin aguijón con el que estamos trabajando es el geopropóleo, el cual se elabora a partir de resinas, savias de plantas mezcladas con ceras, enzimas, secreciones salivales y porciones de tierra, este producto de las abejas melíferas, se ha reconocido por sus propiedades nutraceuticas, incluso superiores a las que presenta la propia miel. Estos productos contienen una mayor proporción de componentes bioactivos que pueden tener beneficios para la salud (Dos Santos et al., 2017). Se han reportado, diversos efectos farmacológicos del geopropóleo a nivel mundial, entre los cuales los más destacados son como antivirales, antibióticos, antifúngicos, antiinflamatorios y antioxidantes. Sin embargo, es bien sabido que estas propiedades farmacológicas presentes en el propóleo de abeja sin aguijón pueden variar según la especie de abeja y la región geográfica en la que se crían. Las diferencias entre muestras se vuelven muy evidentes, ya sea por la concentración, composición química o método de extracción de sus compuestos bioactivos. En la sede sureste del CIATEJ se trabaja en comprender la funcionalidad antioxidante en geopropóleos de tres especies de abejas sin aguijón, como parte de los esfuerzos por brindar conocimiento sobre este producto de la colmena, que puede generar valor agregado a la meliponicultura en Yucatán. Con la esperanza de contribuir a la construcción de pautas de trazabilidad, estamos comparando preliminarmente las diferencias fitoquímicas y físico-químicas del propóleo en tres especies diferentes del género meliponini: 1) *Melipona beecheii*, 2) *Scaptotrigona pectoralis*, 3) *Frieseomelitta nigra* recolectada en cultivos tradicionales, meliponarios de Yucatán. Para ello se han evaluado extractos hidroalcohólicos de geopropóleo, buscando caracterizar los principales fitocompuestos presentes y asociarlos a una funcionalidad específica como antioxidante, microbicida o bacteriostática. Sin embargo, la variabilidad es evidente como observamos en los geopropóleos de *Scaptotrigona pectoralis* colectados en diferentes áreas Foto 3.



Foto 3. Extractos hidroalcohólicos de propóleos *Scaptotrigona pectoralis* colectados en diferentes zonas de Yucatán. Foto 3: cortesía de Roger Silveria.

En Yucatán, la producción de miel y geopropóleos a partir de abejas sin aguijón es una actividad ancestral en la que se conservan principalmente tres variedades silvestres de abejas sin aguijón (a) *Melipona beecheii*, (Kolel Kab, Xuna'an Kab), b) *Scaptotrigona pectoralis* (ka' an Tzak), c) *Trigona nigra* (*Frieseomelitta*) Zak Xik, Xik) siendo *Melipona beecheii* la más común en cultivo o meliponicultura (Foto 4), es importante poder identificar y documentar evidencias de su funcionalidad nutraceutica, ya que esto puede tener un efecto positivo en la salud de la población del área rural, valorando adecuadamente sus propiedades nutricionales y medicinales tal como están registradas en los conocimientos y tradiciones ancestrales.

Agradecimientos

A la Sra. Anselma Chale Euan y al Dr. Alberto Uc Vázquez, por las imágenes proporcionadas.

Foto 4. *Melipona beecheii*, (Kolel Kab, Xuna'an Kab) Foto 4 cortesía Angeles Sánchez

Referencias

- Azul, A. M., & Almendra, R. (2021). Unhealthy lifestyles, environment, well-being and health capability in rural neighbourhood. *BMC Public Health*, 21(1), 1628. <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-021-11661-4>
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 1-27. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>
- Dos Santos, L., Hochheim, S., Boeder, A. M., Kroger, A., Tomazzoli, M. M., Dal Pai Neto, R., Maraschin, M., Guedes, A., & de Cordova, C. M. M. (2017). Caracterización química, antioxidante, actividad citotóxica y antibacteriana de extractos de propóleos y compuestos aislados de las abejas sin aguijón brasileñas *Melipona quadrifasciata* y *Tetragonisca angustula*. *Journal of Apicultural Research*, 56(5), 543-558. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1371535>
- Fletcher, M. T., Hungerford, N. L., Webber, D., Carpinelli de Jesus, M., Zhang, J., Stone, I. S. J., Blanchfield, J. T., & Zawawi, N. (2020). Stingless bee honey, a novel source of trehalulose: a biologically active disaccharide with health benefits. *Scientific Reports*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68940-0>
- González, J. (2012). La importancia de la meliponicultura en México, con énfasis en la Península de Yucatán. *Bioagrocencias*, 5(1), 34-42.
- Mohan, A., Quek, S.-Y., Gutierrez-Maddox, N., Gao, Y., & Shu, Q. (2017). Effect of honey in improving the gut microbial balance. *Food Quality and Safety*, 1(May), 107-115. <https://doi.org/10.1093/fqs/fyx015>
- Mustar, S., & Ibrahim, N. (2022). A Sweeter Pill to Swallow: A Review of Honey Bees and Honey as a Source of Probiotic and Prebiotic Products. *Foods*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/foods11142102>
- Omotayo, E. O., Gurtu, S., Sulaiman, S. A., Wahab, M. S. A., Sirajudeen, K. N. S., & Salleh, M. S. M. (2010). Hypoglycemic and antioxidant effects of honey supplementation in streptozotocin-induced diabetic rats. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 80(1), 74-82. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000008>
- Ramírez-Miranda, I., Betancur-Ancona, D., & Moguel-Ordóñez, Y. (2021). Physicochemical and Microbiological Standards of Honey Produced by Genus *Melipona*. *Journal of Apicultural Science*, 65(2), 197-216. <https://doi.org/10.2478/jas-2021-0016>
- Raymann, K., & Moran, N. A. (2018). The role of the gut microbiome in health and disease of adult honey bee workers. *Current Opinion in Insect Science*, 26, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.012>
- Schell, K. R., Fernandes, K. E., Shanahan, E., Wilson, I., Blair, S. E., Carter, D. A., & Cokcetin, N. N. (2022). The Potential of Honey as a Prebiotic Food to Re-engineer the Gut Microbiome Toward a Healthy State. *Frontiers in Nutrition*, 9(July), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957932>
- Zheng, H., Steele, M. I., Leonard, S. P., Motta, E. V. S., & Moran, N. A. (2018). Honey bees as models for gut microbiota research. *Lab Animal*, 47(11), 317-325. <https://doi.org/10.1038/s41684-018-0173-x>

TECH4NATURE MÉXICO: IDENTIFICANDO JAGUARES PARA SU CONSERVACIÓN MEDIANTE APRENDIZAJE PROFUNDO

Mario Campos Soberanis, Data Engineering Academy
Lucero P. Damián Adame, Computational Robotics Engineering Academy
Universidad Politécnica de Yucatán

Palabras Clave: Procesamiento Digital, Aprendizaje Profundo, monitoreo, fototrampeo, *Panthera onca*.

El jaguar (*Panthera onca*) es una especie de gran importancia cultural y biológica en América y México, ya que su supervivencia depende de ecosistemas equilibrados, por lo que su conservación impacta en la preservación de varias especies.

Lamentablemente, el jaguar es una especie casi amenazada según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) de acuerdo con la evaluación realizada en el 2016 [1] y está catalogado en peligro de extinción en México desde 1987, donde se estima que cerca de la mitad de la población reside en la península de Yucatán como se puede ver en la Figura 1.





Figura 1. Hábitat del Jaguar en México. [2]

Para ayudar a preservar a los Jaguares, es muy importante estudiar como se comportan en su hábitat natural, por lo que, el monitoreo de los ejemplares existentes se vuelve crucial. Los biólogos realizan esto tradicionalmente utilizando cámaras trampa para recopilar información, generando aproximadamente 10,000 imágenes y vídeos mensuales que deben procesarse manualmente, lo que resulta costoso y laborioso y en consecuencia, limita el proceso.

Tomando en cuenta lo anterior, la identificación automática (computarizada) de individuos, es una excelente alternativa para agilizar y mejorar el monitoreo, sin embargo, ha sido particularmente desafiante para los biólogos debido a la escasa información y complejidad de la tarea, por lo que se siguen explorando enfoques de clasificación manual de individuos [3]. En este contexto, aumentar el número de imágenes automáticamente, y el uso de sistemas preentrenados por medio de aprendizaje transferido, se han vuelto fundamentales en los últimos años [4, 6].

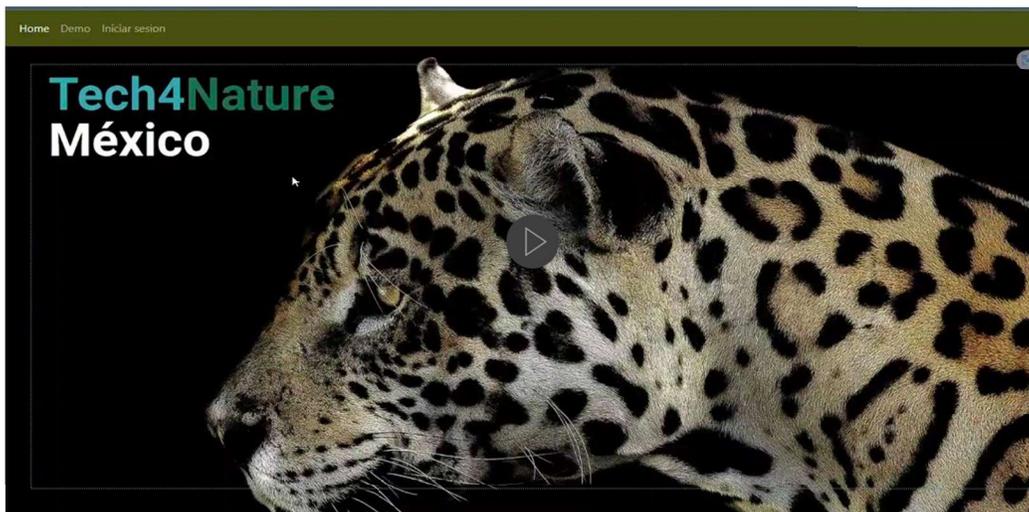


Figura 2. Aplicación web generada (<http://bio-scanner.com/>)

Para ayudar a abordar este desafío, se realizó el proyecto Tech4Nature México, el cual es una iniciativa conjunta entre la asociación Cminds [5], la empresa Huawei, la IUCN, la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Yucatán y la Universidad Politécnica de Yucatán, para recolectar imágenes de cámaras trampa ubicadas en una reserva en Dzilam de Bravo, Yucatán y desarrollar la aplicación web mostrada en la Figura 2, la cual permite el procesamiento automático mediante aprendizaje profundo para detectar e identificar jaguares.

¿Pero qué son el aprendizaje profundo y el aprendizaje transferido?. La mayoría de las personas han estado en contacto con aplicaciones que usan estos modelos de aprendizaje, los sistemas utilizados para desbloquear un celular con el rostro, las etiquetas automáticas en redes sociales como Facebook y la generación de subtítulos en videos de You Tube son ejemplos de lo anterior.

El aprendizaje profundo se refiere a un conjunto de algoritmos, que se utilizan para automatizar la realización de tareas analíticas, tales como detección de rostros, generación de lenguaje, predicción del clima, entre otros. Estos algoritmos utilizan redes neuronales profundas (RNP), las cuales son algoritmos de aprendizaje automático, inspirados en el funcionamiento del cerebro humano. Dichos algoritmos son capaces de encontrar patrones en información compleja al analizar sus datos de entrenamiento. Para poder funcionar correctamente las RNPs necesitan ser entrenados con grandes cantidades de información. En el aprendizaje transferido, se entrena una RNP para realizar una tarea específica y se utiliza el conocimiento adquirido (se transfiere) para poder realizar otra tarea distinta. La ventaja de este enfoque es que permite que el segundo modelo funcione correctamente incluso al ser entrenado con pocos datos.

En este tipo de proyectos, algoritmos similares pueden ser utilizados para dar una solución a una problemática que impacta de manera positiva a nuestro planeta automatizando el monitoreo. Las cámaras trampa, son acondicionadas con sensores de movimiento, lo que hace que se activen para capturar una imagen cuando detectan actividad en el área de alcance, por lo que incluso, el movimiento de la vegetación provocado por el viento puede activarlas. Toda esta actividad genera una gran cantidad de imágenes que deben procesarse y ahí es donde resultan de utilidad la aplicación desarrollada y el aprendizaje automático.

Las primeras tareas que realiza la aplicación desarrollada son:

1. Clasificación: positivas, si hay jaguar en la imagen, o negativas en caso contrario.
2. Detección de objetos: hallar las coordenadas en las que está el jaguar dentro de la imagen (Figura 3).
3. Identificación de individuos: evaluar si el jaguar en la imagen coincide con algún individuo previamente visto en la reserva.



Cada una de éstas tareas requiere de algoritmos que sean bastante capaces de identificar características importantes dentro de las imágenes, por lo que se exploraron diferentes tipos de redes convolucionales, que son RNPs inspiradas en el funcionamiento del ojo y son muy eficientes para tareas de visión artificial. Entre las diversas técnicas, con las cuales se experimentó destacaron los autoencoders o autocodificadores, los cuales son RNPs que se especializan en extraer las características más importantes de las entradas (en este caso las fotografías) y eliminar las de poca relevancia como se muestra en la Figura 4.

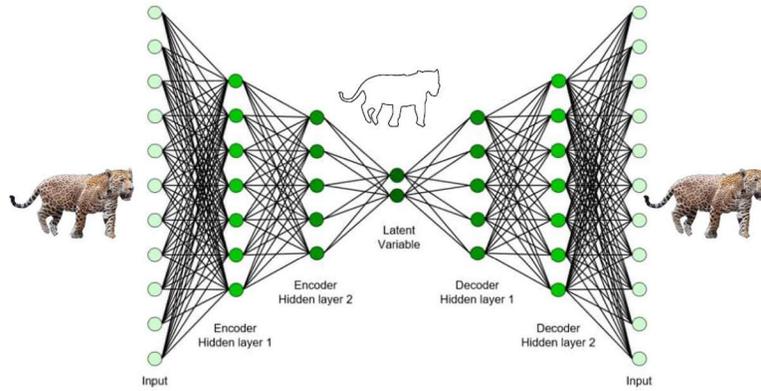


Figura 4. Arquitectura de autoencoders. Este tipo de redes neuronales codifican las características esenciales de los objetos para poder reproducirlos.

Para poder entrenar los algoritmos mencionados con anterioridad, es importante contar con información, sin embargo, debido a las características del Jaguar, sus imágenes son escasas, por lo que se construyó un conjunto de datos de entrenamiento con imágenes de la reserva e Internet, recopilando 7148 ejemplos divididos en cuatro categorías: jaguar de día, jaguar de noche, sin jaguar de día y sin jaguar de noche, como se muestra en la Tabla 1.

Clase	Número de Imágenes
Jaguar de día	2568
Jaguar de Noche	2492
Sin Jaguar de día	1423
Sin Jaguar de Noche	723
Total	7148

Tabla 1: Imágenes obtenidas a partir del aumento de los datos.

El conjunto de datos fue dividido usando 80% para entrenamiento y 20% para prueba, y se utilizó para evaluar diferentes modelos de Aprendizaje Profundo, los cuales fueron entrenados en la nube de Huawei. Posteriormente se etiquetaron las coordenadas en donde se encuentran los jaguares en la imagen y se procedió a clasificarlos individualmente. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de la preparación de los datos, la cual se realizó desde la plataforma de Huawei:

Una vez etiquetados los datos, se procedió a entrenar diferentes modelos y comparar su eficiencia. Para saber cual es el mejor modelo se utilizan diferentes métricas como la precisión, exactitud, la exhaustividad y el score F1, las cuales nos indican el número de casos en que el algoritmo tuvo un buen desempeño y realizó correctamente su tarea, de manera general mientras más alta es la métrica mejor es el funcionamiento del modelo.

Al comparar las métricas de los diferentes modelos entrenados, se observaron resultados altamente satisfactorios que revelan la ventaja del uso del aprendizaje profundo en la clasificación de imágenes y detección de objetos con precisión superior al 90% mientras que en la detección de individuos se alcanzaron métricas cercanas al 80% la cual indica un avance importante en ésta tarea compleja.

Esta tecnología tiene el potencial de reducir el esfuerzo y costo asociados al procesamiento manual de imágenes, lo que facilitaría la conservación del jaguar en la región. Además, la metodología y modelos utilizados pueden servir como punto de partida para extender la estrategia a monitoreo de grandes felinos, y otras especies.

Para conocer más de este proyecto se puede ingresar a la página: <http://bio-scanner.com/>

The screenshot shows the Huawei Cloud console interface for a machine learning model. The top navigation bar includes 'HUAWEI CLOUD', 'Console', and various service links. The main content area displays a grid of images with bounding boxes and labels. The 'Filter Criteria' section shows 'No filter criteria selected.' The 'All Labels 2' table shows the following data:

Name	Labels
jaguar	14
not_jaguar	11

The 'Diagnosis' section shows a pie chart with the following data:

Reason	Suggestion
No target object iden...	If the picture does no...
Low confidence	If the picture is predic...

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Quigley, et. al.. *Panthera onca* (errata version published in 2018). The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T15953A123791436. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T15953A50658693.en>
- [2] https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/ecosistemas_terrestres/jaguar/
- [3] Milinda Wattedegedera, et. al. . A Multi-Point Identification Approach for the Recognition of Individual Leopards (*Panthera pardus kotiya*), *Animals* 2022, 12, 660. <https://doi.org/10.3390/ani12050660>
- [4] Matthew T. Duggan, et. al. An approach to rapid processing of camera trap images with minimal human input. *Ecology and Evolution*. 2021;00:1-13. <https://doi.org/10.1002/ece3.7970>
- [5] <https://es.cminds.co/>
- [6] Maxime Vidal, et. al. Perspectives on Individual Animal Identification from Biology and Computer Vision. *integrative and Comparative Biology*, *Biology* volume 61, number 3, pp. 9 00 -9 16. <https://doi.org/10.1093/icb/icab107>

Nematofauna bajo el lente: explorando el uso de la secuenciación masiva en el Caribe mexicano en tiempos de sargazo

Arely Martínez, Estructura y función del bentos, Departamento de Sistemática y Ecología Acuática. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal.

Arce, Tecnológico Nacional de México, I. T. Chetumal. Posgrado en Ciencias Ambientales.

Palabras clave: ADN ambiental, nematodos, sargazo, Caribe mexicano, metabarcoding

Los ecosistemas costeros son entornos de complejidad y diversidad marina asombrosa, el Caribe mexicano se caracteriza por ser un lugar emblemático que ofrece diferentes beneficios a toda la población, permitiendo, por ejemplo, la investigación científica, la provisión de alimentos y la recreación de un gran número de personas, tanto locales como extranjeras (Navarro & Vázquez, 2019) (Fig.1). Este ecosistema es importante desde el punto de vista de la diversidad de especies, aquí pueden habitar peces, crustáceos, moluscos, y una amplia variedad de invertebrados marinos, entre ellos, estrellas de mar, erizos, anemonas, y un gran etcétera (Ardisson et al., 2011). El ecosistema costero es refugio para una diversidad de peces y aves migratorias, alimenta a otros vertebrados e invertebrados. Puede actuar como una barrera natural frente a tormentas, absorbiendo la energía del oleaje para reducir el efecto de las inundaciones (Ardisson et al., 2011).



Durante casi una década, los ecosistemas costeros del Caribe mexicano han enfrentado desafíos ambientales y científicos sin precedentes debido a la inesperada llegada del sargazo, un alga flotante originaria del Mar de los Sargazos en el océano Atlántico, que llega al Caribe a través de las corrientes oceánicas (López-Contreras et al., 2022). Esta alga ha experimentado un crecimiento excesivo debido a diversos factores como la afluencia de contaminantes terrestres, el aumento de la temperatura superficial del mar y cambios en los patrones de circulación oceánica, entre otros (van Tussenbroek et al., 2017; Chávez et al., 2020; López et al., 2020; Rodríguez-Martínez et al., 2020), convirtiéndose así en un problema ambiental significativo (Fig. 2). El fenómeno natural del sargazo ha generado cuestionamientos sobre la afectación que produce en la zona costera. Dicha afectación provoca mala calidad del agua debido a la acumulación y descomposición de grandes cantidades de sargazo. Esto propicia la mortandad de un sinnúmero de organismos, por la disminución de oxígeno disuelto en el agua, el aumento de la temperatura de hasta 5 °C y valores de pH ácidos (Chávez et al., 2020). Por lo que diversos especialistas realizamos estudios científicos, en aras de contribuir con información que permita mitigar la situación y tener un mejor manejo, conservación y gestión de este frágil ecosistema.

Actualmente, uno de los aspectos menos conocidos en torno a la llegada del sargazo al ecosistema costero es la afectación que tiene en la nematofauna. Grupo diverso y abundante de gusanos metazoarios que habitan, junto con otros microinvertebrados, entre los pequeños espacios intersticiales de los granos de arena, descomponiendo la materia orgánica y estructurando las comunidades bacterianas (Heip et al., 1985). Tienen un papel fundamental en los sedimentos marinos, pues intervienen también en el reciclaje de una gran cantidad de nutrientes, entre ellos carbono, nitrógeno y fósforo (Semprucci et al., 2015). Este reciclaje constante de nutrientes es fundamental para garantizar su disponibilidad para el consumo de otros organismos y para el ecosistema en general, de tal forma que, los nematodos marinos son grandes recicladores activos durante los ciclos biogeoquímicos (Heip et al., 1985).



Debido a su diminuto tamaño (< 1 mm), generalmente los nematodos marinos pasan desapercibidos, pero desde el punto de vista ambiental, son organismos esenciales para la salud del ecosistema (Moreno et al., 2011; Hua et al., 2021). Son considerados elementos bioindicadores, por ejemplo, ante eventos de contaminación por hidrocarburos, metales pesados, u otros contaminantes los nematodos tienen una respuesta rápida a estos cambios (Balsamo et al., 2012; Semprucci et al., 2015). Su limitada capacidad de dispersión les obliga a permanecer en el sitio afectado, por lo que, cuando ocurre una alteración en su hábitat, incluso si es pequeña, la comunidad de nemátodos denota respuestas estructurales, como disminución de sus abundancias, desaparición de especies sensibles, dominancia de especies tolerantes (Bongers, 1990). En China, por ejemplo, un estudio realizado con nematodos como bioindicadores para conocer la calidad ambiental de la bahía Bohai, reveló que la diversidad de estos organismos estuvo determinada por la alta presencia de metales como manganeso (Mn) y cobalto (Co), mientras que variables ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y materia orgánica entre otros, no tuvieron una influencia significativa en la composición de la comunidad (Hua et al., 2021).

De ahí que, por medio del proyecto que realizo actualmente se esté efectuando un esfuerzo por comprender la relación entre el sargazo y la nematofauna que habita en diferentes localidades del Caribe mexicano (Fig. 3 y 4). Para el monitoreo estoy implementando una tecnología revolucionaria: la secuenciación masiva, específicamente mediante el "metabarcoding". Esta técnica de análisis genéticos es de las más avanzadas hasta ahora y tomando muestras de sedimento marino (Fig. 5) nos sirve para explorar el ADN de los organismos de una manera más profunda y precisa (Taberlet et al., 2012). Permite descifrar simultáneamente, regiones específicas del ADN de una comunidad completa de nematodos (Holovachov et al., 2017). Mediante esta técnica se pueden realizar comparaciones de las secuencias de diferentes sitios estudiados, analizando masivamente los datos genéticos en un tiempo relativamente corto y desentrañar las identidades de la fauna de un gran número de nematodos presentes. Con este conocimiento se infiere qué cambios estructurales pueden estar ocurriendo en la comunidad de nematodos en un mismo sitio a lo largo de un periodo de tiempo, además de poder hacer comparaciones de la respuesta entre sitios, lo cual brinda una idea más amplia de la capacidad de adaptación que puede llegar a tener la comunidad de nematodos ante la presencia masiva del sargazo.



En la presente investigación nos estamos aventurando en el fascinante mundo de la secuenciación masiva de la nematofauna marina para conocer los efectos potenciales del sargazo sobre estos individuos, pero también podremos tener una visión más amplia de la capacidad de resiliencia de los nematodos y conocer parte del estado de salud del ecosistema ante este fenómeno. Se espera que nuestros resultados revelen cambios significativos en la diversidad y composición de las comunidades de nematodos, lo cual podrá sugerir que el fenómeno del sargazo tiene un impacto profundo en estos organismos microscópicos y, por su extensión, en la estructura y función de los ecosistemas costeros.



Referencias bibliográficas

- Ardissón, P.L., May-Kú, M.A., Herrera-Dorantes, M.T. & Arellano-Guillermo, A. (2011). El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. *Hidrobiológica*, 21(3): 261-280.
- Balsamo, M., Semprucci, F., Frontalini, F., & Coccioni, R. (2012). Meiofauna as a tool for marine ecosystem biomonitoring. *Marine Ecosystem*, 4, 77-104.
- Bongers, T. (1990). The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83,14-19.
- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., Masía, L., & Silva, R. (2020). Massive influx of pelagic Sargassum spp. On the coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities. *Water*, 12(10), 2908. <https://doi.org/10.3390/w12102908>
- Heip, C., Vincx, M., & Vranken, G. (1985). Ecology of marine nematodes. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review*, 23, 399–489.
- Holovachov, O., Haenel, Q., Bourlat, S. J., & Jondelius, U. (2017). Taxonomy assignment approach determines the efficiency of identification of OTUs in marine nematodes. *Royal Society Open Science*, 4(8):170815. <https://doi.org/10.1098/rsos.170315>
- Hua, E., Zhu, Y., Huang, D., & Liu, X. (2021). Are free-living nematodes effective environmental quality indicators? Insights from Bohai Bay, China. *Ecological Indicators* 127,107756. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107756>
- López-Contreras, A. M., Valenzuela, P. N., Celis García, B., Driegen, J., Lwanga, E. H., Domin, P., Gurrola, M. P., Rosas-Luis, R., Verde Gómez, Y., & De Vrije, T. (2022). Sargassum in Mexico: From environmental problem to valuable resource. (No. 2319). Wageningen Food & Biobased Research.
- Lopez, P. J., Hervé, V., Lambourdière, J., René-Trouillefou, M., & Devault, D. (2020). From the Sea to the Land: Dynamic of the Sargassum Tide Holobiont in the Caribbean Islands. *Research Square*, 1–27.
- Moreno, M., Semprucci, F., Vezzulli, L., Balsamo, M., Fabiano, M., & Albertelli, G. (2011). The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems. *Ecological Indicators*, 11(2), 328–336. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.05.011>
- Navarro, T. D., & Vázquez, J. A. C. (2019) Ecología y Conectividad de los Peces en Ecosistemas Costeros del Caribe Mexicano. *Tópicos de Agenda para la Sostenibilidad de Costas y Mares Mexicanos*, 41.
- Rodríguez-Martínez, R. E., Roy, P. D., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., Carrillo-Domínguez, S., Collado-Vides, L., García-Sánchez, M., & van Tussenbroek, B. I. (2020). Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018–2019. *PeerJ*, 8(2), 1–19. <https://doi.org/10.7717/peerj.8667>.
- Semprucci, F., Losi, V., & Moreno, M. (2015). A review of Italian research on free-living marine nematodes and the future perspectives on their use as Ecological indicators (EcolInds). *Mediterranean Marine Science*. 16, 352–365. doi: 10.12681/mms.1072.
- Taberlet, P., Coissac, E., Pompanon, F., Brochmann, C., & Willerslev, E. (2012). Towards next-generation biodiversity assessment using DNA metabarcoding. *Molecular Ecology*, 21, 2045–2050. <http://ibol.org/>
- van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., & Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>

Fortalecimiento de la Infraestructura Científica para la Vigilancia y Control de Enfermedades Infecciosas en la Universidad Autónoma de Yucatán

Ayora-Talavera Guadalupe¹, Manrique-Saide Pablo², Guzmán-Marín Eugenia¹, Delfín-González Hugo²

¹Centro de Investigaciones regionales Dr. Hideyo Noguchi. ²Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Palabras clave: Infraestructura, Laboratorio, bioseguridad, control biológico.

Las enfermedades infecciosas continúan siendo uno de los principales problemas de salud pública en el mundo. La globalización, el cambio climático, la migración y las condiciones económicas son sólo algunos factores que están exacerbando los riesgos de sus impactos. La morbi-mortalidad por enfermedades infecciosas se ha incrementado en las últimas dos décadas debido a las infecciones emergentes, las reemergentes y el desarrollo de resistencia a los antimicrobianos y antivirales.

Si bien es innegable que México se ha desarrollado en materia científica y tecnológica, aún existe una urgente necesidad de tomar acciones que permitan reforzar nuestras capacidades para afrontar de manera preventiva y con independencia científica y técnica, el complejo tema de las enfermedades infecciosas y la seguridad en salud de nuestra región y nuestro país. Pocas instituciones, incluso agencias gubernamentales, pueden enfrentar estos retos solas, por lo que surge la necesidad de hacer alianzas para sumar esfuerzos, competencias, capacidades y habilidades que permitan la atención de esta problemática.

En esta contribución se presentan dos casos de éxito de como el fortalecimiento de la infraestructura científica en el Universidad Autónoma de Yucatán influyen significativamente en las acciones de vigilancia y control de las enfermedades infecciosas de la región y en México.



Laboratorio de Bioseguridad Nivel 3

La falta de infraestructura a nivel regional que permitiera afrontar problemas que amenazaban la salud de la población, como la pandemia por COVID-19, generó la necesidad de desarrollar el proyecto del laboratorio de Bioseguridad Nivel 3.

Es así que se establece el proyecto de Fortalecimiento del Control de Enfermedades Infecciosas entre la Universidad Autónoma de Yucatán, el Gobierno de Yucatán y el Gobierno del Japón. A través de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón, se otorga al Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", en calidad de donación, las instalaciones del Laboratorio de Bioseguridad Nivel 3 (BSL3). Se escogió un BSL3 tipo contenedor por su facilidad de construcción y porque se adapta a la intención de uso del flujo de trabajo para el manejo del SARS-CoV-2 (que era el problema inicial) y permitiría en el mediano plazo atender los problemas generados por otros dos patógenos: Rickettsia y Micobacteria.

En el caso del virus SARS-CoV-2, clasificado como patógeno de clase 3 que se transmite por la vía respiratoria, los procedimientos de investigación incluyen el aislamiento y la propagación de virus en cultivo celular y experimentos utilizando virus vivo y la exposición a aerosoles generados durante el procedimiento. Para Rickettsia, clasificado como patógeno de clase 2 que se transmite por pulgas y garrapatas, los procedimientos de investigación incluyen la propagación en cultivo celular con numerosos procedimientos de purificación. Finalmente, para el complejo Micobacteria, clasificado también como patógeno de clase 2 que se transmite por la vía aérea, los procedimientos de diagnóstico e investigación incluyen el manejo de muestras clínicas con desconocimiento de cepas resistentes a drogas y exposición a aerosoles generados por el manejo de muestras clínicas.

Este Laboratorio posee el nivel de bioseguridad y contención necesario para proteger al personal del riesgo de infección y prevenir la dispersión de los patógenos en el medio ambiente. Permite a través de su constitución y fortalecimiento, impactar en el desarrollo científico y tecnológico de la región sur-sureste del país (Fig. 1a-d).

Fig. 1a-d. Distintos aspectos del Laboratorio de Bioseguridad Nivel 3 (BSL3) de la Universidad Autónoma de Yucatán.



Laboratorio para el Control Biológico de *Aedes aegypti* (LCB)

El Laboratorio para el Control Biológico de *Aedes aegypti* se encuentra en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la UADY (Fig. 2a-e). Como parte de una colaboración de la UADY con el Gobierno de Yucatán y el Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE) -apoyada por FOMIX-CONACYT y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)- se estableció esta infraestructura única en México, Centroamérica y el Caribe, que se vislumbra como un laboratorio sin fines de lucro, líder para el desarrollo, evaluación e implementación para el acceso universal de estrategias innovadoras para el control de mosquitos basados en la producción masiva y liberación de machos estériles.

El LCB tiene una capacidad instalada para producir y liberar 1 millón de mosquitos macho estériles y producir >15 millones de huevos por semana; y potencialmente 3-5 millones de machos *Aedes* estériles por semana. En sus instalaciones se pueden producir mosquitos para implementar la técnica del insecto incompatible (TII) usando machos infectados con la bacteria *Wolbachia* para inducir apareamiento incompatible con los mosquitos hembra silvestres, así como la técnica del insecto estéril (TIS) con irradiación con rayos X, y también la combinación de TII-TIS para la supresión de poblaciones de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. El Además, el LCB también tiene capacidad de producir mosquitos infectados con *Wolbachia* con competencia vectorial reducida para el dengue, chikungunya y Zika.

Fig. 2a-e. Distintos aspectos del Laboratorio para el Control Biológico (LCB) de la Universidad Autónoma de Yucatán.



Durante 2017-2020 se realizó la primera prueba de campo para evaluar la efectividad de una estrategia para el control biológico del mosquito *Ae. aegypti* por medio de la técnica IIT-TIS. En co-participación de los Servicios de Salud de Yucatán (SSY) y el CENAPRECE se diseñó una estrategia de Manejo Integrado de Vectores (MIV) que integró el uso de la supresión de las poblaciones de *Ae. aegypti*. Los resultados fueron exitosos y demostraron que donde se liberaron machos estériles tuvieron 90% menos hembras durante el pico poblacional de mosquitos y la temporada de lluvias. Esta fue la primera liberación en campo de *Ae. aegypti* machos estériles dentro de un programa de MIV articulado con los SSY y la comunidad en México, y el primero en Latinoamérica usando IIT-TIS. Se demostró que machos *Ae. aegypti* pueden producirse en masa en el LCB de manera eficiente y con alta calidad y su liberación puede implementarse con éxito como parte de un plan de MIV y con la participación de la Secretaría de Salud.

El LCB inició recientemente una colaboración con el CENAPRECE -con apoyo de la Organización Panamericana de la Salud- para proporcionar material biológico y apoyo técnico a las Secretarías de Salud de otros estados y países de Latinoamérica. Actualmente estamos estableciendo poblaciones de *Aedes* de diferentes estados/localidades de México para retrocruzarlas con nuestras líneas de mosquitos infectados con *Wolbachia*. Sin duda, esto posicionará al LCB como una referencia para la ampliación/escalamiento del IIT y TIS para controlar las enfermedades virales transmitidas por *Aedes*.

Referencias.

- Martinez-Cruz C, Arenas-Monreal L, Gomez-Dantes H, Villegas-Chim J, Barrera-Fuentes Gloria A, Toledo-Romani Maria E, Pavia-Ruz N, Che-Mendoza A, Manrique-Saide P. Educational intervention for the control of *Aedes aegypti* with *Wolbachia* in Yucatan, Mexico. *Eval Program Plann.* 2023; 97:102205. doi: 10.1016/j.evalprogplan.2022.102205.
- Martín-Park A, Che-Mendoza A, Contreras-Perera Y, Pérez-Carrillo S, Puerta-Guardo H, Villegas-Chim J, Guillermo-May G, Medina-Barreiro A, Delfín-González H, Méndez-Vales R, Vázquez-Narvaez S, Palacio-Vargas J, Correa-Morales F, Ayora-Talavera G, Pavia-Ruz N, Liang X, Fu P, Zhang D, Wang X, Toledo-Romani ME, Xi Z, Vázquez-Prokopec G, Manrique-Saide P. Pilot trial using mass field-releases of sterile males produced with the incompatible and sterile insect techniques as part of integrated *Aedes aegypti* control in Mexico. *PLoS Negl Trop Dis.* 2022; 16:e0010324. doi: 10.1371/journal.pntd.0010324.
- Che-Mendoza A, Martín-Park A, Chávez-Trava JM, Contreras-Perera Y, Delfín-González H, González-Olvera G, Leirana-Alcocer J, Guillermo-May G, Chan-Espinoza D, Pavia-Ruz N, Méndez-Vales RE, Alcocer-Gamboa A, Correa-Morales F, Palacio-Vargas J, Zhang D, Vazquez-Prokopec G, Xi Z, Manrique-Saide P. Abundance and Seasonality of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Two Suburban Localities of South Mexico, With Implications for *Wolbachia* (Rickettsiales: Rickettsiaceae)-Carrying Male Releases for Population Suppression. *J Med Entomol.* 2021; 58:1817-1825. doi: 10.1093/jme/tjab052.
- Villegas-Chim J, Martín-Park A, Puerta-Guardo H, Toledo-Romani ME, Pavia-Ruz N, Contreras-Perera Y, et al. Community Engagement and Social Assessment for *Wolbachia*-Based Suppression of Natural Populations of *Aedes aegypti*: The Mexican Experience. In: Puerta-Guardo H, Manrique-Saide P, editors. Rijeka: IntechOpen; 2022. p. Ch. 9. doi:10.5772/intechopen.106137.
- World Health Organization. Laboratory biosafety. 3rd ed. Geneva: World Health Organization; 2004.
- U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institutes of Health. Biosafety in microbiological and biomedical laboratories. 6th ed. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institutes of Health; 2020

Estudio integral y desarrollo de tecnología transferible para la vigilancia y control de las rickettsiosis en el estado de Yucatán

Karla Dzul-Rosado, César Lugo-Caballero, Henry Noh-Pech y Fernando Puerto-Manzano.
Laboratorio de Enfermedades Emergentes y Re-emergentes. Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi.

Palabras clave: ETVs, rickettsiosis, diagnóstico, epidemiología

Se han descrito por lo menos 1,415 especies de microorganismos patógenos para los seres humanos incluyendo virus, bacterias y protozoarios. De estos, aproximadamente el 61% son considerados zoonóticos (Esposito et al., 2023). Diversos factores como el aumento de urbanización, turismo, deforestación, sobreexplotación de los entornos naturales y el calentamiento global, impactan de manera directa en el aumento de la transmisión y prevalencia de las enfermedades infecciosas, particularmente zoonóticas. Desde su creación en el 2012, el Laboratorio de Enfermedades Emergentes y Reemergentes (LEER) del Centro de Investigaciones Regionales "Dr. Hideyo Noguchi", se ha enfocado principalmente en el fortalecimiento del conocimiento básico y epidemiológico, y la transferencia del conocimiento generado sobre diversas patologías infecciosas de la región, destacando sus aportes en las rickettsiosis, gracias al financiamiento del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y la Fundación W.K. Kellogg, entre otros.

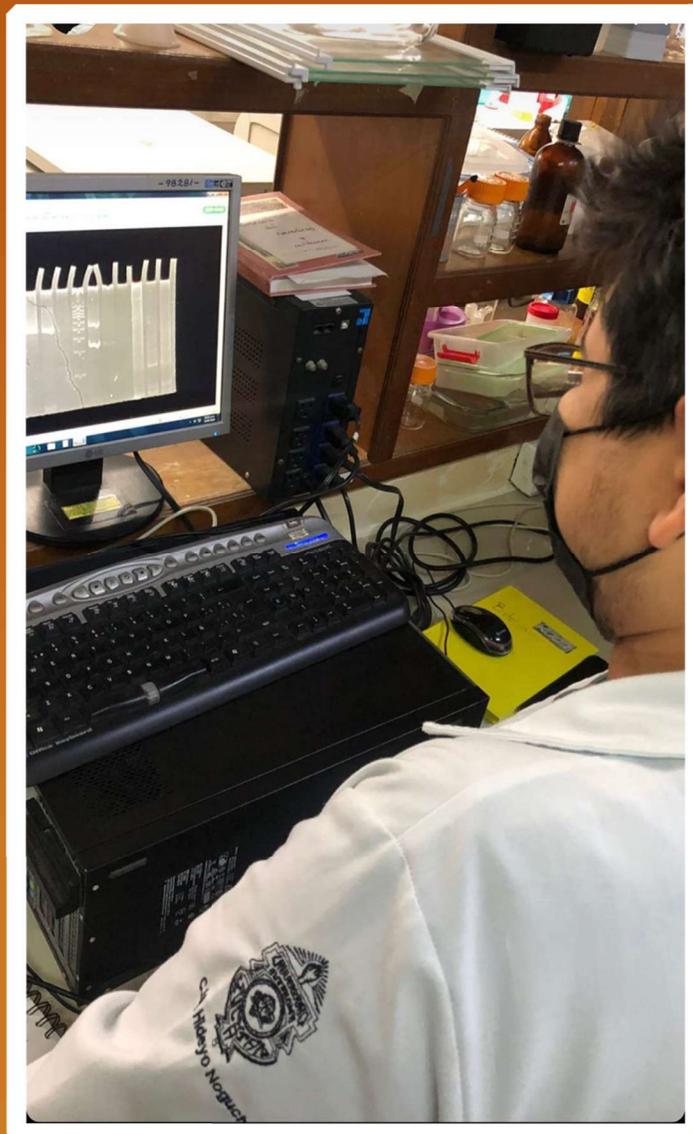


En el campo de las rickettsiosis, los proyectos han pretendido impactar en la comprensión del comportamiento epidemiológico y el control de estas enfermedades mediante tres objetivos: 1) Colaborar en el diagnóstico, la caracterización clínica y genética de diversos casos de rickettsiosis, mejorando el conocimiento epidemiológico en la región; 2) Explorar los conocimientos, actitudes y prácticas que tienen los habitantes de comunidades mayas con respecto a los factores eco biosociales que determinan la presencia de *Rickettsia*, sus vectores y la enfermedad que producen; 3) Evaluar la utilidad de algunas proteínas inmunogénicas para desarrollar vacunas o estrategias diagnósticas rápidas contra rickettsias.

Nuestro laboratorio ha sido pionero en el reporte continuo de casos de rickettsiosis con diferentes características y grados de severidad clínica, ocasionados por diferentes especies que hemos identificado y aislado en nuestra región, apoyando con el diagnóstico a diferentes estancias de salud en la península de Yucatán (Alvarez-Hernandez et al., 2017). También hemos llevado a cabo estudios con la finalidad de estudiar los posibles escenarios epidemiológicos para la transmisión de *Rickettsia*, identificándose diversas especies, vectores, reservorios y factores de riesgo, incluyendo la presencia de animales sinantrópicos, la libre deambulacion de perros y la cercanía con fuentes de agua naturales (Arroyo-Ramírez et al., 2023; Dzul-Rosado et al., 2023b; Dzul-Rosado et al., 2021; Sánchez-Montes et al., 2021). En el caso de los animales sinantrópicos, además de los roedores y los animales domésticos se ha puesto particular atención en los murciélagos, donde se ha encontrado la presencia de diversas especies de *Rickettsia* (Lugo-Caballero et al., 2021). Este último hallazgo representa un área de oportunidad poco explorada en la actualidad.



Solamente bajo un abordaje integral es posible definir y organizar programas de prevención y control que tengan un impacto real en la participación y aceptación de estos por parte de la población como herramientas para resolver sus problemáticas de salud. En el laboratorio hemos estudiado los determinantes sociales que definen la extensión y magnitud del problema incluyendo el enfoque o perspectiva de género, para comprender la vulnerabilidad de las poblaciones en términos de la intensidad de exposición a los factores de riesgo y la dinámica de transmisión de las diferentes rickettsiosis en niños, adultos y en los animales con quienes conviven. Para esto se han realizado aproximaciones en investigación cualitativa donde se han identificado las percepciones y conocimientos que la población tiene en torno a la rickettsiosis. Los resultados han permitido tener un mejor panorama sobre estas enfermedades para poder diseñar programas piloto utilizando intervenciones socioeducativas y culturales enfocadas en superar las brechas en la comunicación en beneficio de la salud, que puedan ser sustentables en el tiempo (Dzul-Rosado et al., 2023; Dzul-Rosado et al., 2018; Dzul-Rosado et al., 2022; Dzul-Rosado et al., 2020; Dzul-Rosado et al., 2023a).



En cuanto a la evaluación de proteínas inmunogénicas, el laboratorio pretende incidir particularmente en el diagnóstico y prevención de las rickettsiosis. Debido a que clínicamente las rickettsiosis se caracterizan por presentar un síndrome exantemático febril similar al que ocasionan los virus dengue y Chikungunya entre otros, es muy importante desarrollar un procedimiento de diagnóstico diferencial acorde a las necesidades de nuestro país. Para ello, utilizamos una técnica bioinformática comparativa denominada vacunología reversa, mediante la cual se identificaron péptidos de los mencionados patógenos que, en su forma de proteína recombinante, permitieron identificar de manera diferencial casos de rickettsiosis, dengue o Chikungunya en muestras serológicas por lo cual, estos péptidos se encuentran en proceso de patente (Dzul-Rosado et al., 2020). Por otro lado, el análisis proteómico de aislados de *Rickettsia* permitió identificar diversas proteínas que participan directamente en el proceso de invasión de la bacteria lo que sugiere que pueden ser inmunogénicas. Esta última posibilidad se demostró mediante el uso de anticuerpos neutralizantes contra algunas de las proteínas de membrana identificadas. En suma, estos estudios han permitido establecer herramientas con potencial biotecnológico, en proceso de ser transferidas a la industria mediante la metodología de innovación I-Corps, la cual permite descubrir el valor potencial del desarrollo tecnológico y validar las posibles estrategias comerciales para su uso de manera rápida y eficaz. También, mediante vacunología reversa se han identificado y evaluado fragmentos peptídicos conservados Inter especie de la proteína OmpB que han sido producidos en forma de vacuna de ADN (Dzul-Rosado et al., 2017). Dichos plásmidos vacunales han sido transfectados a macrófagos para estimular linfocitos de pacientes en un sistema autólogo in vitro, con fines de conocer la orientación de la respuesta inmune celular y su producción de IFN γ . Se ha encontrado que algunos péptidos conducen a la activación de linfocitos tanto TCD4+ IFN γ + como TCD8+ IFN γ +, por lo que consideramos estos péptidos como candidatos prometedores para el desarrollo de una vacuna (Dzul-Rosado et al., 2023).

En conclusión, uno de los principales objetivos del LEER es contribuir a la generación de políticas públicas de innovación, ciencia y tecnología que beneficien a la sociedad, así como fomentar en todos los sectores de la sociedad, el aprecio por la ciencia.

Declaración de divulgación

Los autores no informaron ningún posible conflicto de intereses.



Referencias

- Alvarez-Hernandez, G., Roldan, J. F. G., Milan, N. S. H., Lash, R. R., Behravesh, C. B., & Paddock, C. D. (2017). Rocky Mountain spotted fever in Mexico: past, present, and future. *Lancet Infect Dis*, 17(6), e189–e196. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30173-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30173-1)
- Arroyo-Ramírez, A., Lugo-Caballero, C., Panti-May, J. A., Reyes-Novelo, E., Rodríguez-Vivas, R. I., Noh-Pech, H., Suárez-Galaz, A., Osorio-Primo, T., Puerto, F. I., Dzul-Rosado, K., & Torres-Castro, M. (2023). An unusual identification of *Rickettsia parkeri* in synanthropic rodents and domiciliated dogs of a rural community from Yucatán, Mexico. *Zoonoses and public health*, 70(7). <https://doi.org/10.1111/ZPH.13068>
- Dzul-Rosado, K., Arias-León, J., Lugo-Caballero, C., Peniche-Lara, G., Balam-Romero, B., & Rosado-Vallado, M. (2020). Application of reverse vaccinology for the identification of epitope candidates from *Rickettsia Rickettsii*. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 57(5). <https://doi.org/10.56042/ijbb.v57i5.41173>
- Dzul-Rosado, K., Cámara Herrera, R., Miranda-Schaeubinger, M., Arias-León, J., Peniche-Lara, G., Gilman Robert, H., Mercado-Saavedra Brandon, N., Lugo-Caballero, C., López Ávila, K., Tello Martín, R., & Omodior, O. (2022). Socio-ecological determinants of rickettsial seroprevalence in a rural community of Yucatán, Mexico. *Infection, genetics and evolution: journal of molecular epidemiology and evolutionary genetics in infectious diseases*, 102. <https://doi.org/10.1016/J.MEEGID.2022.105291>
- Dzul-Rosado, K., Castillo-León, T., Montalvo-Nah, E., Arias-León, J., & Puerto-Manzano, F. (2023). Perception of risk among children: Exploring the risk of TB-rickettsial disease based on the children's drawing pictures in a Mayan community of Yucatan. *Health promotion perspectives*, 13(2), 129–139. <https://doi.org/10.34172/HPP.2023.16>
- Dzul-Rosado, K., Donis-Maturano, L., Arias-León, J., Machado-Contreras, J., Valencia-Pacheco, G., Panti-Balam, C., Balam-Romero, J., Ku-González, A., Peniche-Lara, G., Mosqueda, J., Zazueta, O. E., Lugo-Caballero, C., & Puerto-Manzano, F. (2023). *Rickettsia* Vaccine Candidate pVAX1-OmpB24 Stimulates TCD4+INF- γ + and TCD8+INF- γ + Lymphocytes in Autologous Co-Culture of Human Cells. *Vaccines*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/VACCINES11010173>
- Dzul-Rosado, K., Lugo-Caballero, C., Arias-Leon, J. J., Pacheco-Tucuch, F., Peniche-Lara, G., & Zavala-Castro, J. (2018). Attitudes and practices from people of a Mayan Community of Mexico, related to Tick-borne diseases: Implications for the design of prevention programs. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 12(2).
- Dzul-Rosado, K., Lugo-Caballero, C., Juárez-Ramírez, C., Gómez-Dantés, H., Montalvo-Nah, E., Cituk-Cob, S., & Puerto-Manzano, F. (2020). Understanding risk perception from traditional knowledge of Mayan farmers on Rickettsioses. *Global Public Health*, 15(12). <https://doi.org/10.1080/17441692.2020.1782450>
- Dzul-Rosado, K. R., Arroyo-Solís, K. A., Torres-Monroy, A. J., Arias-León, J. J., Peniche-Lara, G. F., Puerto-Manzano, F. I., Landa-Flores, M. G., Del Mazo-López, J. C., & Salceda-Sánchez, B. (2023a). Tick-associated diseases identified from hunting dogs during the COVID-19 pandemic in a Mayan community in Yucatan, Mexico. *Open veterinary journal*, 13(6), 794–800. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.V13.I6.14>
- Dzul-Rosado, K. R., Arroyo-Solís, K. A., Torres-Monroy, A. J., Arias-León, J. J., Peniche-Lara, G. F., Puerto-Manzano, F. I., Landa-Flores, M. G., Del Mazo-López, J. C., & Salceda-Sánchez, B. (2023b). Tick-associated diseases identified from hunting dogs during the COVID-19 pandemic in a Mayan community in Yucatan, Mexico. *Open veterinary journal*, 13(6), 794–800. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.V13.I6.14>
- Dzul-Rosado, K. R., Reyes-Novelo, E., Lugo-Caballero, C., Cuxim-Koyoc, A. D., Collí-Padrón, F., Tello-Martín, R., López-Ávila, K. B., Palma-Chan, A., Peniche-Lara, G., & Ruiz-Piña, H. A. (2021). Urban ecology of hosts and vectors of *Rickettsia* in a rickettsiosis-endemic city of the Yucatan peninsula, Mexico. *Acta Tropica*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.105832>
- Esposito, M. M., Turku, S., Lehrfield, L., & Shoman, A. (2023). The Impact of Human Activities on Zoonotic Infection Transmissions. *Animals* 2023, Vol. 13, Page 1646, 13(10), 1646. <https://doi.org/10.3390/ANI13101646>
- Dzul-Rosado K., Balam-Romero B., Valencia-Pacheco G., Lugo-Caballero C., Arias-Leon J., Peniche-Lara G. & Zavala-Castro J. (2017). Immunogenicity of OmpA and OmpB antigens from *Rickettsia rickettsii* on mononuclear cells from *Rickettsia* positive Mexican patients. *Journal of Vector Borne Diseases*, 54(4), 317. <https://doi.org/10.4103/0972-9062.225836>
- Lugo-Caballero, C., Torres-Castro, M., López-Ávila, K., Hernández-Betancourt, S., Noh-Pech, H., Tello-Martín, R., Puerto-Manzano, F., & Dzul-Rosado, K. (2021). Molecular identification of zoonotic *Rickettsia* species closely related to *R. typhi*, *R. felis*, & *R. rickettsii* in bats from Mexico. *Indian Journal of Medical Research*, 154(3), 536–538. https://doi.org/10.4103/IJMR.IJMR_1083_19
- Sánchez-Montes, S., Colunga-Salas, P., Lozano-Sardaneta, Y. N., Zazueta-Islas, H. M., Ballados-González, G. G., Salceda-Sánchez, B., Huerta-Jiménez, H., Torres-Castro, M., Panti-May, J. A., Peniche-Lara, G., Muñoz-García, C. I., Rendón-Franco, E., Ojeda-Chi, M. M., Rodríguez-Vivas, R. I., Zavala-Castro, J., Dzul-Rosado, K., Lugo-Caballero, C., Alcántara-Rodríguez, V. E., Delgado-de la Mora, J., ... Becker, I. (2021). The genus *Rickettsia* in Mexico: Current knowledge and perspectives. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 12(2). <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101633>

Energía Renovable Costera

José López González¹, Sergio David Barranco¹

Palabras clave. Energía Renovable, Corrientes marinas

¹ Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC), Unidad Académica Sisal, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Nuestra evolución requiere de adaptación y aprendizaje. Parte de ello ha sido transformar la energía de una forma a otra para emplearla en beneficio de la sociedad. Podríamos definir conceptualmente a la energía como la capacidad de realizar un trabajo (EIA, 2022). En cada momento del día ocupamos energía transformándola de diferentes maneras para poder realizar nuestras actividades: la energía está en todos lados!

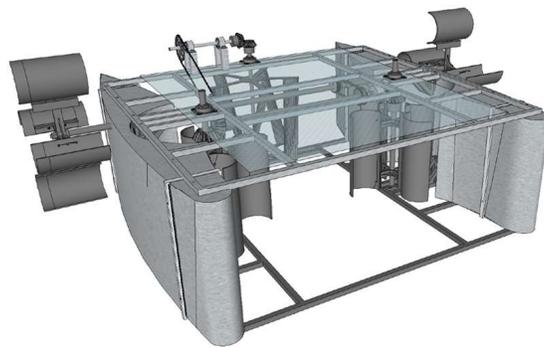
La energía la podemos clasificar en dos tipos: potencial (o almacenada) y cinética (en movimiento). Al comer, los alimentos que ingerimos contienen energía, esta energía es almacenada en nuestro sistema y es usada como energía cinética cuando realizamos alguna actividad.

Actualmente la población mundial se encuentra en alrededor de 7,800 millones y la demanda de energía por persona tiende a incrementar a una velocidad mayor. En Estados Unidos la demanda energética por persona es de 125 kWh al día, lo que representa un incremento en la producción de energía para satisfacer el consumo requerido, lo que implica impactos ambientales relacionados con el consumo de combustibles fósiles (Rybár et al., 2015), que causan daños irreversibles al medio ambiente, por lo que en los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de fuentes de energía alternativas que minimicen el impacto adverso al medio ambiente. Las energías renovables (Alrikabi, 2014), se clasifican de acuerdo al tipo de fuente de donde se extraen: la solar se extrae de la radiación del sol; la eólica proviene del viento; la geotérmica aprovecha la temperatura interna de la tierra; la energía a partir de la biomasa y, finalmente, la oceánica, que se extrae a través de mareas, oleaje, gradiente salino, gradiente térmico y las corrientes marinas, de las que se aprovechan las velocidades en un flujo de agua (Santillán, 2022). El interés en el aprovechamiento de la energía oceánica ha ido incrementando en los últimos años, aunque aún se encuentra en proceso de investigación.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, a través del CEMIE Océano, se ha dado a la tarea del aprovechamiento de la energía oceánica por medio de las corrientes marinas, trabajando en desarrollar un hidrogenerador (dispositivo semi-sumergido) para aprovechar las corrientes marinas. Teniendo como dispositivo de arranque el prototipo denominado hidrogeneradorIMPULSA.

De esta manera, se han realizado modificaciones con la finalidad de mejorarlo e incrementar el aprovechamiento de los flujos de agua. Después de varios años de realizar pruebas experimentales y numéricas, así como modificaciones en dimensiones y diseño, éstas (estas) permitieron establecer un nuevo hidrogenerador denominado HIPA (hidrogenerador de paletas). Este dispositivo se clasifica como un dispositivo semi-sumergido de eje vertical y flujo conducido que aprovecha la energía cinética de un flujo de agua para transformarla en energía eléctrica (Mariño-Tapia, 2020).

Figura 1. Diagrama del diseño actual del hidrogenerador que consta de 5 rotores, cuatro de ellos son de alabes rectos y uno helicoidal, además cuenta con dos concentradores de flujo en la parte central. Así mismo, consta de una transmisión mecánica para trabajar en conjunto con los 5 rotores.



Las últimas pruebas realizadas al hidrogenerador se llevaron a cabo empleando un estrechamiento de un puente vehicular en el puerto de Telchac, el cual está situado en el litoral norte de la península de Yucatán. En el estrechamiento se presentan velocidades superiores a 1 m/s.



Figura 2 Hidrogenerador previo a una medición en estrechamiento de un puente vehicular en el puerto de Telchac

En la prueba se utilizaron diferentes equipos para medir variables de interés como velocidad de la corriente, presión en diferentes puntos del dispositivo, velocidad angular y torque del eje mecánico.

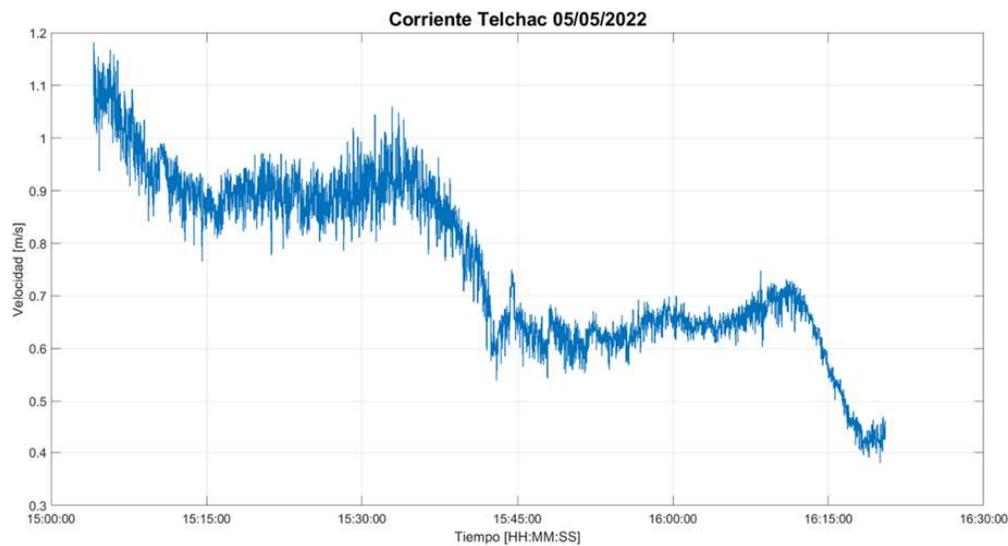
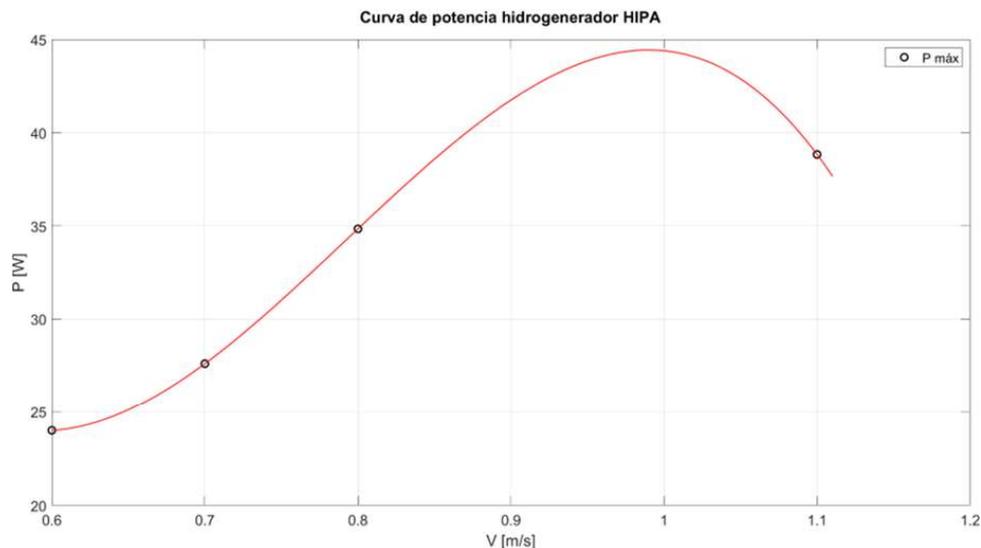


Figura 3 Ejemplo de la serie de tiempo de velocidades de la corriente para un periodo de medición donde se observan velocidades superiores a 1.1 m/s.

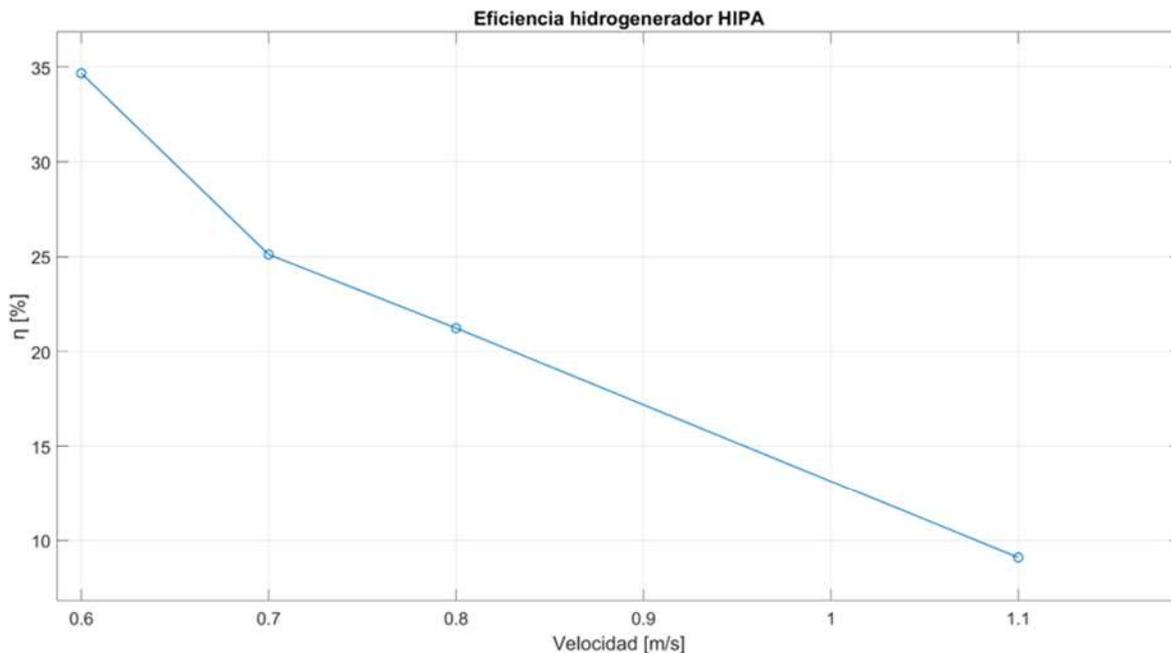
El hidrogenerador fue instrumentado con un torquímetro y sistema de frenado y velocidad de la corriente, cuya finalidad era conocer para diferentes velocidades de la corriente y diferentes valores de torque la velocidad angular para de esta manera conocer la potencia del dispositivo, el torque estaba regulado por el sistema de frenado. La información obtenida permitió establecer la potencia generada del dispositivo y su eficiencia versus velocidad de corriente. De esta manera se pudieron establecer rangos óptimos en los cuales se puede aprovechar la energía de las corrientes marinas. En la Figura 4 se muestra la potencia (P , expresada en unidades W) generada a diferentes rangos de velocidades, así mismo, se observa una potencia máxima de 38 W para una velocidad de 1.1 m/s y una potencia mínima de 24 W para una velocidad de 0.6 m/s, lo cual sirve como primer indicador, señalando que es posible producir energía en el rango de velocidades de 0.6 a 1.1 m/s.

Figura 4. Curva de potencia (P , expresada en unidades W) generada a diferentes rangos de velocidades



En la Figura 5 se muestra la eficiencia a diferentes velocidades de la corriente y se puede observar que conforme la velocidad del fluido (del agua marina?) aumenta, la eficiencia disminuye obteniendo alrededor del 10% a velocidades de 1.1 m/s, mientras que a una velocidad de 0.6 m/s se obtuvo una eficiencia cercana al 35%. Con lo cual, se puede concluir que el dispositivo es (más?) eficiente a bajas velocidades, lo cual representa una ventaja considerable pues son pocos los lugares en donde se encuentran velocidades de corrientes mayores a 1 m/s.

Figura 5 Eficiencia a diferentes velocidades de la corriente



Referencias

- Alrikabi, N. K. M. A. (2014). Renewable Energy Types. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(1), 61–64. <https://doi.org/10.7763/jocet.2014.v2.92>
- Mariño-Tapia, I. (2020). Caracterización de la intensidad, dirección y variabilidad espacio-temporal de las corrientes marinas en el canal de Cozumel. Donde se publicó?
- Rybár, R., Kudelas, D., & Beer, M. (2015). Selected problems of classification of energy sources - What are renewable energy? <https://doi.org/10.3390/ams20030172>
- EIA. (2022). U.S Energy Information Administration, What's energy? Obtenido de <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/>
- Santillán, M. L. (01 de 02 de 2022). El océano, un gran generador de energía. Obtenido de Ciencia UNAM-DHDC: <https://docs.google.com/document/d/1JQ1gt21ZUGxW1F1lkIHbrITgUqoi90Zq98u3tqqQJul/edit>

Vehículos autónomos propulsados con energía renovable para el cuidado de las costas de la península de Yucatán

Víctor Manuel Ramírez Rivera, Adrián Karín Puerto Piña, Rodrigo Flores Ruiz

Unidad de Energía Renovable
 Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)
 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto Km. 5. Sierra Papacal, Mérida, Yucatán, México.
Palabras clave: vehículo autónomo, sistemas híbridos, hidrodinámico.

Un vehículo es autónomo cuando puede imitar las capacidades humanas de manejo y control, dado que es capaz de percibir las condiciones del medio que le rodea y desplazarse según las decisiones generadas a partir del análisis de estas condiciones y las respuestas de sus algoritmos de control. Actualmente encontramos ejemplos de este tipo de vehículo a nuestro alrededor, por ejemplo, los automóviles comerciales que tienen la capacidad de estacionarse sin la intervención del conductor o los vehículos marca Tesla® que pueden desplazarse de forma autónoma dentro de algunas ciudades y carreteras. Este tema sigue siendo de interés, tanto en la incorporación de nuevas tecnologías como para enfrentar los retos del futuro (Ahangar et al., 2021; Parekh et al., 2022).

En la Figura 1 se presenta la estructura básica de un vehículo autónomo (*autonomous vehicle, AV*) propulsado con energía eléctrica, cuya principal desventaja es la obtención de energía para cargar sus baterías. Actualmente se consideran tres maneras para obtenerla: conectándose a la red eléctrica, a través de energías renovables o una combinación de ambas.

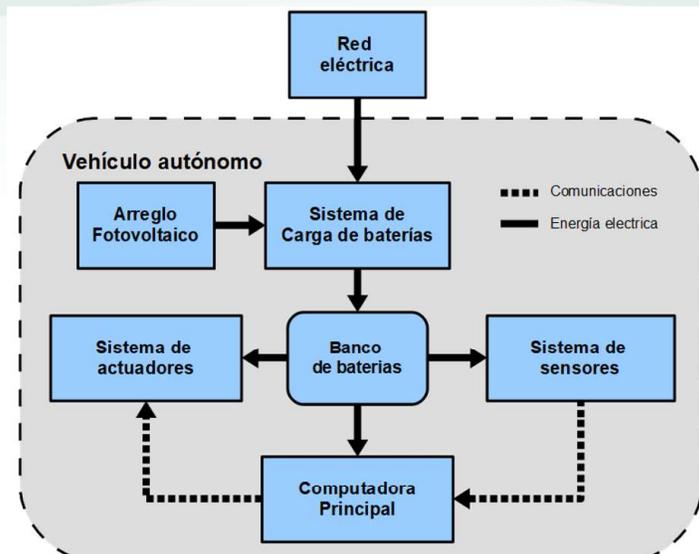


Figura 1. Estructura básica de un AV.

Es importante mencionar que, por un lado, el uso de los vehículos autónomos no está restringido a transporte o entretenimiento, también tienen aplicaciones en el área militar y, muy particularmente, en el campo de la investigación. Por otro lado, si bien los primeros AV fueron vehículos terrestres, principalmente automóviles, actualmente esta definición incluye los vehículos aéreos y acuáticos. En este artículo solo se abordan los vehículos acuáticos, particularmente los vehículos submarinos conocidos como AUV por sus siglas en inglés (*Autonomous Underwater Vehicles*) Figuras 2 y 3.

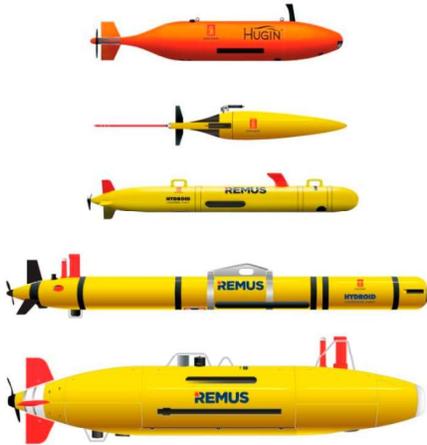


Figura 2. Modelos de AUV marca Kongsberg® (Fuente: catálogos de Kongsberg®)



Figura 3. Modelos de AUV marca Exail Technologies® (Fuente: catálogos Exail Technologies®).

Una de las tareas más importantes en el área de la investigación para las que se están utilizando los AUV alrededor del mundo (y la que nos interesa es este artículo), es en el monitoreo de la vida marina para el cuidado de los distintos cuerpos de agua como lagos, lagunas, cenotes y océanos (Sahoo et al., 2019). No obstante, los costos de las versiones comerciales son elevados. Por ejemplo, el AUV A18 usado para inmersiones de más de 1000 m (Figura 4), tiene un precio de hasta 6 millones de dólares, según el equipamiento requerido. Existen modelos más pequeños, como la categoría AUV Remus 100 (Figura 5), diseñados para profundidades menores a 100 metros y precios rondan entre 150 000 y 250 000 dólares.



Figura 4. Modelo A18 marca Exail Technologies® (Fuente: catálogos Exail Technologies®).



Figura 5. AUV Remus 100 (Fuente: Markets and Markets, 2023).

Debido a su gran potencial para la exploración en distintos ecosistemas marinos, alrededor del mundo existen distintos grupos de investigación trabajando en el diseño y construcción de AUV, con el fin de reducir costos y hacerlos más asequibles para la comunidad científica (Gafurov & Klochkov, 2015; Sahoo, 2019).

En el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), dentro del Laboratorio de Sistemas Híbridos de la Unidad de Energía Renovable (UER), se está desarrollando un vehículo autónomo submarino (AUV_CICY) propulsado con energías renovables (Llanez et al., 2020; Figura 6). Con el AUV_CICY se planea monitorear las costas de la península de Yucatán y, entre otras cosas, presentar el estado en el que se encuentran estos ecosistemas marinos.

A continuación, se mencionan algunos problemas que se podrían abordar utilizando el AUV_CICY:

- Analizar las condiciones de los arrecifes de coral.
- Monitorear a las especies invasoras, por ejemplo, el pez diablo y el pez león, que actualmente son un problema en algunos ecosistemas marinos.
- Monitorear el estado de depósito de desechos en las principales playas y puertos de Yucatán o Quintana Roo.
- Utilizar las tecnologías LiDAR (Light Detection and Ranging) para mapear el fondo marino de las costas.

Esta tecnología fue desarrollada por el propio CICY, lo cual le permitió reducir los precios con respecto a comprar un vehículo comercial, así como los costos derivados del mantenimiento, actualizaciones, modificaciones, reparaciones entre otros servicios particulares que ofertan los fabricantes (Figura 6).



Figura 6. Vehículo autónomo submarino AUV_CICY.

Es importante mencionar que el AUV_CICY tiene un diseño hidrodinámico novedoso con enfoque a la eficiencia energética, es decir, es un vehículo que requiere menos energía para desplazarse en comparación con otros vehículos submarinos. Lo anterior se demostró a través de análisis computacionales (Figura 7). Un consumo de energía menor, proporciona mayor autonomía para las exploraciones.

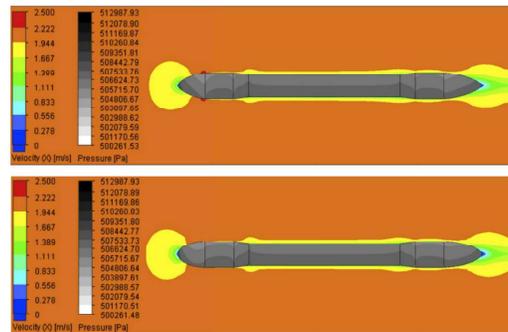


Figura 7. Pruebas computacionales para el AUV_CICY.

El AUV_CICY se abastece de energía renovable gracias a un sistema fotovoltaico instalado sobre un vehículo autónomo de superficie (*Autonomous Surface Vehicles, ASV*) tipo catamarán, el cual también se diseñó y construyó dentro de la institución (Del Río-Rivera et al., 2020). Los ASV son vehículos diseñados para desplazarse sobre el agua, como los barcos y botes que realizan distintas actividades sin la necesidad de un operador. Al igual que los AUV, los ASV también son un tema de investigación, (Tanakitkorn et. al. 2019, Choi et. al. 2020, Hinostroza et. al. 2019).

Al día de hoy, el equipo de investigación del Laboratorio de Sistemas Híbridos del CICY está trabajando en el desarrollo e implementación del sistema de control principal y realizando pruebas en campo con el vehículo (Figura 8). Este sistema se está programando tanto en software como en hardware libre, lo cual reduce aún más los costos de fabricación. Los algoritmos de control diseñados para este sistema se basan en algoritmos de inteligencia artificial (*machine learning*). El AUV_CICY y el ASV_CICY conforman una plataforma de monitoreo marítimo que se espera inicie sus primeros trabajos de exploración en el año 2024.



Figura 8. Pruebas en campo con el AUV_CICY

Referencias

Ahangar, M. N., Ahmed, Q. Z., Khan, F. A., & Hafeez, M. (2021). A survey of autonomous vehicles: Enabling communication technologies and challenges. *Sensors*, 21(3), 706. <https://doi.org/10.3390/s21030706>

Choi, J., Park, J., Jung, J., Lee, Y., & Choi, H. T. (2020). Development of an Autonomous Surface Vehicle and Performance Evaluation of Autonomous Navigation Technologies. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 18, 535-545. <https://doi.org/10.1007/s12555-019-0686-0>

Del-Río-Rivera, F., Ramírez-Rivera, V. M., Donaire, A., & Ferguson, J. (2020). Robust trajectory tracking control for fully actuated marine surface vehicle. *IEEE Access*, 8, 223897-223904. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042091>

Gafurov, S. A., & Klochkov, E. V. (2015). Autonomous unmanned underwater vehicles development tendencies. *Procedia Engineering*, 106, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.017>

Hinostroza, M. A., Xu, H., & Soares, C. G. (2019). Cooperative operation of autonomous surface vehicles for maintaining formation in complex marine environment. *Ocean Engineering*, 183, 132-154. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.04.098>

Llanez, I., Ramírez, V., Del Rio, F., & Antonio, P. (2019). Optimized design of an autonomous underwater vehicle, for exploration in the Caribbean Sea. *Ocean Engineering*, 187, 106184. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106184>

Markets and Markets (2023, junio). The Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Market by Shape (Torpedo, Laminar Flow Body, Streamlined Rectangular Style, Multi-hull Vehicle), Type (Shallow, Medium, & Large AUVs), Technology (Imaging, Navigation, Propulsion), Payload – Global Forecast to 2028. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/autonomous-underwater-vehicles-market-141855626.html>

Parekh, D., Poddar, N., Rajpurkar, A., Chahal, M., Kumar, N., Joshi, G. P., & Cho, W. (2022). A review on autonomous vehicles: Progress, methods and challenges. *Electronics*, 11(14), 2162. <https://doi.org/10.3390/electronics11142162>

Sahoo, A., Dwivedy, S. K., & Robi, P. S. (2019). Advancements in the field of autonomous underwater vehicle. *Ocean Engineering*, 181, 145-160. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.04.011>

Tanakitkorn, K. (2019). A review of unmanned surface vehicle development. *Maritime Technology and Research*, 1(1), 2-8. <https://doi.org/10.33175/mtr.2019.140730>



gaceta

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



UPY BIS
UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE YUCATÁN



ECOSUR



CentroGeo
21°07'51"N 89°46'51"O 0008m



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN



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



Juntos transformemos
Yucatán
GOBIERNO DEL ESTADO

SIIES
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN
SUPERIOR



**Parque Científico
Tecnológico de Yucatán**



CONAHCYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología