

Ciencia, Tecnología y Salud

Revista Centroamericana de Investigación y Postgrado
Universidad de San Carlos de Guatemala

ISSN: 2410-6356 (impreso) / 2409-3459 (electrónico)

Volumen 11 Número 1 enero / junio 2024

Artículos científicos

Artículos de revisión

Conferencia de congreso

Ensayos científicos

Resúmenes de congresos

Reporte de casos

Reseñas



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



DGI Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala



CG-sep
Coordinadora General
Sistema de Estudios de Postgrado



CONCYT
SENACYT
Secretaría Nacional de
Ciencia y Tecnología
GUATEMALA

Ciencia, Tecnología y Salud es una publicación de la Dirección General de Investigación (Digi), con la colaboración de la Coordinadora General del Sistema de Estudios de Postgrado (CG-SEP), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Usac) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt). Está orientada a divulgar investigaciones originales en las áreas de ciencias, tecnologías y salud humana y animal. Constituye una publicación en formato digital Open Journal System (OJS) en línea, y semestral en forma impresa. Los manuscritos aceptados para publicación son sometidos a procesos de arbitraje por revisores externos, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico. Aprobada en el punto Séptimo, Inciso 7.1 del Acta No. 20-2014 de la sesión ordinaria celebrada por el Consejo Superior Universitario, el día miércoles 12 de noviembre de 2014.

Nombre: Dirección General de Investigación, editor | Rodas Morán, Andrea Eunice, editora ejecutiva
Título: Ciencia, Tecnología y Salud / Revista de Investigación y Postgrado; editor Dirección General de Investigación; editora ejecutiva Andrea Eunice Rodas Morán.
Descripción: Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Unidad de Publicaciones y Divulgación, 2024 | Volumen 11, número 1. (enero/junio 2024).
Identificadores: ISSN impreso 2409-3459 | ISSN electrónico 2410-6356
Temas: LEMB: Alimentación. | Agronomía. | Biología. | Conservación de los recursos naturales. | Física. | Industrias. | Matemática. | Medicina. | Medio ambiente natural. | Recursos naturales. | Salud pública. | Química.
Clasificación: CDD 500 C569
Disponible en <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/cytes>

Universidad de San Carlos de Guatemala

Walter Ramiro Mazariiegos Biolís

Rector

Lic. Luis Fernando Córdón Lucero

Secretario General

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación, Digi

Julio R. Salazar Pérez

Coordinador General de Programas, Digi

Carlos René Sierra

Coordinador General, SEP

La correspondencia debe ser dirigida a:

Edificio S-11, 3^{er} Nivel, Ciudad Universitaria, Zona 12

Teléfono: 2418 7950

Correo: cts@dzi.usac.edu.gt



Descripción de la fotografía de portada: Colección de cepas bacterianas de trabajo cultivadas en agar tripticasa soya (TSA). Estas cepas, aisladas de suelos de Guatemala, forman parte del artículo “Producción de plásticos biodegradables en Guatemala”, enfocado en su caracterización microbiológica y su potencial aplicación en procesos biotecnológicos. – fotógrafo: Ricardo Andrés Figueroa Ceballos

La reproducción total o parcial del contenido e imágenes de esta publicación se rige de acuerdo a normas internacionales sobre protección a los derechos de autor, con criterios especificados en la licencia Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0)

©Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2024
Los textos publicados en este documento son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2409-3459 (impreso) / 2410-6356 (electrónico)

Vol. 11 Num. 1 ene/jun 2024

Directorio / Board-Staff

Leonardo J. Mendoza-Blanco

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (Unan-León),
Nicaragua

Enrique Pazos

Escuela de Física y Matemáticas, Usac, Guatemala

Francisco Romero-Royo

Universidad Tecnológica Nacional, Costa Rica

Igor I. Slowing-Umaña

Iowa State University, United States of America

Liseth Perez

Technische Universität Braunschweig, Alemania

Rafael Fernandez-Botran

Associate Professor of Pathology & Laboratory Medicine,
Estados Unidos

Benjamin A. Rosales Rivera

Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua

Rodrigo J. Gonzalez

Blavatnik Institute, Harvard Medical School,
Estados Unidos

Stewart Oakley

Civil Engineering Department, California State University,
Estados Unidos

Cecilio Alvarez Toledano

Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de
México, México

Unidad de Publicaciones y Divulgación

Marlene P. Pérez-Muñoz

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Asesores de edición

Dara S. Higueros Pellecer

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

José D. Marroquín

Dirección General de Investigación, Usac, Guatemala

Instructions for authors.....65

Ciencia, Tecnología y Salud

ISSN: 2409-3459 (impreso) / 2410-6356 (electrónico)

Vol. 11 Num. 1 ene/jun 2024

Editorial / Editorial

En este primer número del volumen 11 de *Ciencia, Tecnología y Salud*, presentamos una selección de trabajos que aunque breve, refleja el compromiso continuo de la revista con la publicación de investigaciones de alta calidad, destacando el incremento reciente en el índice de rechazo de manuscritos.

Este número está compuesto por tres artículos, un ensayo y una reseña. El primer artículo, titulado “Síntesis y caracterización de dos materiales azo: Comparación entre un compuesto sulfonado y su análogo no sulfonado”, explora la creación y análisis de materiales innovadores mediante técnicas avanzadas de caracterización, como FTIR-ATR y XRD. Los hallazgos destacan las diferencias en absorción de agua y estabilidad térmica, proporcionando nuevas perspectivas en la ciencia de materiales.

El segundo artículo, “Análisis comparativo de tecnologías sustitutivas para la medición del potencial eólico en las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur”, se evalúan tres tecnologías distintas para medir la velocidad y dirección del viento. El estudio demuestra la confiabilidad del sistema por mástil en mediciones a largo plazo, en comparación con tecnologías emergentes como drones y globos de helio, subrayando la importancia de la continuidad y precisión en los datos para proyectos de energía renovable.

El tercer artículo, “Optimización de la biosíntesis de polihidroxialcanoatos por bacterias nativas de

Guatemala utilizando suero lácteo como sustrato”, aborda el potencial biotecnológico de bacterias nativas para la producción de biopolímeros biodegradables. Este trabajo destaca la viabilidad de utilizar residuos de la industria láctea como sustrato, lo que no solo mejora la sostenibilidad del proceso, sino que también reduce significativamente los costos de producción de estos polímeros, abriendo nuevas oportunidades para la sustitución de plásticos convencionales.

El ensayo, titulado “Desarrollo de un prototipo para la vinculación de los actores del ecosistema de innovación universitario”, aborda el diseño y desarrollo de aplicaciones móviles que fortalecen la interacción entre investigadores, emprendedores, empresarios e inversionistas. El ensayo propone una serie de herramientas innovadoras que buscan dinamizar los ecosistemas universitarios de innovación, fomentando una comunicación efectiva y potenciando la transferencia de conocimiento.

Finalmente, cerramos este número con la reseña “Plantas con semillas introducidas en Guatemala”, que proporciona una reflexión crítica sobre un capítulo de la serie *Biodiversidad de Guatemala*, subrayando los desafíos y oportunidades para el estudio de especies exóticas en el país.

Este número reafirma el compromiso de *Ciencia, Tecnología y Salud* con la difusión de investigaciones innovadoras que buscan soluciones sostenibles y colaborativas para los desafíos del presente.

Análisis comparativo de tecnologías sustitutivas para la medición del potencial eólico en las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur

Comparative analysis of substitute technologies for the measurement of wind potential in the facilities of the Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur

Sergio A. López  *

Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, Universidad de San Carlos de Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: sergio.lopez@profesor.usac.edu.gt

Recibido: 18 de abril 2023 / Revisión: 19 de abril 2024 / Aceptado: 27 de mayo 2024

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo el análisis comparativo de tecnologías sustitutivas para la medición del potencial eólico en las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur. Para esto se realizaron mediciones de la rapidez y dirección del viento, con tres sistemas tecnológicos independientes denominados por mástil, que se consideró como sistema de referencia, por elevación con el uso de un dron y por elevación con globos inflados con helio. Se utilizaron anemómetros de cazoletas en cada sistema a 10 y 15 m de altura, con frecuencias de medición de 5 min para el sistema por dron y mástil, además, 4 min para el sistema elevado por globos, la dirección del viento se consideró igual en todos los sistemas basados en los datos del mástil. Se realizaron comparaciones con el uso de pruebas de diferencias entre medias, gráficas lineales y rosas de viento. Los resultados muestran 68.75% de igualdad entre las medias del sistema por mástil y elevado por dron, además, un 40% de igualdad entre las medias del sistema por mástil y elevado por globo. El potencial eólico resultante durante el periodo de experimentación fue de 0.94041 W/m². Se concluye que, para la medición del potencial eólico el sistema por mástil es el más confiable, debido a su capacidad de continuidad en la medición a largo plazo, ya que el uso del dron y los globos poseen carencias de energización y sustentabilidad respectivamente.

Palabras clave: Anemómetro de cazoleta, dron, globo, rosa de viento, rapidez del viento

Abstract

The objective of this research is the comparative analysis of substitute technologies for measuring wind potential at the Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur. To achieve this, measurements of wind speed and direction were taken using three independent technological systems: a mast, which was considered the reference system, a drone, and helium-inflated balloons. Cup anemometers were used in each system at heights of 10 and 15 m, with measurement frequencies of 5 min for the drone and mast systems, and 4 min for the balloon system. Wind direction was considered consistent across all systems based on mast data. Comparisons were made using mean difference tests, line graphs, and wind roses. The results show a 68.75% similarity between the means of the mast and drone systems, and a 40% similarity between the means of the mast and balloon systems. The resulting wind potential during the experimental period was 0.94041 W/m². It is concluded that, for measuring wind potential, the mast system is the most reliable due to its capacity for continuous long-term measurement, as the use of drones and balloons has deficiencies in energy supply and sustainability, respectively.

Keywords: cup anemometer, drone, balloon, wind rose, wind speed



Introducción

El viento y su presencia como recurso para la generación de energías limpias ha presentado la posibilidad de su explotación a nivel mundial y cada vez más se requiere de este tipo de energías, con el objetivo de frenar los impactos del cambio climático por consumo de combustibles fósiles en generación de energía eléctrica (Vega de Kuper & Ramírez Morales, 2014).

La posibilidad de aprovechar la energía del viento necesita de una transformación. Una máquina denominada generador eólico ofrece la posibilidad de transformar la energía cinética del viento en electricidad, cuando esta es tomada de una turbina eólica (Moro Vallina, 2013).

Estas máquinas son diversas y tienen modelos específicos según el sitio donde se deseen instalar, esto se debe en gran medida a que el viento presenta mucha variabilidad en su magnitud, dirección y frecuencia, en dependencia directa del sitio donde se instale, la estación del año que esté presente y las condiciones climáticas que gobiernan una región en particular (González-Rocha et al., 2019). Lo que conduce a que la generación de energía eólica requiere de unos estudios particulares previos a instalar un equipo de generación.

Cuando se desea evaluar el potencial eólico de un lugar conviene realizar una campaña de medición del viento (rapidez y dirección), lo más larga posible, técnica y económicamente posible, como mínimo de un año y llevar a cabo mediciones a distintas alturas (10, 25, 50, 80 m) mediante el uso de una torre meteorológica (López, 2012). El estudio de potencial eólico se refiere a un análisis prolongado de las condiciones o caracterización del viento en un sitio de interés. Se requiere de mediciones de la rapidez, dirección, frecuencia, altura y condiciones climáticas que gobiernen un sitio específico donde se desee realizar la instalación de una turbina eólica, estos estudios pueden durar meses o años, en dependencia del tipo de proyecto de generación que se requiera instalar en el lugar que se analiza (Asea Brown Boveri, 2012).

La potencia eólica disponible es proporcional a la densidad del aire, al área perpendicularmente al flujo del viento y al cubo de su velocidad. La potencia eólica disponible es la máxima potencia que se podría obtener del viento si se pudiera extraer del mismo toda su energía cinética. Debido a diversas limitaciones, límite de Betz, pérdidas aerodinámicas y mecánicas, rendimiento del generador eléctrico, entre otras, solo permiten en la práctica aprovechar como máximo alrededor de un 45% al 50% de la potencia eólica disponible (López, 2012).

De forma ordinaria el estudio de potencial eólico, se lleva a cabo con la instalación de un mástil con instrumentos de medición a diferentes alturas, durante un tiempo prudente que refleje con datos obtenidos, la caracterización del viento. Sin embargo, este tipo de instalaciones pueden ser dificultosas y costosas de instalar en varios sitios de interés para generación de energía eólica (Vasiljević et al., 2020).

Por este motivo es importante analizar opciones para realizar esta labor, ya que algunos lugares donde el viento es un recurso que cuenta con altas cantidades y calidades, como el mar abierto o laderas en colinas de perfil suave, no es posible la instalación de un mástil para monitoreo (Giebel et al., 2012).

La investigación que se presenta, explora la experimentación aplicada de dos sistemas de monitoreo diferentes, y su comparación con un sistema ordinario de tipo mástil, esto con la finalidad de demostrar la validez de otras opciones de monitoreo eólico. Uno de los sistemas, empleó el uso de un anemómetro montado sobre un dron a control remoto y el otro sistema, se basó en la elevación de un anemómetro por medio de globos inflados con helio. La dirección del viento se tomó de los datos del instrumento del mástil a 10 y 15 m de altura sobre el nivel de referencia, todos los anemómetros utilizados fueron de cazoletas. Con los datos obtenidos de los tres sistemas, se realizaron comparaciones de la información recolectada durante jornadas de monitoreo eólico simultáneas, con el uso de análisis e interpretación de gráficas lineales y rosas de viento. Además, como comparación estadística, se empleó la diferencia de medias. Se presentan al finalizar los resultados y la discusión de los mismos con otras investigaciones similares encontradas en la indagación bibliográfica sobre el tema.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica y temporalidad de la investigación/Obtención de información

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur ITUGS, ubicado en el municipio de Palín departamento de Escuintla, a 14°22'26" N y 90°43'21" O, que puede observarse en la Figura 1, con una altura de 863 m sobre el nivel del mar, la temperatura promedio es de 23 °C, el promedio de lluvia es de 174 mm de marzo a diciembre y la dirección del viento puede tener mayoría de incidencia en las direcciones sur, norte y este (Weather Spark, 2023).

Figura 1*Mapa del sitio de medición*

Nota: Google Earth (2023) Ubicación Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur <https://earth.google.com/web/@14.37337632,-90.72128957,988.59138873a,29.90782664d,35y,-68.77752262h,69.98747482t,0r/data=CgRCAggB>

Recolección de datos

La recolección de los datos se realizó en los meses de mayo, junio, julio y agosto del 2022. Los monitoreos del viento con los distintos sistemas se desarrollaron con base a la frecuencia de captura de información, la altura a la que se realizó la medición, las comparaciones entre los sistemas de tipo dron, tipo mástil y sistema elevado por globos inflados con helio. El dron empleado fue de marca DJI modelo Mavic 3 con la integración de un anemómetro PCE ADL 11. Para el sistema por mástil se utilizó un equipo PCE FWS 20, y en el sistema elevado por globos inflados con helio, se emplearon globos de latex de 90 cm de diámetro (inflado), con un anemómetro tipo PCE A420 sostenido por medio de una estructura de alambre. En todos los monitoreos se consideró la dirección del viento igual a la información obtenida del sistema tipo mástil, debido a la cercanía entre sistemas durante la medición. Las variables que se midieron fueron la rapidez y dirección del viento a alturas seleccionadas de 10 y 15 m, por motivos de factibilidad de montaje del mástil. Las pruebas de comparación del sistema de dron y mástil se llevaron a cabo los días 5, 7, 8, 9 y 19 de septiembre y los días 6, 7, 21, 26 y 27 de octubre, en horarios de

11 y 14 h, la prueba duro 25 min cada una, con una frecuencia de captura de datos cada 5 min, esto debido al mejor aprovechamiento del tiempo de vuelo del dron, ya que el mismo tiene una independencia de vuelo de 28 min como máximo, lo que dio la posibilidad de recolectar 5 datos por vuelo en vez de 2, que de forma ordinaria se consideran como tiempos adecuados para la captura de datos eólicos (10 min por cada captura). Las pruebas de comparación de los sistemas de mástil y globo, se desarrollaron los días 7 y 9 de septiembre, y 21, 26 y 27 de octubre, en horarios de 11 a 16 h.

Para la recuperación de los datos en cada medición, se descargaron los mismos a través de conexiones USB a una computadora portátil y por medio de lectura directa, como en el caso del sistema elevado por globos inflados con helio.

Técnicas e instrumentos

El sistema por mástil se desarrolló a partir de la integración de varios elementos, tubería de aluminio de 3 y 2 in de diámetro, roscados en sus extremos y ensamblados con acoples. Para la transición de los tubos de distinto diámetro se empleó un conector

tipo campana de 3 pulgadas a 2 pulgadas y accesorios roscados. La elaboración del mástil se desarrolló bajo techo para luego ser instalado en el área seleccionada del estudio.

La base del mástil se fabricó con una placa cuadrada de acero de 30 cm de lado y 1.5 cm de espesor, se le soldó un acople tipo niple roscado de 3 pulgadas al centro de la placa para integrar los tubos. A la placa se le perforaron 6 agujeros que sirvieron para su instalación en el área establecida. A distancias de 6 y 9 m de la base del mástil, se colocaron cables de acero de 3/16 de pulgada de grosor y longitud de 10 y 14 m, alrededor de los tubos ensamblados. El apriete del cable se logró con cuatro mordazas por tensor, se instalaron tres tensores para la prueba de 10 m y seis tensores para la prueba de 15 m.

En el extremo del sistema, se instaló el equipo de monitoreo PCE FWS 20N, el cual cuenta con anemómetro de cazoletas, veleta para medición de dirección del viento, medidor de precipitación y termómetro. El rango para la medición de la rapidez del viento es de 0 a 50 m/s, con una resolución de 0.1 m/s y precisiones de ± 1 m/s para rapideces menores a 5 m/s y $\pm 10\%$ para rapideces mayores a 5 m/s. Para la recepción y almacenamiento de las mediciones de los distintos sensores del equipo, se contó con una pantalla digital tipo *data logger*, misma que se ubicó en un recipiente plástico hermético a una distancia de 1.5 m de la base del mástil. La transmisión de la información para estos equipos es por medio de señal inalámbrica.

El segundo sistema desarrollado se basó en la integración de tres elementos, un dron a control remoto marca DJI modelo Mavic 3, una base de perfil de aluminio para la instalación del anemómetro, la cual fue acoplada al dron por medio de cinchos plásticos, y un anemómetro tipo cazoletas PCE ADL 11, mismo que fue acoplado a la base de aluminio por medio de un tornillo. La base de aluminio tiene forma de “L” con dimensiones de 10 por 12 cm. El anemómetro cuenta con las siguientes características, rango de 1.2 a 30.0 m/s, resolución 0.01 m/s y precisión de $\pm 3\% + 0.20$ m/s. La ubicación del instrumento se determinó con base a pruebas de vuelo y se logró establecer que el mejor sitio era la parte frontal superior del dron, en esta ubicación se encuentra menos desequilibrio para la aeronave, ya que en la parte trasera se encuentra la batería, además, de reducir los efectos del viento vertical producto del funcionamiento de las hélices sobre el instrumento.

El tercer sistema desarrollado consistió en la unión de varios elementos poliméricos, se emplearon ocho globos de látex, de 90 cm de diámetro inflados con helio, sujetos con trozos de hilo de nylon a una línea de anclaje común. El hilo de nylon empleado fue de 1 mm, los acoples se realizaron por medio de nudos ordinarios, se emplearon dos tramos de hilo uno de 10 m de los globos hacia el anemómetro y otro de 10 o 15 m, según la necesidad de medición, del anemómetro hacia el punto de anclaje en el suelo. Para la medición de la rapidez del viento con este sistema se empleó un anemómetro PCE A420 de tipo cazoletas, el cual fue sujetado a la línea de anclaje de nylon por medio de una estructura de alambre de acero galvanizado, diseñada específicamente para la movilidad adecuada del instrumento en todo momento de funcionamiento, además, de permitir la verticalidad del anemómetro en independencia de la elevación de los globos. El instrumento cuenta con las siguientes características, rango de 0.9 a 35.0 m/s, resolución 0.1 m/s y precisión de $\pm 2\% + 0.2$ m/s. Debido a que este instrumento es de captura de datos manual, se realizó una automatización al mismo con el uso de una tarjeta electrónica y un integrado 555, la configuración más estable se logró con una frecuencia de captura de 4 min. El anclaje en el suelo se realizó con un trozo de acero de construcción de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Procesamiento y análisis de información

Con los datos recuperados de cada uno de los sistemas de monitoreo se realizaron comparaciones con el uso de pruebas estadísticas de diferencia de medias y representaciones gráficas. Las pruebas estadísticas de diferencia de medias se realizaron con las herramientas de análisis de datos de MS Excel. Se hicieron pruebas de estadístico “t” de student para la información obtenida en las comparaciones de los sistemas por del dron y mástil, ya que son menores a 30 datos, y pruebas de estadístico “z” para la información obtenida en las comparaciones de las mediciones de los sistemas por mástil con el sistema de globos inflados con helio, ya que son mayores a 30; se utilizó un alfa de 0.05 en ambos casos. La hipótesis nula que se maneja fue que las medias de ambos sistemas son iguales.

También, se emplearon representaciones gráficas, con el uso de gráfica de líneas y el uso de rosas de viento, las cuales fueron elaboradas con MS Excel y WRPLOT (Thé, 2018) respectivamente.

Resultados

Para la información analizada en los sistemas por mástil y sistema por dron, desde el 5 de septiembre hasta el 7 de octubre, las mediciones se realizaron a una altura de 10 m, del 21 al 26 de octubre a una altura de 15 metros. De las pruebas estadísticas de diferencia de medias se puede observar que existe igualdad en el 68.75 % de las comparaciones (véase Tabla 1).

Con la comparación en las gráficas lineales (Figura 2), es posible establecer que existieron diferencias de los datos recuperados con el sistema tipo dron respecto al sistema del mástil, cabe la posibilidad que esto se haya debido a diversos factores como, vibraciones inducidas por el funcionamiento ordinario del dron que repercutieron en la sensibilidad del anemómetro ADL 11, el hecho de comparar dos tipos de instrumentos distintos, es decir uno de modelo ADL 11 (montado en el dron) y otro de modelo FWS 20N (instalado en el mástil), la presencia de turbulencia vertical producto del giro de las hélices del dron y el error propio del instrumento durante la captura de datos. Sin embargo, las muestras de información recuperadas los días 9 de septiembre a las 13 horas y 26 de octubre a las 11 horas (Figura 2), presentan una buena similitud, casi idéntica en las mediciones.

Debido a que el monitoreo eólico se enriquece en términos de calidad de la información recolectada, con el uso de rosas de viento, en la Figura 3 se muestran algunos ejemplos de las rosas obtenidas con la integración de la rapidez y dirección del viento.

Como se aprecia en la Figura 3 con los datos del día 26 de octubre a las 11 hrs, se establece la similitud en los resultados de las mediciones, ya que en las rosas se observa una magnitud representada por el mismo color producto de los datos en ambos instrumentos, en contraste con los datos del día 9 de septiembre a las 11 hrs, donde se observa que los datos recuperados del instrumento montado en el dron, son más grandes en magnitud y en la rosa se representan en colores diferentes a los datos recuperados del instrumento instalado en el mástil. Aunque en ambas situaciones se mantiene la misma dirección. Por último, de las comparaciones más interesantes se observan las rosas producto de

los datos del día 7 de septiembre a las 14 hrs, donde se muestra que existe tanto diferencia en la magnitud como en la dirección de los datos. Esto se debió a que el instrumento instalado en el mástil, registró valor cero para la rapidez del viento al momento que el instrumento montado en el dron, sí registró información de rapidez diferente a cero para la dirección del viento recuperada por el instrumento del mástil.

En el caso de la comparación del sistema por mástil y sistema elevado por globos inflados con helio, las mediciones con el sistema elevado por globos inflados con helio, se vieron limitadas por la alta presencia de lluvia, producto de las condiciones climáticas que prevalecieron en el país durante el segundo semestre del año. De las comparaciones de medias se puede reportar una similitud estadística del 40% de los monitoreos (véase Tabla 1).

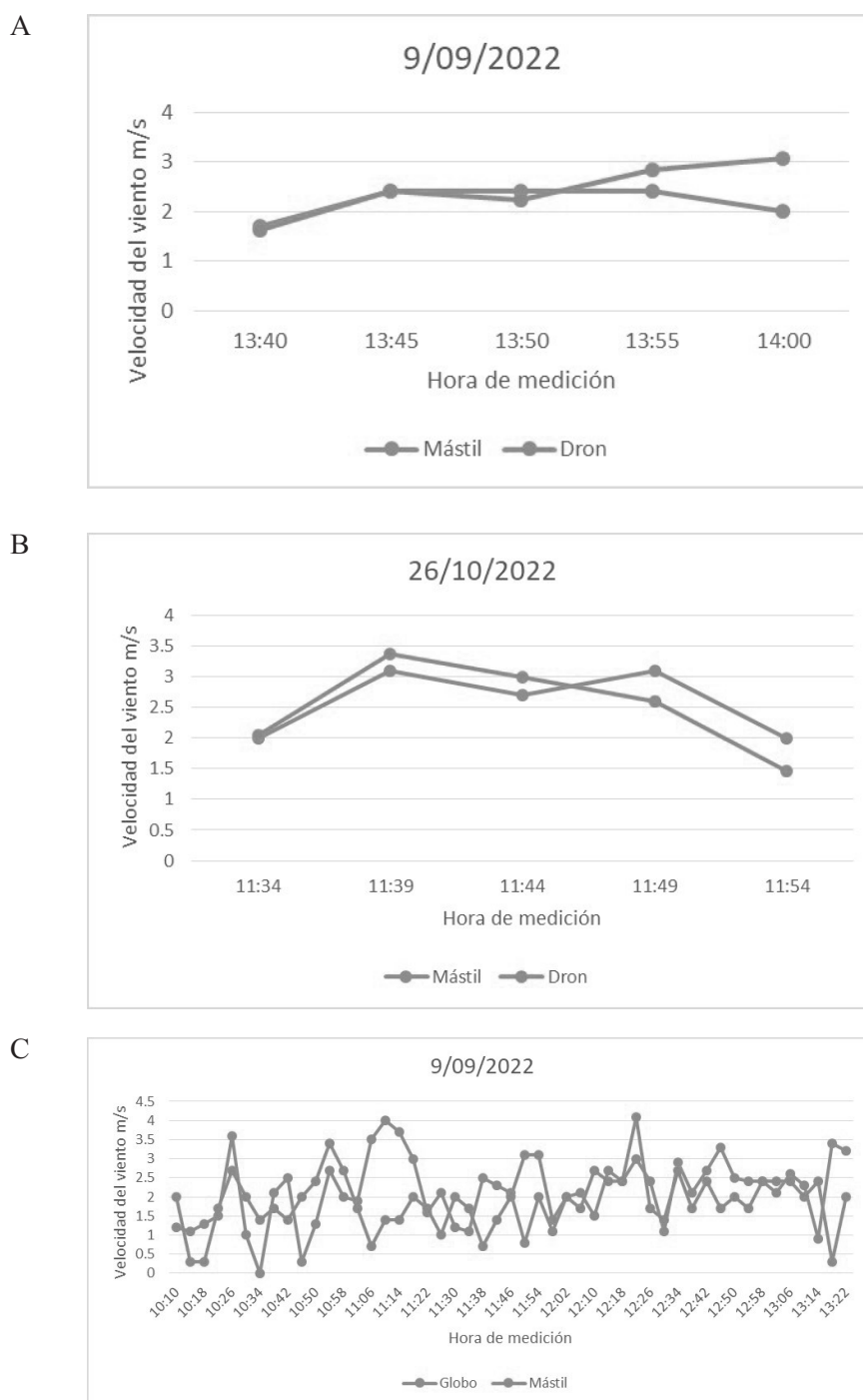
En la imagen de la Figura 2, se observan las variaciones entre ambos sistemas, mucho de esto se debe a las debilidades del sistema elevado por globos inflados con helio, ya que en los monitoreos realizados, existió influencia del viento de forma directa sobre la posición de los globos, lo que provocó durante periodos de presencia de ráfagas de viento o la existencia de fuerzas, provocadas por el empuje del viento mayores a la capacidad de sustentación del sistema, que el anemómetro descendiera de la altura de medición y de esta forma los datos recuperados por el anemómetro acoplado a los globos, muestren valores fuera del marco de referencia que es el instrumento fijo en el mástil.

Como complemento a la información descrita en las comparaciones de gráficos lineales, se tiene en la Figura 3 las rosas de viento para algunos días de monitoreo con el sistema elevado por globos. A diferencia de las representaciones de este tipo con el sistema montado en el dron, acá se contó con más datos por jornada de medición. Como se aprecia en las rosas del día 27 de octubre, los cambios en magnitud de la rapidez proyectados no difieren en gran medida. En oposición con lo representado en la rosa del día 21 de octubre donde es posible observar cambios tanto en magnitud como dirección del viento.

El análisis detallado de la comparación entre las tecnologías experimentadas, se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 1*Resumen de las pruebas de diferencia entre medias*

Muestra	Fecha	Hora	Medias		Resultado
			Dron	Mástil	Prueba de diferencia entre medias
1	5/09/2022	14 hrs	2.2	2.946	Son estadísticamente iguales las medias.
2	7/09/2022	11 hrs	1.97	1.96	Son estadísticamente iguales las medias.
3	7/09/2022	14 hrs	9.732	0.46	No son estadísticamente iguales las medias
4	8/09/2022	11 hrs	2.526	1.9	Son estadísticamente iguales las medias.
5	8/09/2022	15 hrs	5.842	1.24	Son estadísticamente iguales las medias.
6	9/09/2022	11 hrs	4.03	2.55	Son estadísticamente iguales las medias.
7	9/09/2022	14 hrs	2.442	2.18	Son estadísticamente iguales las medias.
8	19/09/2022	11 hrs	14.36	0.66	No son estadísticamente iguales las medias
9	6/10/2022	11 hrs	6.712	2.1	No son estadísticamente iguales las medias
10	6/10/2022	14 hrs	8.334	1.04	No son estadísticamente iguales las medias
11	7/10/2022	11 hrs	1.97	1.28	Son estadísticamente iguales las medias.
12	21/10/2022	11 hrs	1.662	1.72	Son estadísticamente iguales las medias.
13	21/10/2022	14 hrs	6.656	0.14	Son estadísticamente iguales las medias.
14	26/10/2022	11 hrs	2.492	2.58	Son estadísticamente iguales las medias.
15	26/10/2022	15 hrs	7.564	0.62	Son estadísticamente iguales las medias.
16	27/10/2022	11 hrs	4.106	2.04	No son estadísticamente iguales las medias
Análisis			El 68.75% de las pruebas son estadísticamente iguales		
	Fecha	Hora	Globo	Mástil	Prueba de diferencia entre medias
1	7/09/2022	de 9 a 15 hrs	1.3726	1.0935	No son estadísticamente iguales las medias
2	9/09/2022	de 10 a 13 hrs	2.1122	1.9142	Son estadísticamente iguales las medias.
3	21/10/2022	de 13 a 16 hrs	0.6594	0.6428	Son estadísticamente iguales las medias.
4	26/10/2022	de 12 a 16 hrs	1.1113	0.8585	No son estadísticamente iguales las medias
5	27/10/2022	de 12 a 16 hrs	1.75	1.377	No son estadísticamente iguales las medias
Análisis			El 40 % de las pruebas son estadísticamente iguales		

Figura 2*Gráficas lineales para comparación de datos*

Nota. Panel A: datos comparación mástil-dron, Panel B: datos comparación mástil-dron, Panel C: datos comparación mástil-globo

Gráficas tipo rosa de viento para comparación de datos

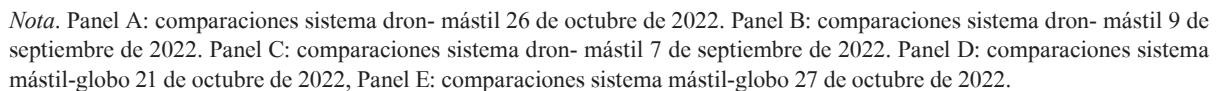


Tabla 2
Análisis comparativo entre los sistemas experimentados

Sistema de medición Comparación	Medición por mástil	Medición por elevación con globos inflados con helio	Medición por elevación con dron
Aplicación en monitoreo eólico	El sistema de monitoreo por mástil tiene la ventaja, una vez instalado, de no requerir mayor control o cuidado; la captura de los datos puede realizarse cada semana o mes de buena forma (según el modelo de anemómetro empleado en el sistema). Por esta razón se emplea como la mejor opción para el monitoreo eólico.	Este sistema puede emplearse de buena forma en sitios costeros donde la temperatura es elevada (esto reduce la probabilidad de contracción del gas helio dentro de los globos) y existen pocas limitaciones en objetos que puedan atascar la línea de anclaje.	El sistema con dron puede utilizarse sin necesidad de un sitio específico de anclaje, pero requiere de una energización continua para monitoreo eólico, esto puede solventarse en cierta medida, con el uso de más baterías o más drones para una misma jornada de medición, de esta forma se reducen los tiempos muertos.
Mediciones	Solo pueden realizarse en una altura y sitio específico. Las mediciones son confiables en valores obtenidos.	Puede moverse fácilmente, cambiar la altura y sitio de la medición. Las mediciones pueden diferir de los datos reales ya que el empuje de los globos se ve afectado por ráfagas de viento horizontal.	No son posibles mediciones continuas, debido al tiempo de vuelo útil de la batería del dron.
Cambios en el diseño planteado	Se inició el proyecto con la propuesta de tubería de acero para el mástil, sin embargo se estimó que el peso total de la estructura sería demasiado para la instalación y traslado de los materiales al sitio seleccionado de monitoreo, por lo que se decidió utilizar tubería de aluminio y de esta forma reducir el peso en casi dos tercios.	Se había proyectado elevar el anemómetro con un solo globo inflado con helio, pero debido a la posibilidad de explosión del globo y su vida útil durante una jornada de medición, se determinó que la opción más adecuada era emplear más globos de menor tamaño. Esto redujo los problemas de explosión en el aire, ya que se puede recuperar de forma más simple un globo de varios disponibles, además, los globos ensayados de látex, cumplen de buena forma una jornada completa de medición de 8 horas.	Al inicio se planteó la idea de montar el anemómetro PCE A420 sobre un dron, pero al realizar las pruebas de intento de vuelo, se logró determinar que el dron no podía elevar el anemómetro antes mencionado, por lo que se decidió cambiar el modelo de anemómetro por uno PCE ADL 11, el cual pesa dos tercios menos que el A420. Este anemómetro si logra elevarse con el uso del dron DJI Mavic 3.

Tabla 2 (continuación)

Sistema de medición Comparación	Medición por mástil	Medición por elevación con globos inflados con helio	Medición por elevación con dron
Aplicaciones diversas	Es limitado ya que requiere de una base para la instalación y sitios de anclaje para cables sensores.	Mediciones de la velocidad del viento con un cambio de altura rápido. Esto debido a que solo se requiere de una línea de anclaje más larga para darle mayor elevación al instrumento.	Aplicaciones de medición de velocidad del viento en sitios de difícil acceso, sobre el mar o lagos, también, muy cerca de infraestructuras.
Altura de medición	10 y 15 m, no se realizaron pruebas a mayor altura de armado, ya que requiere de un armado mayor para alcanzar más altura.	10 y 15 m, puede lograrse más siempre que el área de medición esté libre de obstáculos, para evitar que se atasque la línea de sujeción.	10 y 15 m, puede lograrse más, siempre que no se supere el alcance del control remoto del dron y se respeten las rutas aéreas.
Instalación	El mástil se puede armar con materiales no convencionales (aluminio), esto reduce el peso del traslado del mástil al sitio de instalación. De forma ordinaria se emplea acero galvanizado o estructuras armadas en acero. Se necesita de una base sólida y sitios de anclaje para cables sensores.	Se requiere de una línea anclada al suelo, un anclaje y espacio abierto para movimientos en todas direcciones.	No se requiere de alguna instalación específica, pero si requiere de un sitio libre de rutas aéreas para las mediciones de velocidad del viento.
Problemas con el entorno y el clima	La transmisión de datos se ve afectada por la alta humedad ambiental, con el equipo ensayado (anemómetro PCE FWS 20N), en algunos días de medición con mucha lluvia durante el día, no se logró recuperar datos.	Los globos inflados con helio son susceptibles a las temperaturas menores a 23 °C, ya que a baja temperatura los gases se contraen, lo que provoca una pérdida en la capacidad de elevación del anemómetro. Los efectos del empuje del viento horizontal, provoca que los globos bajen su nivel de elevación, por lo tanto, el anemómetro baja su altura de medición y algunas mediciones no son válidas durante la toma de datos.	El dron no puede emplearse con alta concentración de humedad y presencia de lluvia, debido a la naturaleza de los componentes electrónicos que lo constituyen. Ráfagas muy fuertes de viento pueden desviar la ubicación del dron, respecto al sitio de medición, de igual forma esto resta tiempo de vuelo útil durante la medición. La presencia de aves que vuelan cerca del sitio de medición, puede provocar colisiones accidentales y daños tanto para la fauna como para el dron.

Tabla 2 (continuación)

Sistema de medición Comparación	Medición por mástil	Medición por elevación con globos inflados con helio	Medición por elevación con dron
Dificultades técnicas	Perdida de datos en algunos días de medición por falta de buena conectividad entre el Logger y la computadora.	El anemómetro ensayado PCE A420, solo permite lectura de datos de forma manual, es decir se requiere leer directamente de la pantalla del instrumento, para obtener información. Este anemómetro también fue automatizado para la captura de los datos durante la jornada de medición ya que ordinariamente era manual para la captura de datos.	El dron ensayado (DJI Mavic 3) tiene una autonomía de vuelo de 25 min con la batería totalmente cargada, luego requiere de 80 min para recarga. No fue posible comprobar la energización desde tierra del equipo debido a que la batería del dron es “inteligente”, esto provoca que mientras se carga no puede usarse en vuelo, además, la línea de carga puede provocar que se atore en las aspas de las hélices y también provocaría lastre durante el vuelo, lo que reduciría la vida útil de los motores del dron.
Costos aproximados de los sistemas ensayados	Q 11 200.00	Q 5 800.00	Q 26 000.00

Discusión

Debe establecerse que se observan variaciones entre las mediciones de los sistemas elevados por globo y el sistema por mástil, esto se considera que se debió a las debilidades del sistema elevado por globos inflados con helio, ya que en los monitoreos realizados existió influencia del viento de forma directa sobre la posición de los mismos, lo que provocó durante periodos de presencia de ráfagas de viento o la existencia de fuerzas, provocadas por el empuje del viento mayores a la capacidad de sustentación del sistema, que el anemómetro descendiera de la altura de medición y de esta forma los datos recuperados por el anemómetro acoplado a los globos, muestren valores fuera del marco de referencia que es el instrumento fijo en el mástil (véase la Figura 2).

En términos de diferencia y similitudes con otras investigaciones es posible mencionar que para el sistema de monitoreo con el uso de drones y comparación con instrumentos montado en mástiles han sido estudiados por Chong y colaboradores (2020), Crowe y colaboradores (2020), González-Rocha y colaboradores (2019), donde emplearon la comparación de las mediciones con un mástil a 10 metros de altura. Por su parte Simma y colaboradores (2020), realizaron comparaciones con un mástil de 3 metros de altura y Vasiljević y colaboradores (2020), desarrollaron su estudio con la comparación a 18, 31, 44, 57 y 70 metros de altura; Wetz y colaboradores (2021) compararon información con mediciones a 50 y 90 metros; y Varentsov y colaboradores (2021) realizaron la comparación a 15 metros. A partir de la información consultada se logró establecer que, a pesar que en el presente estudio se realizaron mediciones a 10 metros, las cuales podrían compararse con otros estudios a la misma altura, existen diferencias. Lo primero es que en las investigaciones previas, no existen desarrollos experimentales en la misma ubicación geográfica, Chong y colaboradores (2020) en Corea del Sur y Crowe y colaboradores (2020) en Estados Unidos; en el mismo año y con la misma duración de monitoreo. Esto es relevante, ya que según lo expuesto por González-Rocha y colaboradores (2019) “la variabilidad de los datos obtenidos del viento depende también de la ubicación geográfica y las condiciones del terreno” (p. 2); lo segundo es que los investigadores que compararon los datos recuperados con el montaje de instrumentos sobre drones, no emplearon el mismo modelo de dron o anemómetro, además que las tecnologías de los instrumentos fueron diferentes.

En el caso de los estudios que emplearon instrumentos acoplados o montados en la aeronave es posible mencionar que Zheng-nong y colaboradores (2021), Sasaki y colaboradores (2021), Wearmouth (2022). Ingenhorst y colaboradores (2021), Wolf y colaboradores (2017), Chong y colaboradores (2020), que utilizaron anemómetros sónicos; Hattenberger y colaboradores (2022) y Rudiyanto y colaboradores (2020), emplearon un anemómetro de hilo caliente, Vasiljević y colaboradores (2020) realizaron su experimentación con el uso de radares LiDAR. Por lo que, a pesar que deberían ser mediciones similares, las tecnologías empleadas en los instrumentos influyen de forma directa en las mediciones, y debido a que en el presente estudio se buscó que las mediciones de la rapidez del viento fueran lo más cercanas posibles a las solicitudes reales de estos estudios, se requirió el empleo de un anemómetro de cazoletas. El único registró que se ubicó sobre el uso de anemómetros de cazoletas montados en aeronaves, fue por parte de Riddell (2014), sin embargo, en su estudio empleo un helicóptero a control remoto para las mediciones y no un dron como tal.

Según Prudden y colaboradores (2018), la instalación de anemómetros de cazoletas es dificultosa en aeronaves no tripuladas, debido a la interferencia de los efectos dinámicos de sus piezas móviles. A pesar de esto, los resultados de la investigación demuestran la factibilidad de instalar un anemómetro de cazoletas lo suficientemente liviano (PCE ADL 11) en un dron comercial (DJI Mavic 3) y también la posibilidad de obtener datos de rapidez del viento aceptables.

Otro factor de relevancia es el tiempo de vuelo para cada muestreo. Como menciona Avanzini y colaboradores (2016), las aeronaves de este tipo, pueden llegar a volar con mayor tiempo si se logran avances en el almacenamiento de energía. Prudden y colaboradores (2018) realizaron mediciones con una duración de entre 12 y 15 min, Ingenhorst y colaboradores (2021) con 25 min, Meier y colaboradores (2022) con 3 min, Crowe y colaboradores (2020) con 13 min, Zimmerman (2022) 10 min, Wetz y colaboradores (2021) 17 min y Chong y colaboradores (2020) 20 min. Con base en estos resultados, se puede afirmar que el tiempo de vuelo de los drones para monitoreo del viento es limitado a un promedio de 15 min, de forma independiente del modelo de aeronave y tecnología empleada. Al respecto también Mulgaonkar y colaboradores (2014) describe que los tiempos promedio de vuelo efectivo de este tipo de tecnologías, es de 15 a 20 min y los resultados del presente estudio alcanzaron los 25 min de vuelo

efectivo, por lo que el tiempo logrado con el uso del dron DJI Mavic 3 es aceptable.

En el caso del manejo de los resultados y su representación, autores como Varentsov y colaboradores (2021), Wolf y colaboradores (2017), Simma y colaboradores (2020), Vasiljević y colaboradores (2020), Hattenberger y colaboradores (2022), Ingenhorst y colaboradores (2021), Meier y colaboradores (2022), Rudiyanto y colaboradores (2020), Zimmerman (2022) emplearon gráficas lineales para comparar los datos de las mediciones obtenidas con el uso de drones y los datos de mástiles fijos. La diferencia con la forma en que se representaron los datos en este estudio fue la frecuencia de los mismos, ya que la mayoría de estudios consultados manejaron frecuencias de segundos, mientras que en la presente investigación se utilizó una frecuencia de 5 min para el caso de las comparaciones con el sistema montado con el dron y 4 min para la comparación con el sistema elevado por medio de globos inflados con helio. Las investigaciones más cercanas fueron la de Crowe y colaboradores (2020), que manejó una frecuencia de 2 y 5 min en sus gráficas, además, el estudio de Wetz y colaboradores (2021), con una frecuencia de un minuto. González-Rocha y colaboradores (2019) empleó tanto gráficas lineales como Rosas de viento para la comparación de los resultados, aunque el autor no menciona el tipo de software para el tratamiento de los datos. Con base en lo expuesto, se estableció que el manejo de los datos en la presente investigación, fue adecuado en la forma de comparar los resultados en los diversos sistemas.

Por último en la comparación de los sistemas de medición del viento elevados por medio de globos, a pesar que González-Rocha y colaboradores (2019), Wolf y colaboradores (2017), Sasaki y colaboradores (2021) y Riddell (2014), mencionan que el sistema de monitoreo con el empleo de globos es convencional y caro, solo se reportan dos estudios que desarrollaron el tipo de comparación que se ha alcanzado en la investigación que se presenta.

Varentsov y colaboradores (2021), generaron un estudio con el uso de un globo meteorológico para la elevación de instrumentos de medición de las condiciones del viento, sin embargo, no lo anclaron al suelo, lo dejaron ir como un globo ordinario de meteorología y se rastrearon los resultados por medio de GPS.

Lyasota (2013), por su parte desarrolló un prototipo de monitoreo eólico con el uso de un anemómetro ultrasónico instalado en la línea de anclaje de un globo cautivo al suelo, el cual fue elevado a 150 y 23 m.

Con esto, comparó los datos recuperados de un anemómetro de cazoletas instalado en una turbina eólica cercana y el anemómetro instalado en la línea del globo cautivo. Las diferencias de las medias de las velocidades del viento reportadas, para dos jornadas de monitoreo fueron de 3,5 m/s y 2,5 m/s, en el caso del tiempo de muestreo fue de minutos por cada jornada.

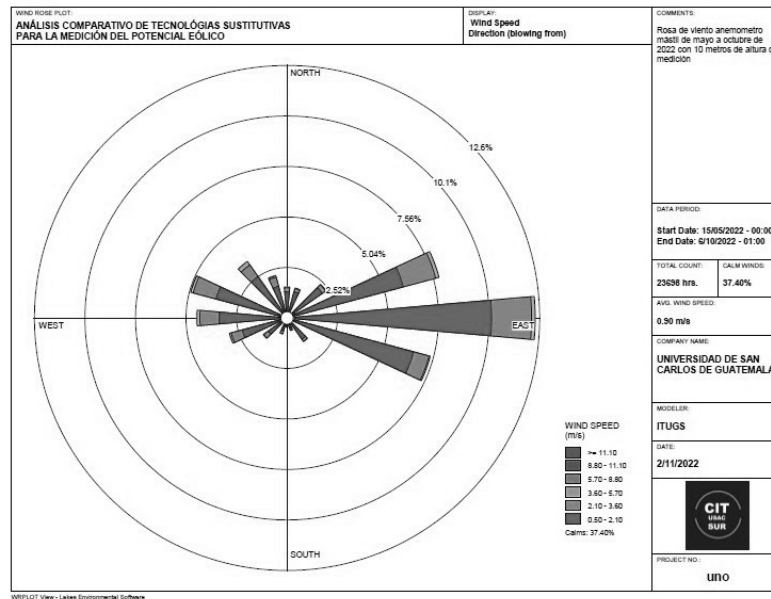
Al comparar los resultados con las medias de cinco jornadas obtenidas en el presente estudio, se obtuvieron diferencias de 0.28, 0.20, 0.01, 0.26 y 0.38 m/s, con la consideración que las pruebas se realizaron a alturas de 10 y 15 m, con jornadas de medición de 3 a 6 horas y una frecuencia de muestreo de 4 min. Se pudo establecer que influye de forma directa el uso de instrumentos similares y jornadas de tiempo más amplias, con la finalidad de obtener más datos representativos.

Debido a que el potencial eólico requiere de un tiempo prolongado para ser un dato aceptado en un sitio en particular, se consideran los resultados de las mediciones con el uso del anemómetro instalado en el mástil y se descartan los datos obtenidos con los otros sistemas ensayados, ya que carecen de una continuidad en la medición. En la Figura 4 se observa la rosa de viento producto del monitoreo de seis meses (mayo a octubre de 2022) a una altura de 10 m. Con una velocidad promedio resultante de 0.90 m/s y densidad del aire de 1.29 kg/m³, se obtuvo una potencia calculada para el viento de 0.94041 W/m².

Para finalizar se puede concluir con lo siguiente, el sistema de monitoreo por mástil se ratifica como el sistema más recomendable para los fines de medición del potencial eólico en un sitio en particular, esto se debe a la confiabilidad de la información recolectada y la capacidad del sistema de continuar con las mediciones en tiempos adecuados, el sistema de monitoreo por globos elevados con helio, tiene el potencial para ser explorado con mayor detenimiento e interés, ya que las ventajas muestran posibles aplicaciones para la medición de la rapidez del viento de forma rápida y simple, durante una jornada aceptable, siempre que las condiciones climáticas y del sitio a monitorear lo permitan, el sistema de monitoreo con el uso del dron, es el más estudiado como solución opcional para la medición de la rapidez del viento, pero carece de la continuidad en su energización y aplicación específica, por lo que el desarrollo de este tipo de aeronaves para medición de la rapidez del viento y el rendimiento en vuelo de la misma, deben continuar como interés en futuras investigaciones.

Figura 4

Rosa de viento producto de las mediciones en el mástil



Nota. Mediciones realizadas del mes de mayo al mes de octubre de 2022, a una altura de 10 metros, en el sitio seleccionado de las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Agradecimientos

A las autoridades del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur ITUGS, por facilitar el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Erick Fino, por su apoyo para la automatización del anemómetro PCE A420 en el área de Electrónica del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.42.0.81 con código AP9CU-2022 en el Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: SA-L

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: SA-L

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: SA-L

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: SA-L

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: SA-L

Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través de doi: <https://doi.org/10.36829/63CTS.v11i1.1560>

Referencias

- Avanzini, G., de Angelis, E.L., Giulietti, F. (2016). Optimal performance and sizing of a battery-powered aircraft. *Aerospace Science and Technology*, 59, 132-144. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2016.10.015>

- Asea Brown Boveri & ABB, S. (2012). *Cuaderno de aplicaciones técnicas no. 12 Plantas eólicas*.
- Chong, J., Lee, S., Shin, S., Hwang, S. E., Lee, Y., & Kim, S. (2020). Research on meteorological technology development using rotary multicopter unmanned aerial vehicles and its application. En *2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pp. 540-544. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/ICUAS48674.2020.9214037>
- Crowe, D., Pamula, R., Cheung, H. Y., & De Wekker, S. F. (2020). Two supervised machine learning approaches for wind velocity estimation using multi-rotor copter attitude measurements. *Sensors*, 20(19), Artículo 5638. <https://doi.org/10.3390/s20195638>
- Giebel, G., Schmidt Paulsen, U., Bange, J., la Cour-Harbo, A., Reuder, J., Mayer, S., van der Kroonenberg, A., & Mølgaard, J. (2012). Autonomous Aerial Sensors for Wind Power Meteorology - A Pre-Project. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R http://vbn.aau.dk/files/60873544/PSOAerialSensors_FinalReport.pdf
- Google Earth (s.f.) Ubicación Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur. Recuperado el 16 de agosto de 2023. <https://earth.google.com/web/@14.37337632,-90.72128957,988.59138873a,29.90782664d,35y,-68.77752262h,69.98747482t,0r/data=CgRCAggB>
- González-Rocha, J., Woolsey, C. A., Sultan, C., & De Wekker, S. F. J. (2019). Sensing wind from quadrotor motion. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 42(4), 836-852. <https://doi.org/10.2514/1.G003542>
- Thé, J. van G., Johnson, M., Shatalov O., & Smotrikov, V. (2018). *WRPLOT View* (version 8.0.2.) [Software]. Lakes environmental software. <https://www.weblakes.com/software/freeware/wrplot-view/>
- Hattenberger, G., Bronz, M., & Condomines, J. P. (2022). Estimating wind using a quadrotor. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 14, <https://doi.org/10.1177/17568293211070824>
- Ingenhorst, C., Jacobs, G., Stöbel, L., Schelenz, R., & Juretzki, B. (2021). Method for airborne measurement of the spatial wind speed distribution above complex terrain. *Wind Energy Science*, 6(2), 427-440. <https://doi.org/10.5194/wes-6-427-2021>
- López, M. V. (2012). *Ingeniería de la energía eólica* (Vol. 5). Marcombo.
- Lyasota, A. (2013). *Sistema de medición de las características del viento en altura a base de globo cautivo* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2099.1/17353>
- Meier, K., Hann, R., Skaloud, J., & Garreau, A. (2022). Wind Estimation with Multirotor UAVs. *Atmosphere*, 13(4), 551. <https://doi.org/10.3390/atmos13040551>
- Moro Vallina, M. (2013). *Tecnología industrial I*. Ediciones Paraninfo.
- Mulgaonkar, Y., Whitzer, M., Morgan, B., Kroninger, C. M., Harrington, A. M., & Kumar, V. (2014, June). Power and weight considerations in small, agile quadrotors. In *Micro-and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications VI* (Vol. 9083, pp. 376-391). Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. <https://doi.org/10.1117/12.2051112>
- Prudden, S., Fisher, A., Marino, M., Mohamed, A., Watkins, S., & Wild, G. (2018). Measuring wind with small unmanned aircraft systems. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 176, 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.03.029>
- Rudiyanto, B., Hariono, B., & Budiprasojo, A. (2020). Quadcopter Surveyor Drone Wind Velocity Data Characteristic for Optimal Hotwire Sensor Position. *Proceedings of Journal of Physics: Conference Series*, 1569(3), Artículo 032096. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/3/032096>
- Riddell, K. D. A. (2014). *Design, testing and demonstration of a small unmanned aircraft system (SUAS) and payload for measuring wind speed and particulate matter in the atmospheric boundary layer* (Publication Number: AAT 1569498) [Tesis de maestría, University of Lethbridge]. <https://opus.uleth.ca/server/api/core/bitstreams/f225ae93-0323-4e33-a06a-d74b2a5a43f0/content>

- Sasaki, K., Inoue, M., Shimura, T., & Iguchi, M. (2021). In Situ, Rotor-Based Drone measurement of wind vector and aerosol concentration in volcanic areas. *Atmosphere*, 12(3), 376. <https://doi.org/10.3390/atmos12030376>.
- Simma, M., Mjøen, H., & Boström, T. (2020). Measuring wind speed using the internal stabilization system of a quadrotor drone. *Drones*, 4(2), Artículo 23. <https://doi.org/10.3390/drones4020023>.
- Varentsov, M., Stepanenko, V., Repina, I., Artamonov, A., Bogomolov, V., Kuksova, N., Marchuk, E., Pashkin, A., & Varentsov, A. (2021). Balloons and quadcopters: Intercomparison of two low-cost wind profiling methods. *Atmosphere*, 12(3), Artículo 380. <http://doi.org/10.3390/atmos12030380>
- Vasiljević, N., Harris, M., Tegtmeier Pedersen, A., Rolighed Thorsen, G., Pitter, M., Harris, J., Bajpai, K., & Courtney, M. (2020). Wind sensing with drone-mounted wind lidars: proof of concept. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(2), 521-536, <https://doi.org/10.5194/amt-13-521-2020>
- Vega de Kuper, J. C., & Ramírez Morales, S. (2014). *Fuentes de energía: Renovables y no renovables aplicaciones*. Alpha Editorial.
- Wearmouth, C. (2022). *Flying anemometers: Performance assessment of a miniaturized sonic anemometer for measuring wind from a drone* [Tesis de maestría, University of Calgary]. <http://dx.doi.org/10.11575/PRISM/39576>
- Weather Spark (s.f.) Clima y tiempo promedio durante todo el año en Palín. Recuperado el 16 de agosto de 2023. <https://weatherspark.com/y/11666/Average-Weather-in-Pal%C3%ADn-Guatemala-Year-Round>.
- Wetz, T., Wildmann, N., & Beyrich, F. (2021). Distributed wind measurements with multiple quadrotor unmanned aerial vehicles in the atmospheric boundary layer. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(5), 3795-3814. <https://doi.org/10.5194/amt-14-3795-2021>.
- Wolf, C. A., Hardis, R. P., Woodrum, S. D., Galan, R. S., Wichelt, H. S., Metzger, M. C., Bezzo, N., Lewin, G., & de Wekker, S. F. (2017). Wind data collection techniques on a multi-rotor platform. En *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)* (pp. 32-37). <https://doi.org/10.1109/SIEDS.2017.7937739>
- Zheng-nong, L. I., Hao, F. E. N. G., Ou, P. U., & Yijun, S. H. E. N. (2021). Boundary layer wind profile measurement based on a six-rotor UAV anemometer. *Engineering Mechanics*, 38(8), 121-132. <https://doi.org/10.6052/j.issn.1000-4750.2020.08.0553>
- Zimmerman, S. (2022). *Development of a disturbance observer for wind estimation by multirotor drone using machine learning* [Tesis de maestría, University of British Columbia]. <https://doi.org/10.14288/1.0413698>

Síntesis y caracterización de dos materiales azo: Comparación entre un compuesto sulfonado y su análogo no sulfonado

Synthesis and characterization of two azo materials: Comparison between sulfonated and its non-sulfonated analogue

Byron López-Mayorga ^{1*}, Edward M. A. Guerrero-Gutiérrez ², Allan Vásquez-Bolaños ¹,
José Castillo-Arroyave ¹, Heriberto Pfeiffer ³

¹Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala

²Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

³Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México

*Autor al que se dirige la correspondencia: lopez.byron@usac.edu.gt

Recibido: 10 de junio 2023 / Revisión: 18 de octubre 2023 / Aceptado: 19 de abril 2024

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo la síntesis y caracterización de dos nuevos materiales azo obtenidos mediante una reacción clásica de diazotización. El primer material (A1) se sintetizó a partir de la reacción entre fluoroglucinol con *p*-fenilendiamina, mientras que el segundo (A2) se obtuvo a partir de la reacción entre fluoroglucinol con ácido 2,5-diaminobencensulfónico. Estos materiales fueron caracterizados químicamente mediante espectroscopia infrarroja (FTIR-ATR). Adicionalmente, se evaluó su estabilidad térmica por medio análisis termogravimétrico (TGA) y su estructura cristalina, utilizando difracción de rayos X de polvos (XRD). Los resultados muestran que A2 posee una mayor capacidad de absorción de agua atribuible a los grupos sulfónicos. Además, ambos materiales empiezan a degradarse a partir de los 140 °C y son de naturaleza amorfa, con un área de superficie menor a 1 m²g⁻¹. Destaca que A2 posee hasta un orden de magnitud mayor que A1 para la absorción de N₂. Ambos materiales mostraron características de adsorción de nitrógeno de isoterma tipo III, lo que sugiere bajas energías de interacción y propiedades de materiales no porosos.

Palabras clave: Grupo sulfónico, histéresis, compuesto azo, degradación térmica

Abstract

This research aimed at the synthesis and characterization of two new azo materials obtained through a classical diazotization reaction. The first material (A1) was synthesized via the reaction between fluoroglucinol and *p*-phenylenediamine, while the second material (A2) was obtained from the reaction between fluoroglucinol and 2,5-diaminobenzenesulfonic acid. These materials were chemically characterized using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR-ATR). Additionally, their thermal stability was evaluated through thermogravimetric analysis (TGA), and their crystalline structure was determined using powder X-ray diffraction (XRD). The results indicate that A2 exhibits a higher water absorption capacity attributable to sulfonic groups. Furthermore, both materials initiate degradation above 140 °C and exhibit an amorphous nature with a surface area less than 1 m²g⁻¹. It is noteworthy that A2 possesses an order of magnitude higher to absorb N₂ than A1. Both materials showed type III isotherm nitrogen adsorption characteristics, suggesting low interaction energies and properties of non-porous materials.

Keywords: Sulfonic group, hysteresis, azo compound, thermal degradation



Introducción

El desarrollo de nuevos materiales ha ido en auge por la demanda de distintas aplicaciones en diversas áreas, como dispositivos optoelectrónicos, semiconductores (Murad et al., 2020), interruptores (Mandal et al., 2019), materiales con actividad óptica (Selivanova, 2021), detectores de contaminantes (Tajik et al., 2021), adsorbentes de metales (Zhao et al., 2018), y de moléculas orgánicas persistentes que han contaminado y ocasionan un peligro para la salud humana y los ecosistemas (Lorenzo et al., 2018).

En consecuencia, existe una creciente demanda de nuevos materiales que tengan capacidad para resolver las principales problemáticas que enfrenta cada país y permitan alcanzar varios de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS): salud y bienestar (ODS 3), agua limpia y saneamiento (ODS6) e industria, innovación e infraestructura (ODS 9).

Los materiales azo-aromáticos han demostrado ser muy interesantes para intentar resolver dichos problemas (Ho et al., 1996). Estos materiales se pueden obtener por medio de una reacción clásica de diazotización (Ansari et al., 2020) o utilizando un acoplamiento oxidativo (Li et al., 2015; Wang et al., 2014); siendo estos dos métodos los empleados principalmente para su síntesis. Estudios han introducido distintos grupos funcionales a estos materiales permitiéndoles modular sus propiedades, entre los que se destaca su capacidad para retener contaminantes en agua (Shen et al., 2021; Wang et al., 2020). Dentro de los grupos funcionales prometedores, se encuentran los grupos sulfónicos. La incorporación de este grupo funcional en materiales se ha utilizado para modificar propiedades hidrofílicas (Guerrero-Gutiérrez, 2021), aumentar la cantidad de adsorción de dióxido de carbono (Wang et al., 2020), catálisis (Zhang & Riduan, 2012), membranas de intercambio iónico (Si & Samulski, 2008), materiales en celdas de combustible (Li et al., 2013) y en la elaboración de baterías (Zhao et al., 2022). Asimismo, modificando el área superficial de los materiales se mejoran sus propiedades para utilizarse en catálisis (Fröschl et al., 2012) o en adsorción de contaminantes (Awad et al., 2020). Una propiedad importante en los materiales es su cristalinidad. Este parámetro nos habla del grado de ordenamiento estructural, el cual se encuentra relacionado con las propiedades mecánicas del material. En general, la disminución en su cristalinidad se asocia con una reducción en la dureza, un aumento en sus propiedades como aislantes y una

mayor facilidad de su procesamiento a mayor escala (Meyers et al., 2006). Por último, la degradación térmica es importante para el estudio de las propiedades de los materiales a distintas temperaturas, su resistencia y durabilidad (Sánchez-Jiménez et al., 2009), en donde estudios han demostrado la importancia de la caracterización térmica en materiales azo (Hung & Pan, 2023; Kazem-Rostami, 2020).

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo de esta investigación fue la síntesis y caracterización de dos materiales azo que no han sido reportados en la literatura, obtenidos mediante una reacción clásica de diazotización; adicionalmente, realizar la comparación entre un material azo sulfonado y su análogo no sulfonado mediante el análisis de su cristalinidad, área superficial y degradación térmica. El material azo sulfonado (A2) se obtuvo a partir de fluoroglucinol y ácido 2,5-diaminobencensulfónico y el análogo no sulfonado (A1) de fluoroglucinol y *p*-fenilendiamina.

Materiales y métodos

Materiales

Los reactivos fluoroglucinol (Sigma-Aldrich®), ácido 2,5-diaminobencensulfónico 97% (Sigma-Aldrich®), *p*-fenilendiamina 98% (Sigma-Aldrich®) y nitrito de sodio (Sigma-Aldrich®), ácido clorhídrico 37% (Supelco®) y agua desmineralizada (Salvavidas®) fueron utilizados sin ninguna purificación o tratamiento previo.

Métodos

Síntesis de los materiales A1 y A2

La síntesis se realizó utilizando como referencia el trabajo de Wang y colaboradores (2020). Para la síntesis de A1 se utilizó 1.6 mmol de fluoroglucinol con 4.76 mmol de *p*-fenilendiamina (FEDA) con un rendimiento de 54%. Para A2 emplearon 1.03 mmol de fluoroglucinol con 1.44 mmol de ácido 2,5-diaminobencensulfónico (ADMS) con un rendimiento de 71%. Ambos rendimientos se calcularon en función de la masa asumiendo una relación 1:1.

Para iniciar la síntesis, FEDA se disolvió en 25 mL de una disolución acuosa con 1 mL de HCl concentrado utilizando un baño de hielo manteniendo

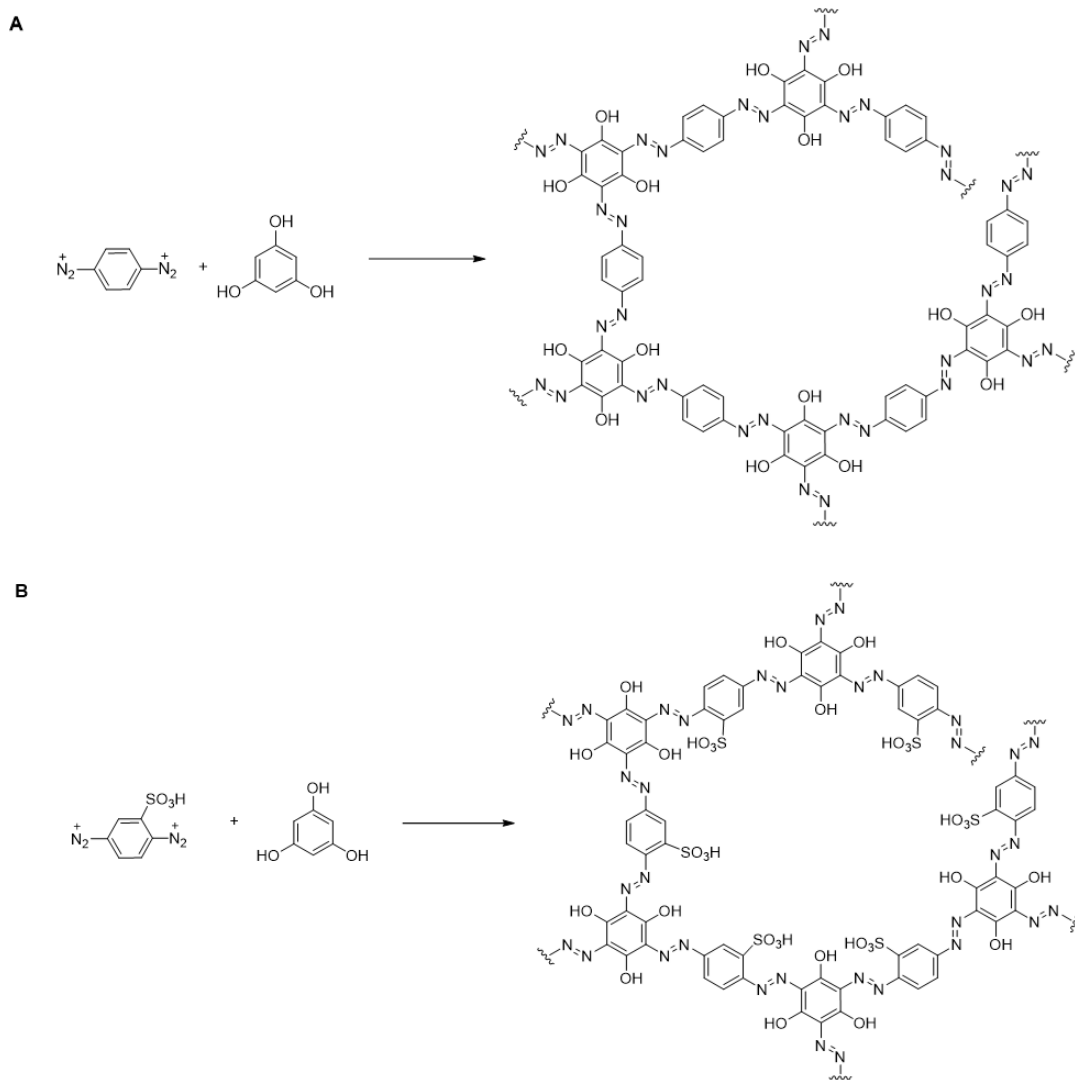
una temperatura no mayor a 4 °C. Luego se agregó lentamente 5.37 mmol de nitrito de sodio solubilizado con el mínimo de agua destilada (aprox. 2 mL). La mezcla de reacción se agitó por 30 min a la temperatura antes mencionada; posteriormente se agregó una mezcla alcalina (pH 12) de fluoroglucinol, agitándose durante 2 h. Posteriormente se llevó la mezcla a pH 3 agregando ácido clorhídrico y se dejó en reposo hasta la precipitación de un sólido negro, llevándose a sequedad y posteriormente lavando con agua acidulada

y etanol. Este mismo procedimiento se utilizó para la síntesis de A2 sustituyendo las cantidades de FEDA por las de ADMS. La Figura 1 panel A y B muestra la reacción de diazotización y las propuestas estructurales para A1 y A2, respectivamente.

Los materiales A1 y A2 son insolubles en disolventes orgánicos comunes (hexano, diclorometano, acetato de etilo, acetona), A1 es parcialmente soluble en agua a pH mayor a 10 y A2 es soluble en agua a pH mayor a 6.

Figura 1

Reacción de diazotización para la obtención de A1 (A) y A2 (B)



Nota. Panel A representa al azomaterial A1. Panel B representa al azomaterial A2

Caracterización de los materiales azo

La caracterización química de los materiales azo se obtuvo por medio de un FTIR-ATR Perkin Elmer Frontier con una celda de reflectancia total atenuada (ATR). Las muestras se colocaron sobre un ATR de diamante, luego el espectro infrarrojo se obtuvo utilizando 20 escaneos por muestra con una resolución de 0.4 cm^{-1} en un rango de 400 a 4000 cm^{-1} .

El comportamiento térmico de los materiales azo se determinó por medio de termogravimetría utilizando un equipo Q500 de TA Instruments. En cada experimento se emplearon muestras de 20-25 mg. Las temperaturas de degradación se determinaron después de calentar las muestras de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una velocidad de calentamiento de $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ en una atmósfera de nitrógeno.

La cristalinidad de los materiales azo se determinó con difracción de rayos X (XRD) de polvos. El análisis XRD se realizó utilizando un equipo D8, marca Bruker, con un tubo de $\text{Cu K}\alpha(1.541874\text{ \AA})$, con exploraciones de 5 a 80 (2θ).

El área superficial fue determinada mediante isothermas de adsorción de N_2 a 77 K , con un equipo Bel Japan Minisorp II, las muestras se desgasificaron durante 24 h en una línea de vacío, el área superficial se determinó utilizando el modelo BET.

Resultados

Caracterización de los materiales azo

Las Figuras 2 y 3 muestran los espectros obtenidos con FTIR-ATR para A1 y A2. Ambos materiales azo exhiben una banda ancha alrededor de los $3,300\text{ cm}^{-1}$ que corresponde a las interacciones por puentes de hidrógeno de los grupos fenólicos que se encuentran tanto en A1 como en A2 (Figura 2 y 3). Las bandas que se observan a $1,391$ y $1,386\text{ cm}^{-1}$ para A1 y A2 respectivamente, son atribuidas a estiramientos asimétricos del doble enlace $\text{N}=\text{N}$. Además, las bandas que aparecen a $1,597$ y $1,595\text{ cm}^{-1}$ (A1 y A2) se atribuyen al estiramiento asimétrico del doble enlace $\text{C}=\text{C}$ del anillo aromático. La Figura 3 muestra las señales características de los estiramientos $\text{S}-\text{O}$ del grupo sulfónico para A2 a $1,305$ y $1,157\text{ cm}^{-1}$. Al comparar A1 con FEDA (Figura 4), A1 presentó las señales características de los grupos azo a $1,391\text{ cm}^{-1}$, esta señal no aparece en el espectro obtenido de FEDA. La Figura 5 presenta la comparación entre el espectro de A2 y ADMS. A2 presentó las señales características de los grupos $\text{C}=\text{C}$ y $\text{N}=\text{N}$ a $1,595$ y $1,386\text{ cm}^{-1}$, respectivamente. Además, presentó las señales características correspondiente al grupo sulfónico y el grupo $\text{C}-\text{S}$.

Figura 2

Espectro de FTIR-ATR de A1

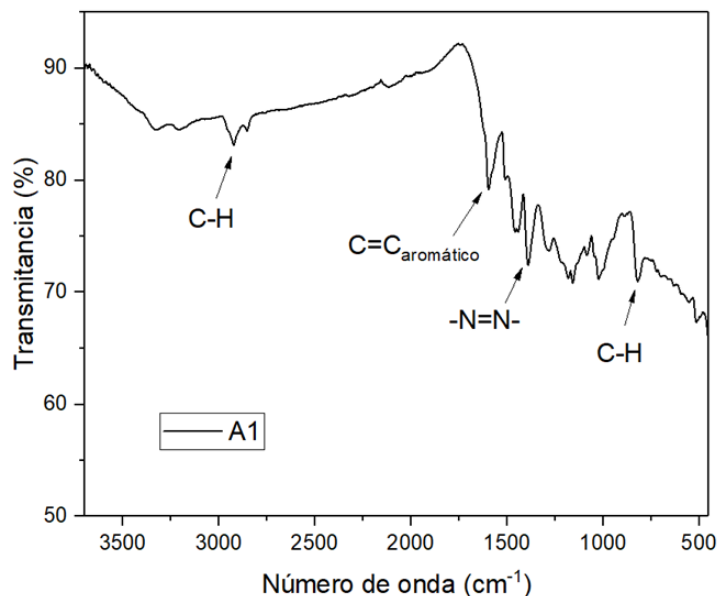


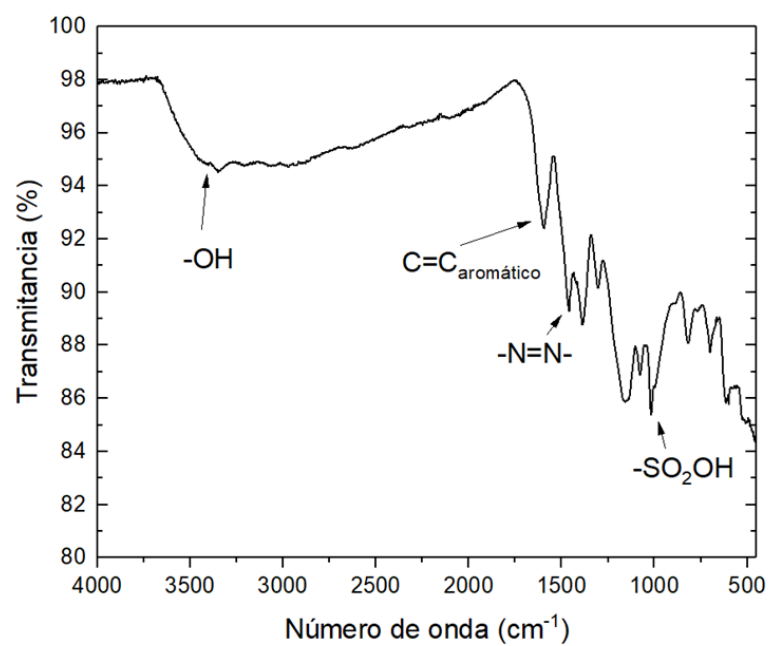
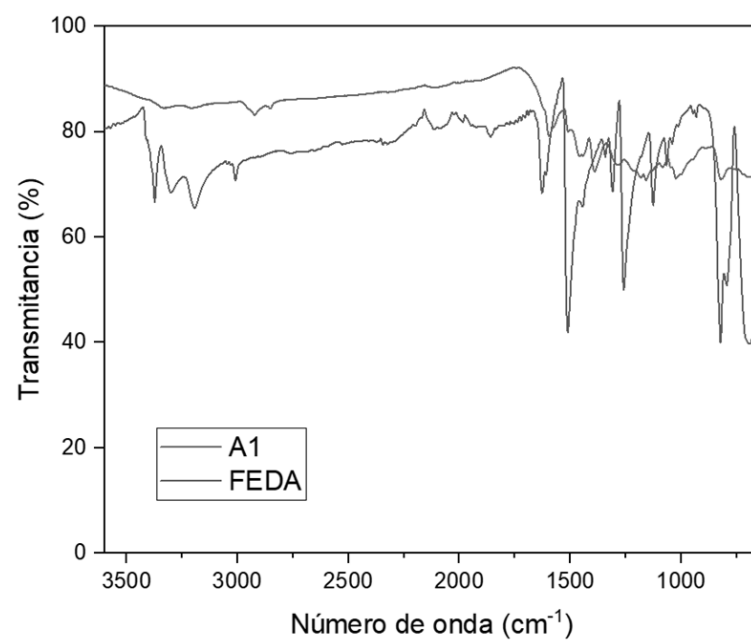
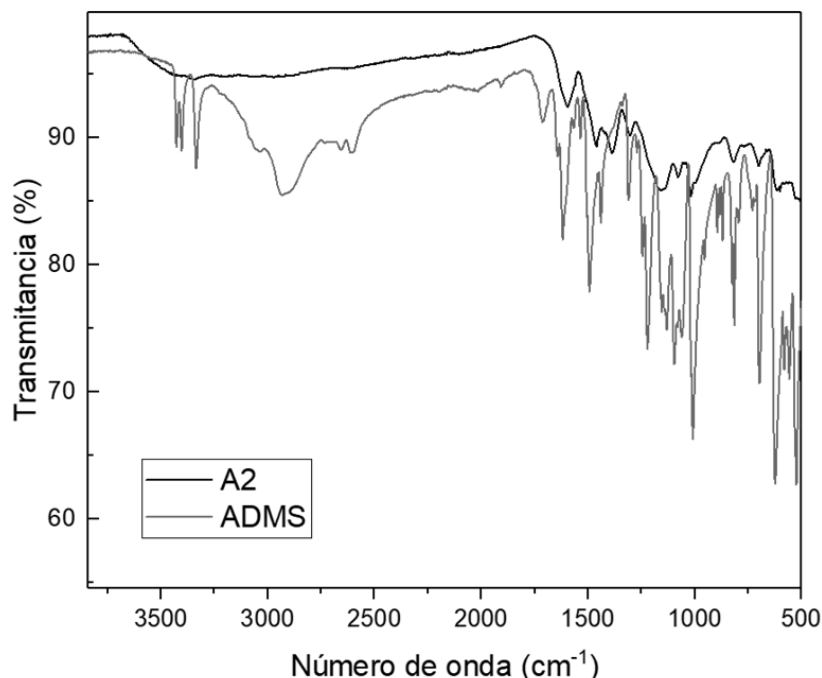
Figura 3*Espectro de FTIR-ATR de A2***Figura 4***Comparación de espectros FTIR de A1 con FEDA*

Figura 5*Comparación de espectros FTIR de A2 con ADMS*

a 1,305 y 615 cm^{-1} , respectivamente. Sin embargo, A2 tiene un corrimiento a números de onda menores con respecto a ADMS en la vibración de C=C y ácido sulfónico. La Tabla 1 muestra las señales características para FEDA, ADMS, A1 y A2.

Las fases cristalinas de los materiales azo fueron analizadas por medio de XRD. La Figura 6 muestra que A1 y A2 son amorfos, presentando una distribución variable con una señal principal ancha en un rango de ángulo 2θ entre 15 y 30 grados.

La degradación térmica de los materiales azo se analizó por medio de termogravimetría. La Figura 7 nos muestra la comparación entre la degradación térmica de A1 y A2. El material azo A1 presenta una pérdida de masa del 8% en un rango de temperatura de 58-140 °C. Este material tuvo otra pérdida de masa del 17% entre el rango de 140-335 °C. Por último, se observó una pérdida de peso adicional del 17% a partir de 398 °C hasta los 600 °C. El residuo fue del 58% para A1. El material A2 presentó una pérdida de masa del 14% en un rango de 25-140 °C. Al aumentar la

temperatura hasta los 350 °C se obtuvo una pérdida de peso adicional de 31%. Este material tuvo una pérdida adicional de peso del 11% al terminar el proceso de calentamiento a 600 °C. El residuo para A2 fue de un 44%. La Figura 8 confirma los rangos de temperatura donde se produce la mayor rapidez de pérdida de peso en los rangos de temperatura mencionados anteriormente para ambos materiales azo. A1 presenta la mayor rapidez de degradación a los 60 °C, 273 °C y 400 °C, respectivamente. Sin embargo, A2 presentó diferencias respecto a A1: los rangos de mayor velocidad de degradación se produjeron solamente a 75 °C y 266 °C.

La Figura 9 muestra la isoterma de adsorción-desorción de N_2 para A1 y A2. Estos resultados muestran que el área superficial específica de A1 tiene hasta un orden de magnitud menor que A2. Adicionalmente, ambos materiales presentan áreas menores a $1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (ver Tabla 2), característico de una isoterma tipo III según la clasificación IUPAC y constantes de BET (C) pequeñas. La Tabla 2 resume los valores obtenidos del área superficial para ambos materiales.

Tabla 1*Señales características en FTIR-ATR de FEDA, ADMS, A1 y A2*

Grupo funcional	FEDA	ADMS	A1	A2
OH	NA	-	-	3,394
NH ₂	3,302 / 3,194	3,418	-	-
C-H (doblez)	823	817	823	819
C = C	1,630	1,619	1,597	1,595
N = .N	NA	NA	1,391	1,386
SO ₃ H	NA	1,311 / 1,220	NA	1,305 / 1,157
C-S	NA	626	NA	615

Nota. NA significa No Aplica y los valores se encuentran en cm⁻¹

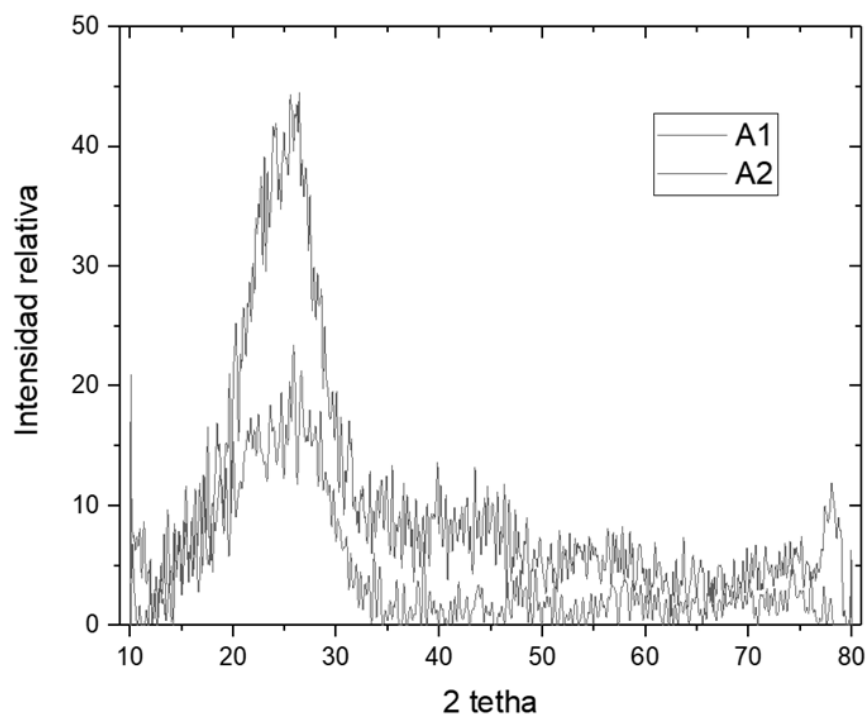
Figura 6*Difractograma de material A1 y A2*

Figura 7

Termograma de materiales A1 y A2 bajo atmósfera de N_2

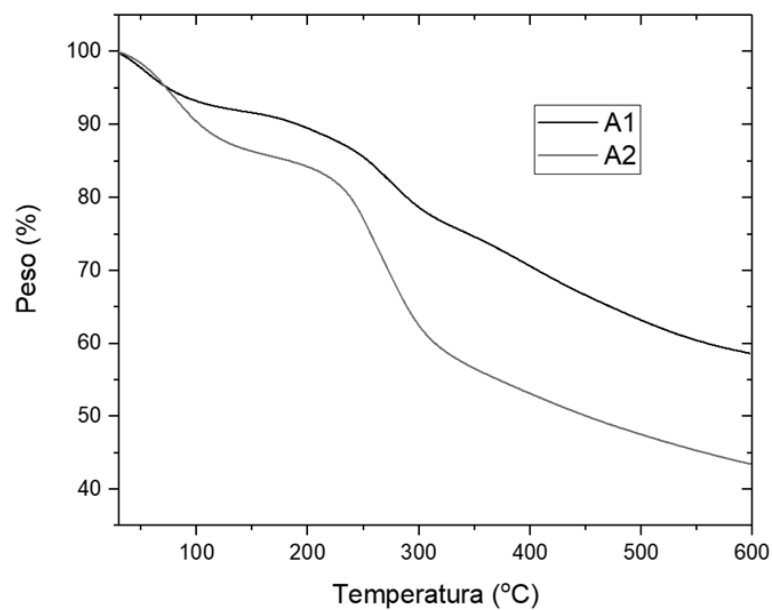


Figura 8

Termograma de A1 y A2 con su respectiva primera derivada bajo atmósfera de N_2

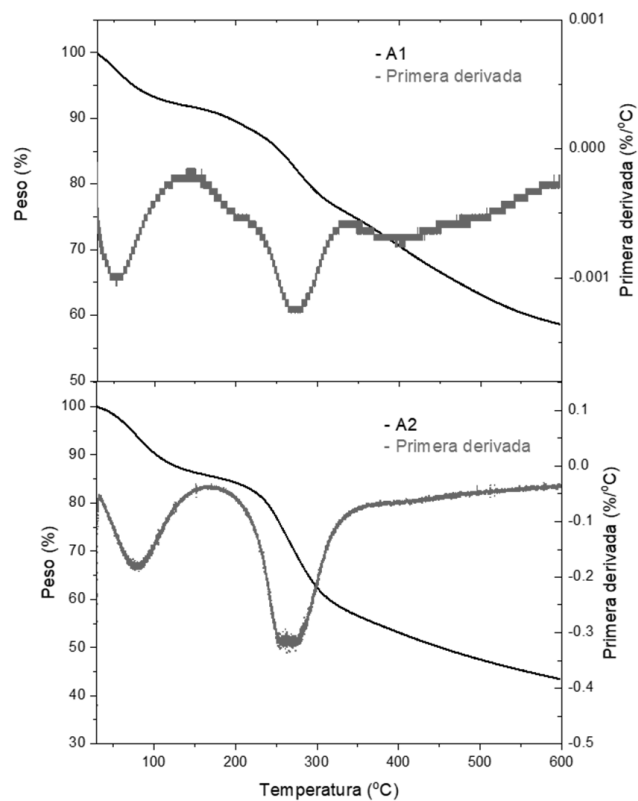
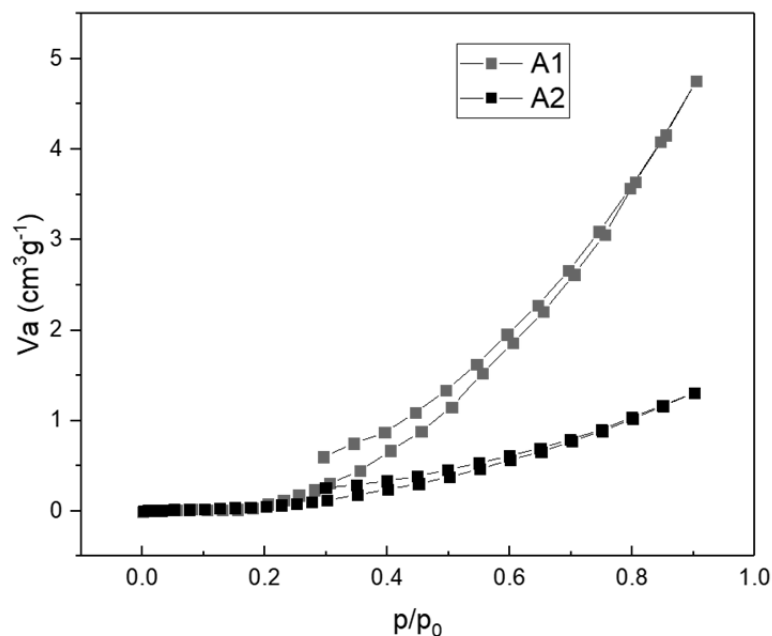


Figura 9*Isotermas de adsorción y desorción de N_2 en A1 y A2***Tabla 2***Área superficial obtenida mediante el modelo BET y gas N_2 adsorbido*

Material	A_s , BET[m²g⁻¹]	V_m , [cm³g⁻¹]	Constante C	V_m [cm³g⁻¹]
A1	0.02	0.0047658	14.212	0.0047
A2	0.10	0.023609	29.811	0.0236

Discusión

Caracterización de los materiales azo

La caracterización química de los materiales azo se realizó por medio de FTIR-ATR. Los resultados mostraron que A1 presenta las señales características para los grupos hidroxilos (-OH) entre 3,000 a 3,300 cm^{-1} (Wongsa et al., 2022). Adicionalmente, se obtuvo la banda característica del doble enlace $\text{C}=\text{C}$ del anillo aromático atribuido a su estiramiento asimétrico a

1,597 cm^{-1} (Sava et al., 2013). Este material también presentó las señales características de los grupos azo a 1,391 cm^{-1} (Peplowski et al., 2022), señales que se obtienen a distintos números de onda con el FEDA. A2 presentó las señales características de los grupos $\text{C}=\text{C}$ y $\text{N}=\text{N}$ a 1,595 y 1,386 cm^{-1} , respectivamente. Sin embargo, aparecen dos señales adicionales que corresponden al grupo sulfónico y el grupo $\text{C}-\text{S}$ a 1,305 y 615 cm^{-1} (Zhou et al., 2001). A2 tiene un corrimiento a números de onda menores con respecto a ADMS en la vibración de $\text{C}=\text{C}$ y ácido sulfónico.

De acuerdo con las señales observadas por FTIR existen señales en los materiales azo que son distintas a las que poseen los precursores, dando un indicio de la formación de una sustancia nueva; aunado a esto, se sabe que el fluoroglucinol posee tres sitios activos para el acoplamiento diazoico, por lo que se proponen estructuras donde hayan múltiples sustituciones con el grupo $-N=N-$ sobre el fluoroglucinol, tomando en cuenta que para ambos materiales se utilizó un ligero exceso de las correspondientes dianilinas (FEDA y ADMS), justo como se propone en estudios previos donde se hacen reaccionar distintas dianilinas con fluoroglucinol (Dong et al., 2022; Wang et al., 2020; Zhang et al., 2021).

Los resultados de la medición por XRD de polvos indican una señal ancha principal entre 20 a 30 grados para ambos materiales. Esto nos indica que los materiales son de estructura amorfa. Además, se observan distintos pronunciamientos en el difractograma en cada material azo, siendo amorfo un resultado muy común en la síntesis de materiales similares (Huang et al., 2022; Lu & Zhang, 2014). Un estudio adicional sobre el efecto de la reacción por acoplamiento oxidativo sobre las propiedades estructurales de los materiales azo podría determinar si el método utilizado para la síntesis tiene un efecto en la naturaleza amorfa o cristalina resultante.

La caracterización térmica de los materiales azo se realizó con un análisis termogravimétrico. Este análisis determinó que el material A1 posee una pérdida de masa del 8% de masa entre 58-140 °C y A2 una pérdida de masa del 14% entre 25-140 °C; estas pérdidas de masa iniciales suelen ser atribuidas a la cantidad de agua en los materiales (Guerrero-Gutiérrez et al., 2022; López-Pardo et al., 2022). Además, A2 presentó una mayor pérdida de masa inicial respecto a A1 debido a que los grupos sulfónicos tienen la característica de absorber mayores cantidades de agua dentro de su estructura (Guerrero-Gutiérrez, 2021). A1 presentó una segunda pérdida de masa del 17% en el rango de temperatura de 140-335 °C que pudiera atribuirse a las pérdidas de los grupos diazo de la estructura del material (Sava et al., 2013, 2015). Con A2 se produce una pérdida de masa del 31% de pérdida de masa a 140-350 °C en la que se ve una pérdida más pronunciada al comparar ambos materiales, esto es probablemente debido a la pérdida de grupos azo inicialmente y posteriormente grupos sulfónicos (Kim & Nam, 2014) dentro del mismo rango. A1 y A2 presentaron un residuo hasta 600 °C del 58% y 43% respectivamente; este

comportamiento se ha observado en la degradación de compuestos aromáticos con grupos funcionales azo similares (Luo et al., 2021; Sava et al., 2015). Estos materiales azo presentaron diferencias respecto a sus precursores. El fluoroglucinol presenta dos etapas de degradación, la primera corresponde a la pérdida de agua y la segunda etapa a 217 °C corresponde a la degradación de la molécula (Braun et al., 2012). ADMS presenta una sola etapa de degradación iniciando en 290 °C (Zhang et al., 2018); finalmente, la FEDA también posee una sola etapa de descomposición que inicia a 141 °C y termina a los 216 °C (Trivedi et al., 2015). Estos resultados nos indican que estos materiales azo poseen una etapa térmica en donde liberan agua, la cual no se encuentra con sus precursores, específicamente con ADMS y FEDA. Adicionalmente, los materiales azo sintetizados presentaron menor porcentaje de pérdida de masa que sus precursores en los rangos de degradación mencionados anteriormente. Sin embargo; estudios adicionales de TGA acoplado a un FTIR deben de realizarse para determinar los productos de degradación en cada etapa de degradación de estos materiales azo. Esta técnica ha sido utilizada para caracterizar productos de degradación en materiales (Avilés-Barreto & Suleiman, 2013).

Finalmente, ambos materiales presentan un área superficial menor a $1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ y presentan un tipo de isoterma III según la clasificación IUPAC (Pomonis et al., 2004), que caracteriza a los materiales que no son porosos y tienen baja afinidad a un adsorbato (Thommes et al., 2015). Dado los resultados de las constantes C de cada material se observa que la interacción entre el nitrógeno y A2 es mayor que con A1; sin embargo, la interacción es muy débil con ambos materiales.

Conclusiones

Dos nuevos materiales azo se sintetizaron a partir de la reacción clásica de diazotización entre fluoroglucinol con FEDA y fluoroglucinol con ADMS. Ambos compuestos presentaron los grupos hidroxilo, azo y alqueno; sin embargo, A2 presenta señales adicionales características de los grupos sulfónico. Adicionalmente, ambos materiales presentaron una estructura amorfa. A2 presentó una pérdida de masa por humedad mucho mayor que A1 inducido por los grupos sulfónicos en su estructura. Además, ambos materiales empiezan a degradarse a los 140 °C. A1 y A2 poseen un área superficial menor a $1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ y pre-

sentaron características de materiales no porosos y con baja capacidad de interacción con nitrógeno. Estudios adicionales de estos materiales como adsorbentes de contaminantes, semiconductores u optoelectrónicos deben de realizarse para determinar su efectividad en este tipo de aplicaciones.

Agradecimientos

Esta investigación fue cofinanciada por DIGI-USAC por medio del proyecto AP2-2022. Agradecimiento especial a la Lcda. Carol Guzmán del Laboratorio del Departamento de Toxicología “Julio Valladares Márquez” de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el apoyo con el uso de sus instalaciones y materiales, y al químico Ángel Córdón por el apoyo técnico para algunas de las espectroscopias FTIR.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: B L-M, HP
Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: B L-M, A V-B
Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: B L-M, A V-B, J C-A
Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: B L-M, EMA G-G
Participación en análisis: todos los autores

Materiales suplementarios

Este artículo no tiene archivos complementarios.

Referencias

- Ansari, M., Alam, A., Bera, R., Hassan, A., Goswami, S., & Das, N. (2020). Synthesis, characterization and adsorption studies of a novel triptycene based hydroxyl azo- nanoporous polymer for environmental remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), Artículo 103558. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103558>
- Avilés-Barreto, S. L., & Suleiman, D. (2013). Transport properties of sulfonated poly (styrene-isobutylene-styrene) membranes with counter-ion substitution. *Journal of Applied Polymer Science*, 129(4), 2294-2304. <https://doi.org/10.1002/app.38952>
- Awad, A. M., Jalab, R., Benamor, A., Nasser, M. S., Ba-Abbad, M. M., El-Naas, M., & Mohammad, A. W. (2020). Adsorption of organic pollutants by nanomaterial-based adsorbents: An overview. *Journal of Molecular Liquids*, 301, Artículo 112335. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112335>
- Braun, D. E., Tocher, D. A., Price, S. L., & Griesser, U. J. (2012). The Complexity of Hydration of Phloroglucinol: A Comprehensive Structural and Thermodynamic Characterization. *The Journal of Physical Chemistry B*, 116(13), 3961-3972. <https://doi.org/10.1021/jp211948q>
- Dong, S., Rene, E. R., Zhao, L., Xiaoxiu, L., & Ma, W. (2022). Design and preparation of functional azo linked polymers for the adsorptive removal of bisphenol A from water: Performance and analysis of the mechanism. *Environmental Research*, 206, 112601. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112601>
- Fröschl, T., Hörmann, U., Kubiak, P., Kučerová, G., Pfanzt, M., Weiss, C. K., Behm, R. J., Hüsing, N., Kaiser, U., Landfester, K., & Wohlfahrt-Mehrens, M. (2012). High surface area crystalline titanium dioxide: Potential and limits in electrochemical energy storage and catalysis. *Chemical Society Reviews*, 41(15), 5313-5360. <https://doi.org/10.1039/C2CS35013K>
- Guerrero-Gutiérrez, E. M. A. (2021). Effect of Sulfonated Block Copolymer on the Equilibrium and Thermal Properties of Sulfonated Fluoroblock Copolymer Blend Membranes. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 8(1), 57-66. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v8i1.887>
- Guerrero-Gutiérrez, E. M. A., Abad, M., Gaitán, I., & Guerrero, K. (2022). Efecto de las membranas con Cu+2 sobre el proceso de filtración y capacidad de biocida contra Escherichia coli. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 9(1), 98-115. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v9i1.1041>

- Ho, M. S., Barrett, C., Paterson, J., Esteghamatian, M., Natansohn, A., & Rochon, P. (1996). Synthesis and Optical Properties of Poly{[(4-nitrophenyl)-[3-[N-[2-(methacryloyloxy)ethyl]-carbazolyl]] diazene}. *Macromolecules*, 29(13), 4613-4618. <https://doi.org/10.1021/ma951432a>
- Huang, X.-Q., Hong, X., Lin, H., Cao, X.-M., Dang, Q., Tang, S.-B., Chen, D.-L., & Zhang, Y. (2022). Hypercrosslinked triazine-phloroglucinol hierarchical porous polymers for the effective removal of organic micropollutants. *Chemical Engineering Journal*, 435(Part 2), Artículo 134990. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.134990>
- Hung, L.-C., & Pan, N.-H. (2023). Using thermal analysis with kinetic calculation method to assess the thermal stability of azo compound on construction materials. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 84, Artículo 105107. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105107>
- Kazem-Rostami, M. (2020). Factors influencing the thermal stability of azo and bisazo compounds. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140(2), 613-623. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08884-4>
- Kim, D.-J., & Nam, S.-Y. (2014). Characterization of Sulfonated Silica Nanocomposite Electrolyte Membranes for Fuel Cell. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 14(12), 8961-8963. <https://doi.org/10.1166/jnn.2014.10073>
- Li, H.-Q., Liu, X., Zhang, Q., Li, S.-S., Liu, Y.-M., He, H.-Y., & Cao, Y. (2015). Deoxygenative coupling of nitroarenes for the synthesis of aromatic azo compounds with CO using supported gold catalysts. *Chemical Communications*, 51(56), 11217-11220. <https://doi.org/10.1039/C5CC03134F>
- Li, Y. Xie, M. Wang, X., Chao, D., Liu, X., Wang. (2013). Novel branched sulfonated poly(ether ether ketone) s membranes for direct methanol fuel cells. *International journal of hydrogen energy*, 38, 12051-12059. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.06.090>
- López-Pardo, G. E. A., García-Guerra, C. A., Lainfiesta, R., & Guerrero-Gutiérrez, E. M. A. (2022). Caracterización colorimétrica del proceso termogravimétrico de la deshidroxilación de caolín hidrotermal y de toba. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 9(1), 55-69. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v9i1.924>
- Lorenzo, M., Campo, J., & Picó, Y. (2018). Analytical challenges to determine emerging persistent organic pollutants in aquatic ecosystems. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 103, 137-155. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.04.003>
- Lu, J., & Zhang, J. (2014). Facile synthesis of azo-linked porous organic frameworks via reductive homocoupling for selective CO₂ capture. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(34), 13831-13834. <https://doi.org/10.1039/C4TA03015J>
- Luo, X.-S., Deng, H.-L., Chi, S., Liu, Y., & Huang, M.-H. (2021). 15N Solid-State NMR as Bright Eyes to See the Isomerization of the Azo Bond: Revision of Tris(β-hydroxyl-azo)-benzene to Tris(β-keto-hydrazo)-cyclohexane in Porous Organic Polymers. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 12(29), 6767-6772. <https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.1c01750>
- Mandal, J., Jia, M., Overvig, A., Fu, Y., Che, E., Yu, N., & Yang, Y. (2019). Porous Polymers with Switchable Optical Transmittance for Optical and Thermal Regulation. *Joule*, 3(12), 3088-3099. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.09.016>
- Meyers, M. A., Mishra, A., & Benson, D. J. (2006). Mechanical properties of nanocrystalline materials. *Progress in Materials Science*, 51(4), 427-556. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2005.08.003>
- Murad, A. R., Iraqi, A., Aziz, S. B., N. Abdullah, S., & Brza, M. A. (2020). Conducting polymers for optoelectronic devices and organic solar cells: A review. *Polymers*, 12(11), Artículo 2627. <https://doi.org/10.3390/polym12112627>
- Peplowski, L., Szczesny, R., Skowronski, L., Krupka, A., Smokal, V., & Derkowska-Zielinska, B. (2022). Vibrational spectroscopy studies of methacrylic polymers containing heterocyclic azo dyes. *Vibrational Spectroscopy*, 120, Artículo 103377. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2022.103377>
- Pomonis, P. J., Petrakis, D. E., Ladavos, A. K., Kolonia, K. M., Armatas, G. S., Sklari, S. D., Dragani, P. C., Zarlaha, A., Stathopoulos, V. N., & Sdoukos, A. T. (2004). A novel method for estimating the C-values of the BET equation in

- the whole range 0. *Microporous and Mesoporous Materials*, 69(1), 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2004.01.009>
- Sánchez-Jiménez, P. E., Pérez-Maqueda, L. A., Perejón, A., & Criado, J. M. (2009). Combined kinetic analysis of thermal degradation of polymeric materials under any thermal pathway. *Polymer Degradation and Stability*, 94(11), 2079-2085. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.07.006>
- Sava, I., Burescu, A., Stoica, I., Musteata, V., Cristea, M., Mihaila, I., Pohoata, V., & Topala, I. (2015). Properties of some azo-copolyimide thin films used in the formation of photoinduced surface relief gratings. *RSC Advances*, 5(14), 10125-10133. <https://doi.org/10.1039/C4RA14218G>
- Sava, I., Hurduc, N., Sacarescu, L., Apostol, I., & Damian, V. (2013). Study of the nanostructuration capacity of some azopolymers with rigid or flexible chains. *High Performance Polymers*, 25(1), 13-24. <https://doi.org/10.1177/0954008312454151>
- Selivanova, G. A. (2021). Azo chromophores for nonlinear-optical application. *Russian Chemical Bulletin*, 70(2), 213-238. <https://doi.org/10.1007/s11172-021-3080-z>
- Shen, Y., Ni, W.-X., & Li, B. (2021). Porous Organic Polymer Synthesized by Green Diazo-Coupling Reaction for Adsorptive Removal of Methylene Blue. *ACS Omega*, 6(4), 3202-3208. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05634>
- Si, Y., & Samulski, E. T. (2008). Synthesis of Water Soluble Graphene. *Nano Letters*, 8(6), 1679-1682. <https://doi.org/10.1021/nl080604h>
- Tajik, S., Beitollahi, H., Nejad, F. G., Dourandish, Z., Khalilzadeh, M. A., Jang, H. W., Venditti, R. A., Varma, R. S., & Shokouhimehr, M. (2021). Recent Developments in Polymer Nanocomposite-Based Electrochemical Sensors for Detecting Environmental Pollutants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(3), 1112-1136. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c04952>
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodríguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9-10), 1051-1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>
- Trivedi, M. K., Branton, A., Trivedi, D., Nayak, G., Singh, R., & Jana, S. (2015). Characterization of physical, thermal and spectroscopic properties of Biofield Energy Treated p-Phenylenediamine and p-Toluidine. *Environmental & Analytical Toxicology*, 5(6), Artículo 1000329. <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000329>
- Wang, J., He, J., Zhi, C., Luo, B., Li, X., Pan, Y., Cao, X., & Gu, H. (2014). Highly efficient synthesis of azos catalyzed by the common metal copper (0) through oxidative coupling reactions. *RSC Advances*, 4(32), 16607-16611. <https://doi.org/10.1039/C4RA00749B>
- Wang, Z., He, M., Chen, B., & Hu, B. (2020). Azo-linked porous organic polymers/polydimethylsiloxane coated stir bar for extraction of benzotriazole ultraviolet absorbers from environmental water and soil samples followed by high performance liquid chromatography-diode array detection. *Journal of Chromatography A*, 1616, Artículo 460793. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.460793>
- Wongsa, P., Phatikulrungsun, P., & Prathumthong, S. (2022). FT-IR characteristics, phenolic profiles and inhibitory potential against digestive enzymes of 25 herbal infusions. *Scientific Reports*, 12(1), Artículo 6631. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10669-z>
- Zhang, T., Bai, R., Shen, J., Wang, Q., Wang, P., Yuan, J., & Fan, X. (2018). Laccase-catalyzed polymerization of diaminobenzenesulfonic acid for pH-responsive color-changing and conductive wool fabrics. *Textile Research Journal*, 88(19), 2258-2266. <https://doi.org/10.1177/0040517517720497>
- Zhang, Y., Hong, X., Cao, X.-M., Huang, X.-Q., Hu, B., Ding, S.-Y., & Lin, H. (2021). Functional Porous Organic Polymers with Conjugated Triaryl Triazine as the Core for Superfast Adsorption Removal of Organic Dyes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(5), 6359-6366. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c21374>
- Zhang, Y., & Riduan, S. N. (2012). Functional porous organic polymers for heterogeneous catalysis.

- Chemical Society Reviews*, 41(6), 2083-2094. <https://doi.org/10.1039/C1CS15227K>
- Zhao, G., Huang, X., Tang, Z., Huang, Q., Niu, F., & Wang, X. (2018). Polymer-based nanocomposites for heavy metal ions removal from aqueous solution: A review. *Polymer Chemistry*, 9(26), 3562-3582. <https://doi.org/10.1039/C8PY00484F>
- Zhao, J., Yan, G., Zhang, X., Feng, Y., Li, N., Shi, J., & Qu, X. (2022). In situ interfacial polymerization of lithiophilic COF@PP and POP@PP separators with lower shuttle effect and higher ion transport for high-performance Li-S batteries. *Chemical Engineering Journal*, 442, Artículo 136352. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136352>
- Zhou, W., Yoshino, M., Kita, H., & Okamoto, K. (2001). Carbon Molecular Sieve Membranes Derived from Phenolic Resin with a Pendant Sulfonic Acid Group. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(22), 4801-4807. <https://doi.org/10.1021/ie010402v>

Optimización de la biosíntesis de polihidroxialcanoatos por bacterias nativas de Guatemala utilizando suero lácteo como sustrato

Optimization of the biosynthesis of polyhydroxyalkanoates by native Guatemalan bacteria using whey as a substrate

Ricardo Figueroa¹, Osberth Morales¹, Gustavo Álvarez², María del Carmen Bran ^{1*}

¹Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,

²Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: mdcbran@yahoo.com

Recibido: 24 de junio 2023 / Revisión: 24 de octubre 2023 / Aceptado: 13 de mayo 2024

Resumen

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son polímeros biodegradables que podrían sustituir a los plásticos producidos a base de petróleo debido a sus propiedades, como la biodegradabilidad, biocompatibilidad, inocuidad y termoplaticidad. A pesar de sus beneficios, la utilización a gran escala de los PHA se ve limitada por deficiencias en los procesos de producción, especialmente en cuanto a los costos asociados con las materias primas. Se ha estimado que mejoras en el proceso de producción de PHA a través de la utilización de residuos de desecho como el suero lácteo o los desechos agroindustriales, pueden reducir significativamente el costo de producción, hasta en un 50%. En esta investigación, se propuso evaluar el potencial biotecnológico de bacterias nativas para la producción de PHA, utilizando el suero lácteo como sustrato. Se empleó la metodología de cloroformo-hipoclorito para la extracción de los biopolímeros, y la cantidad de PHA fue determinada por espectrofotometría. Se encontró que de las 40 cepas evaluadas, 28 fueron capaces de utilizar el suero lácteo como sustrato. Además, se determinó que las mejores condiciones de fermentación fueron una temperatura de 37 °C y un pH de 7 a 150 RPM. Las condiciones de fermentación probadas en esta investigación podrían ser aplicadas a escala superior para la producción de PHA, principalmente por la similitud de rendimiento de producción del biopolímero que se obtiene respecto a medios químicamente definidos y la reducción de costos que aportaría la utilización de subproductos de la industria láctea.

Palabras clave: Biopolímeros, plásticos biodegradables, reutilización de desechos

Abstract

Polyhydroxyalkanoates (PHA) are biodegradable polymers that could replace petroleum-based plastics due to their properties, such as biodegradability, biocompatibility, safety, and thermoplasticity. Despite their benefits, the large-scale utilization of PHA is limited by deficiencies in the production processes, especially regarding the costs associated with raw materials. It has been estimated that improvements in PHA production process through the utilization of waste residues such as whey or agro-industrial waste can significantly reduce production costs by up to 50%. In this research, the biotechnological potential of native bacteria for PHA production using whey as a substrate was evaluated. The chloroform-hypochlorite methodology was employed for biopolymer extraction, and the amount of PHA was determined by spectrophotometry. It was found that out of the 40 evaluated strains, 28 were capable of utilizing whey as a substrate. Additionally, it was determined that the optimal fermentation conditions were a temperature of 37 °C, pH of 7, and 150 RPM. The fermentation conditions tested in this research could be applied on a larger scale for PHA production, primarily due to the similarity in biopolymer production yield obtained compared to chemically defined media and the cost reduction that the utilization of dairy industry by-products would provide.

Keywords: Biopolymers, biodegradable plastics, waste reuse



Introducción

Gran parte de los plásticos producidos a partir de derivados del petróleo no son biodegradables y generan serios problemas ambientales, tales como la acumulación de millones de toneladas en el medio ambiente y la liberación de sustancias tóxicas cuando son incinerados o expuestos a temperaturas elevadas (Masood et al., 2015). También, los desechos plásticos que llegan a los ecosistemas marinos se disgregan en pequeñas partículas conocidas como microplásticos y causan impacto negativo en la vida marina y en consecuencia también en el ser humano. Estos hechos han estimulado la búsqueda y producción de polímeros biodegradables menos nocivos que permitan reducir el impacto tanto ecológico como ambiental (Zhang et al., 2020).

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son uno de los polímeros biodegradables que tienen el potencial de reemplazar a los plásticos producidos a base de petróleo. Esto se debe a sus múltiples propiedades, como la biodegradabilidad, biocompatibilidad, no toxicidad y termoplaticidad, las cuales los hacen adecuados para diversas aplicaciones, como la producción de envases o materiales para la industria farmacéutica y alimenticia. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la utilización a gran escala se encuentra limitada por deficiencias en los procesos de producción, como los costos asociados con las materias primas, el bajo rendimiento en la generación del polímero y la falta de microorganismos que se adapten a condiciones específicas de fermentación y estén fácilmente disponibles para el sector productivo (Pagliano et al., 2021).

En este sentido, algunos procesos biotecnológicos basados en microorganismos no han sido lo suficientemente competitivos debido a su alta demanda de energía durante los procesos de esterilización, su gran consumo de agua dulce y la predominancia de diseños de fermentación por lotes en lugar de continuos. Además, la producción a gran escala de productos biotecnológicos industriales a menudo implica el uso considerable de recursos agrícolas que podrían destinarse a la producción de alimentos, generando dilemas éticos (Kalia et al., 2021). Por lo tanto, es importante basar la biotecnología industrial en procesos que se centren en el ahorro de energía, la producción continua, la independencia del agua potable y la no utilización de sustratos alimentarios como materia prima. De esta manera, los avances en este tipo de tecnologías permitirían que la biotecnología coexista con las industrias

ya establecidas para suministrar materiales y combustibles a una sociedad más sostenible (Wen et al., 2012).

En este contexto y a pesar de los beneficios que los PHA podrían ofrecer como sustitutos de los plásticos convencionales, la producción a gran escala se ve limitada debido, en parte, a los costos de los sustratos y a la falta de optimización en los procesos de producción y recuperación. No obstante, en los últimos años, se han llevado a cabo estudios enfocados en reducir los costos de producción de los PHA. Se han probado diversos residuos de la industria agrícola, como la celulosa, lignocelulosa y almidones, ricos en compuestos de carbono. Además, se ha utilizado algas marinas, efluentes de la industria del biodiésel ricos en glicerol y residuos de la industria de alimentos con alto contenido de lípidos, que tienen el potencial de convertirse en biopolímeros biodegradables (Pérez et al., 2019). Estas investigaciones han buscado encontrar fuentes alternativas y sostenibles para la producción de PHA, ampliando así sus posibilidades de aplicación en diversos campos.

Por otra parte, se ha estimado que la mejora en el proceso de producción de PHA a través de la utilización de residuos como materiales de desecho puede reducir significativamente el costo de producción, hasta en un 50%. Sin embargo, aunque se han realizado estudios relacionados con los sustratos más económicos y que generan mayores rendimientos, esto también está asociado a la disponibilidad y accesibilidad de estas materias primas para las industrias locales en cada país. Asimismo, los microorganismos utilizados son fundamentales no solo para mejorar los costos, sino también para crear procesos fermentativos eficientes. Tanto la capacidad de almacenamiento de gránulos de PHA como la forma de polimerización son determinantes en las propiedades fisicoquímicas de los productos finales (Sathya et al., 2018).

En este sentido, la optimización juega un papel crucial en la reducción de costos y en la creación de procesos fermentativos eficientes. Es esencial que las cepas microbianas cuenten con las condiciones nutricionales adecuadas de carbono, nitrógeno y fósforo, así como un control adecuado del pH, la temperatura y la aireación, ya que estos factores tienen un impacto directo en el rendimiento de producción de PHA. Además, cuando se utilizan residuos de la industria como materia prima, es importante asegurar que estos aporten condiciones limitadas de fósforo y nitrógeno, pero sean abundantes en compuestos de carbono. También, como parte del diseño de fermentación,

los demás parámetros deben adaptarse y ser específicos para cada cepa microbiana, por lo que es crucial determinar las condiciones óptimas que permitan su desarrollo y favorezcan la acumulación de PHA (Mahenshwari et al., 2018).

En el presente estudio se propuso establecer el potencial biotecnológico de bacterias nativas para la producción de polihidroxialcanoatos (PHA) utilizando suero lácteo como sustrato y optimizando las condiciones de temperatura y pH. Por ello la importancia de esta investigación se fundamenta en dar a conocer no solo el potencial biotecnológico de las bacterias nativas sino también su potencial como microorganismos capaces de generar un valor agregado a los desechos de la industria láctica, así también reducir los costos de producción de los PHA y establecer parámetros de fermentación que sean aplicables a escala mayores.

Materiales y Métodos

Revitalización de las cepas bacterianas

A partir de cultivos puros de cepas de bacterias nativas caracterizadas como positivas para la producción de polihidroxialcanoatos al utilizar medios químicamente definidos y que están almacenadas en el cepario del Departamento de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se realizaron cultivos en agar tripticasa soya (TS). Estos fueron incubados por 48 horas a 37 °C. Posteriormente se reaislaron en agar TS y luego, a partir de cada una de las cepas bacterianas se realizaron 10 subcultivos, también en agar TS, estos sirvieron para las siguientes etapas de la metodología. Los cultivos para trabajo fueron almacenados a 4 °C hasta su utilización (Kourmentza et al., 2018).

Preparación de medios de cultivo con suero lácteo

Para la preparación de los medios de cultivo con suero lácteo (SL) se utilizó suero proveniente de los desechos de la producción de queso de la industria láctica de Guatemala. Dicho suero lácteo se acidificó con HCl 5 N hasta llegar a pH de 4.5, esto se realizó con el fin de precipitar las proteínas. Posteriormente la solución se esterilizó a 121 °C por 15 minutos, luego se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, después fueron centrifugadas a 5000 RPM en tubos

cónicos para remover los agregados proteicos. El sobrenadante de la solución anterior se hizo pasar por filtros de papel Whatman No. 3. A la solución filtrada se le ajustó nuevamente el pH con NaOH 5 N hasta alcanzar un pH de 7 y se le agregaron los componentes de un medio mínimo mineral (3.0 g/l $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 3.2 g/l $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$, 0.1 g/l KCl, 0.05 g/l K_2HPO_4 , 0.5 g/l $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0.01 g/l $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) (Pantazaki et al., 2009).

Tamizaje de las cepas bacterias para determinar la producción de PHA en suero lácteo

La capacidad de las cepas bacterianas nativas para producir PHA fue evaluado utilizando medios de cultivo adicionados con suero lácteo. Se inoculó cada una de las cepas bacterianas reactivadas en agar SL, luego se incubó a 37 °C por 72 horas, posteriormente se realizaron tinciones de cada cultivo bacteriano con el colorante Negro de Sudan al 1%, esta tinción se llevó a cabo agregando el colorante a las láminas portaobjetos durante 10 minutos, luego aclarando con Xilol para eliminar el exceso de colorante y finalmente las preparaciones fueron observadas al microscopio para determinar la presencia de inclusiones de PHA en las bacterias (Gunaratne et al., 2004).

Determinación de la biomasa bacteriana

La concentración celular, definida como el peso seco de las células por litro de caldo de cultivo, se determinó tomando alícuotas de 150 ml del cultivo en crecimiento, se centrifugaron a 5000 RPM, luego las células bacterianas se lavaron dos veces con una solución salina tamponada con fosfato. Las células lavadas se filtraron al vacío utilizando filtros de 0.45 μm , posteriormente los filtros se secaron por 48 h a 80 °C y finalmente se pesaron. Todos los cultivos y mediciones se realizaron con cinco repeticiones (Guzmán et al., 2017).

Producción de PHA en medios con suero lácteo

Las cepas bacterianas reactivadas se inocularon en 10 ml del medio con suero lácteo y se incubaron a 37 °C por 24h hasta alcanzar la concentración de 0.5 en la escala de McFarland. Luego 5 ml del cultivo

anterior fue inoculado en 145 ml de medio con suero lácteo y se incubó a 37 °C por 72 horas con agitación constante de 150 rpm. Una vez finalizada la incubación se tomaron alícuotas de 150 ml en tubos cónicos, estos tubos se centrifugaron a 3000 RPM por 15 minutos. Al sedimento de células bacterianas se le realizaron dos lavados con agua desmineralizada, posteriormente se deshidrataron en el horno a 80 °C por 48 horas. Para la cuantificación de los PHA se utilizó la metodología de cloroformo-hipoclorito la cual consiste en agregar 10 ml de hipoclorito de sodio al sedimento y dejarlo reaccionar durante 2 horas como mínimo, posteriormente se agrega cloroformo por 20 minutos, finalmente los tubos se centrifugan a 3500 rpm, se decantan y el sedimento se deja secar a 80° por 48 horas para lograr evaporar el cloroformo y poder medir el peso seco (Gunaratne et al., 2004).

Evaluación del efecto de la temperatura en el proceso de fermentación

Para evaluar el efecto de la temperatura, los cultivos de trabajo de las cepas bacterianas fueron inoculados en 10 ml del medio y se incubaron a 37 °C por 24h. Luego 5 ml de los cultivos anteriores fueron inoculados en 145 ml de medio SL y se incubó a 20 y 37 °C por 48 horas con agitación constante de 150 rpm. Una vez finalizada la incubación se tomaron alícuotas de 50 ml en tubos cónicos, estos tubos se centrifugaron a 3000 rpm por 15 minutos. Al sedimento de bacterias se le realizaron dos lavados con agua desmineralizada, posteriormente se deshidrataron en el horno a 80 °C por 48 horas. Para la cuantificación de los PHA se utilizó la metodología de cloroformo-hipoclorito (Guzmán et al., 2017).

Evaluación del efecto del pH en el proceso de fermentación

Una vez optimizadas las condiciones de temperatura, se optimizó el pH. Para ello los cultivos de trabajo de las cepas bacterianas fueron inoculados en 10 ml del medio SL y se incubaron a 37 °C por 24h. Luego 5 ml de los cultivos anteriores fueron inoculados en 145 ml de medio SL modificado a pH 4.5 y 7 y se incubaron a la temperatura que mostró el mayor rendimiento por 72 horas con agitación constante de 150 rpm. Una vez finalizada la incubación se cuantificó el contenido

de PHA utilizando la metodología de cloroformo-hipoclorito (Guzmán et al., 2017).

Procesamiento y análisis de la información

Para los datos obtenidos a partir de cada objetivo específico, se realizó un análisis exploratorio de los resultados donde se determinó la media, mediana, varianza, desviación estándar y se observó el comportamiento de las variables en gráficos de cajas e histogramas, posteriormente se realizaron pruebas de normalidad con los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks. Para probar la hipótesis igualdad o diferencia entre la producción de polihidroxialcanoatos a partir de suero lácteo y los efectos de la temperatura y pH y si se cumple con los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad se realizó un Anova de un factor y una prueba posterior de Tukey con el 0.05 de significancia. Los registros de los resultados se llevaron en Microsoft Excel, los análisis estadísticos se realizaron con SPSS®. Todas las determinaciones se llevaron a cabo utilizando cinco repeticiones.

Resultados

Se encontró que 28 de las 40 cepas evaluadas producen polihidroxialcanoatos (PHA) al utilizar suero lácteo como sustrato (Tabla 1). Las cepas productoras de PHA encontradas fueron *Achromobacter* sp. (DES320), *Alcaligenes faecalis* (AP21-01, AP21-10, AP21-14, AP21-26 y AP21-30), *Bacillus* sp. (DES311, DES323 y DES328), *B. cereus* (DES325), *B. idriensis* (AP21-07), *B. megaterium* (AP21-04), *B. simplex* (DES314), *B. subtilis* (DES309 y DES330), *Exiguobacterium aurantiacum* (AP21-05), *Micrococcus luteus* (DES312), *Pantoea agglomerans* (DES316), *Proteus mirabilis* (DES319), *Pseudomonas cuatrocieneegasensis* (AP21-16), *Staphylococcus* sp. (DES304), *S. capitis* (AP21-03), *S. pasteurii* (DES301 y DES307) y cuatro cepas de bacilos gram negativo (DES310, DES317, DES321 y DES327).

Luego de evaluar la capacidad para producción de polihidroxialcanoatos a 20 y 37 °C se encontró que las cepas AP21-01, AP21-03, AP21-04, AP21-05, AP21-10, AP21-14, AP21-16, AP21-30, DES301, DES304, DES307, DES309, DES311, DES314, DES316, DES317, DES319, DES321, DES325, DES327 y DES330 produjeron mayores concentraciones de PHA a 37 °C

Tabla 1

Producción de polihidroxialcanoatos por cepas bacterianas nativas utilizando suero lácteo a diferentes condiciones de temperatura y pH a 150 RPM

Cepa	Producción a 20 °C, 150 RPM (g/l) ¹	Producción a 37 °C, 150 RPM (g/l) ¹	Producción a pH 7, 150 RPM, 37 °C (g/l) ¹	Producción a pH 4.5, 150 RPM, 37 °C (g/l) ¹
AP21-01	0.80 (0.18) ghi	0.83 (0.05) ghi	0.69 (0.12) h	0.73 (0.55) h
AP21-02	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-03	1.04 (0.30) hij	1.15 (0.03) k	1.23 (0.02) klm	0.90 (0.13) h
AP21-04	0.25 (0.11) abcde	0.37 (0.10) defg	0.35 (0.01) def	0.10 (0.20) abcde
AP21-05	0.43 (0.20) cdefg	0.47 (0.09) fg	0.48 (0.02) fg	0.35 (0.19) fgh
AP21-06	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-07	0.97 (0.12) hi	0.89 (0.05) hij	1.15 (0.04) ijk	0.81 (0.05) h
AP21-08	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-09	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-10	1.25 (0.35) j	1.41 (0.23) l	1.33 (0.12) lm	0.80 (0.03) h
AP21-11	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-12	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-13	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-14	0.50 (0.12) defg	0.97 (0.24) j	0.57 (0.20) gh	0.25 (0.04) cefg
AP21-15	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00a
AP21-16	0.49 (0.21) efg	0.82 (0.23) ghi	0.43 (0.15) efg	0.19 (0.03) bcedf
AP21-17	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-18	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-19	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-20	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
AP21-26	1.01 (0.31) hij	0.90 (0.25) ij	1.36 (0.12) m	0.48 (0.09) hi
AP21-30	1.00 (0.13) hij	1.15 (0.14) k	1.12 (0.23) ijk	0.36 (0.09) gh
DES301	0.80 (0.11) hi	0.97 (0.17) j	1.05 (0.07) ij	0.09 (0.01) abc
DES304	1.21 (0.18) ij	1.33 (0.03) l	1.27 (0.04) klm	0.00 (0.00) a
DES307	0.67 (0.16) gh	0.78 (0.26) ghi	0.35 (0.07) def	0.00 (0.00) a
DES309	1.00 (0.18) hij	1.15 (0.04) k	1.15 (0.32) i	0.23 (0.03) cdefg
DES310	0.20 (0.18) abcdef	0.12 (0.09) ab	0.13 (0.17) ab	0.10 (0.01) abcd

Tabla 1 (continuación)

Cepa	Producción a 20 °C, 150 RPM (g/l) ¹	Producción a 37 °C, 150 RPM (g/l) ¹	Producción a pH 7, 150 RPM, 37 °C (g/l) ¹	Producción a pH 4.5, 150 RPM, 37 °C (g/l) ¹
DES311	0.30 (0.21) abcde	0.36 (0.02) def	0.10 (0.23) abc	0.00 (0.00) a
DES312	1.01 (0.14) hij	0.89 (0.06) hij	1.20 (0.15) jkl	0.02 (0.01) a
DES314	0.20 (0.12) abc	0.28 (0.02) cd	0.40 (0.09) def	0.00 (0.00) a
DES316	0.13 (0.10) ab	0.17 (0.01) bc	0.28 (0.07) cde	0.18 (0.01) bcdef
DES317	0.27 (0.18) abcde	0.35 (0.02) de	0.18 (0.36) a	0.15 (0.01) abcde
DES319	0.39 (0.36) abcde	0.48 (0.02) g	0.69 (0.12) gh	0.23 (0.01) cdefg
DES320	1.15 (0.22) ij	1.00 (0.02) j	1.26 (0.30) klm	0.25 (0.01) defg
DES321	0.09 (0.01) ab	0.19 (0.02) bc	0.18 (0.07) abc	0.10 (0.01) abcd
DES323	0.23 (0.08) abcd	0.15 (0.02) b	0.50 (0.10) fg	0.07 (0.01) ab
DES325	0.18 (0.03) abcd	0.36 (0.02) def	0.25 (0.02) bcd	0.06 (0.01) ab
DES327	0.57 (0.12) fgh	0.78 (0.02) gh	0.69 (0.02) h	0.15 (0.03) bcdef
DES328	0.36 (0.05) bcdefg	0.29 (0.02) cd	0.43 (0.01) efg	0.23 (0.02) cdefg
DES330	0.29 (0.01) abcdef	0.45 (0.02) efg	0.23 (0.01) bcd	0.18 (0.01) bcdef

Nota. ¹Gramos por litro de polihidroxialcanoato. ^{a, b, c, d, e, f, g.} Letras distintas indican diferencia significativa, de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p = .05$).

con una agitación de 150 RPM. Asimismo, no se encontró diferencia significativa entre la cantidad de biopolímero producido por las cepas AP21-10 (1.41 [0.23] g/l) y DES304 (1.33 [0.03] g/l) que mostraron los valores más elevados de producción a 37° (Tabla 1).

Al evaluar la producción de PHA a pH 4.5 y 7 se encontró que las cepas AP21-03, AP21-04, AP21-05, AP21-07, AP21-10, AP21-14, AP21-16, AP21-26, AP21-30, DES301, DES304, DES307, DES309, DES310, DES311, DES312, DES314, DES316, DES317, DES319, DES320, DES321, DES323, DES325, DES327, DES328 y DES330 produjeron mayores concentraciones a pH 7, mientras que la cepa AP21-01 mostró mayor rendimiento a pH 4.5. No se encontró diferencia significativa entre las cepas AP21-03 (1.23 [0.02] g/l), AP21-10 (1.33 [0.12] g/l), y AP21-26 (1.36 [0.12] g/l) que mostraron los mayores rendimientos de producción a pH 7 (Tabla 1).

Discusión

Se encontró que 28 de las 40 cepas evaluadas resultaron positivas para la producción de polihidroxialcanoatos al desarrollarse en suero lácteo. Entre los géneros y especies capaces de utilizar dicho sustrato se encontró a *Achromobacter* sp., *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus* sp., *B. cereus*, *B. idriensi*, *B. megaterium*, *B. simplex*, *B. subtilis*, *Exiguobacterium aurantiacum*, *Micrococcus luteus*, *Pantoea agglomerans*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas cuatrocieneegasensis*, *Staphylococcus* sp., *S. capitis* y *S. pasteurii*. Asimismo, se encontraron mayores rendimientos de producción de PHA al cultivar las cepas bacterianas a 37 °C y a pH 7.0. Entre los mejores productores se encontraron las cepas AP21-03 (1.23 [0.02]), AP21-10 (1.33 [0.12]), y AP21-26 (1.36 [0.12]) al cultivarlas bajo las concentraciones descritas anteriormente.

Entre las cepas que mostraron mayor rendimiento se encontró a *Staphylococcus* sp. y *S. capitis*. En estudios realizados por Darshan y Nishith (2010) se reportó que distintas cepas de *Staphylococcus* muestran condiciones óptimas de producción de PHA al desarrollarse con agitación constante a 37 °C, asimismo, Marjadi y Dharaiya (2014) al utilizar aceite de ajonjolí, lograron obtener ácido poli(3-hidroxibutírico) (PHB) a partir de *Staphylococcus epidermidis* en condiciones de incubación a 37 °C y agitación constante de 150 RPM. Las cepas encontradas en el presente estudio mostraron los mayores rendimientos al utilizar condiciones similares a las reportadas por Obruca y colaboradores (2011) que utilizaron suero lácteo y obtuvieron rendimientos de hasta 1.48 g/l de polihidroxialcanoatos luego de optimizar las condiciones de fermentación para *B. megaterium*.

En cuanto a las especies de *Bacillus* encontradas como productoras de polihidroxialcanoatos estas mostraron mayores rendimientos a pH 7 y temperatura de 37°. Mohanrasu y colaboradores (2020) reportan haber optimizado las condiciones de fermentación para *B. megaterium* también utilizando pH 7 y además utilizando diferentes fuentes de carbono (arabinosa, glucosa, glicerol, lactosa, ácido láctico, manitol, acetato de sodio, almidón y sacarosa a concentraciones de 20 g/l) y de nitrógeno (cloruro de amonio, sulfato de amonio, glicina, nitrato de potasio, proteasa peptona y urea a concentraciones de 2 g/l), dichos autores lograron obtener rendimientos de hasta 2.74 g/l, los cuales son mayores a los de la cepa AP21-04 que en las condiciones descritas anteriormente produjo 0.35 (0.01) g/l de PHA. Cabe resaltar que no se optimizaron las fuentes de carbono y nitrógeno lo cual sería recomendable para incrementar el rendimiento.

Las cepas AP21-07 de *B. idriensi* y DES309 de *B. subtilis* produjeron 1.15 g/l de PHA sin diferencias significativas, dichos valores resultaron menores a los reportados por Rathika y colaboradores (2019) que optimizaron las condiciones de fermentación para *B. subtilis* utilizando diferentes concentraciones de melazas y obtuvieron rendimientos de 2.01 g/l a las 24 horas. Asimismo, dichos autores reportaron disminución en la concentración de PHA luego de 72 horas atribuyéndolo a la desnaturalización del sistema enzimático para la síntesis de PHA y al consumo intracelular de las inclusiones del biopolímero como fuente de energía y carbono. Por lo tanto, la disminución en los valores de rendimiento encontrados en las cepas AP21-07 y DES309 pudo ser debido al período de incubación de

72 horas al que fueron sometidas durante la fermentación.

En otro estudio realizado por Yasin y Mayaly (2021) donde se evaluó la cepa ARY73 de *Bacillus cereus* y el efecto de la concentración de carbono desde el 1% hasta 8%, tres valores de pH 5, 7 y 9, distintos valores de temperatura, 25, 30, 35 y 40 °C y concentración de nitrógeno del 0.5 a 1.5 g/l, se establecieron rendimientos de 2.61 g/l al desarrollarse a 35° y pH 7, además se reportó disminución del rendimiento de producción de PHA en temperaturas superiores a los 37 °C. Dichos valores superan al rendimiento mostrado por la cepa DES325 por lo que se recomendaría controlar las concentraciones de carbono y nitrógeno en el medio de fermentación.

Respecto a la cepa AP21-01 de *A. faecalis*, ésta mostró mayor rendimiento al cultivarse a pH 4.5. En estudios realizados por Kesik y colaboradores (2006) se encontró en especies de *Alcaligenes* una capacidad aumentada de producir compuestos nitrogenados al desarrollarse en condiciones de pH inferiores a 4. Asimismo, en un estudio realizado por Chincholkar & Sayyed (2004) se reportó que la producción de PHA por *A. faecalis* resultó óptima tanto a pH neutro como a pH bajo, además, no se encontró ninguna diferencia significativa al experimentar en distintos rangos de pH. En el presente estudio se encontró también que las cepas AP21-10, AP21-14, AP21-26 y AP21-30 de *Alcaligenes faecalis* tienen mayores rendimientos al utilizar condiciones de fermentación con pH neutro.

El suero lácteo contiene concentraciones de lactosa de entre 3 y 5% dependiendo de la leche y el proceso al que fue sometida para la producción industrial de queso, asimismo conserva aproximadamente 0.9% de proteínas crudas como única fuente de nitrógeno (Khanafari et al., 2006). Koller y colaboradores (2008) utilizaron suero lácteo como sustrato para la obtención de PHA a partir de *Pseudomonas hydrogenovora* luego de optimizar las condiciones de fermentación a pH 7, temperatura de 37 °C y ajustar el contenido de carbono y nitrógeno utilizando glucosa y suero lácteo deshidratado, obtuvieron resultados hasta de 1.27 g/l de PHA. Dichos valores resultaron similares a los encontrados en las cepas con mayores rendimientos AP21-03 (1.23 [0.02]), AP21-10 (1.33 [0.12]), y AP21-26 (1.36 [0.12]).

Las condiciones de fermentación probadas en esta investigación podrían ser aplicadas a escalas superiores para la producción de PHA al utilizar suero lácteo como sustrato. Sin embargo, se sugiere ajustar las concentraciones de carbono y nitrógeno para lograr

mejorar los rendimientos y que sean equiparables a los obtenidos a partir de medios definidos reportados en la literatura. No obstante, los valores de rendimiento obtenidos a partir de suero lácteo no presentaron grandes diferencias con otros sustratos probados anteriormente (Bran et al., 2021), lo que los convierte en una alternativa viable. Esto permite aprovechar los subproductos de desecho de la industria de los lácteos y, al mismo tiempo, reducir los costos de producción de los PHA.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el cofinanciamiento del presente estudio (DIGI DES11-2022, número de partida presupuestaria 4.8.63.0.39), a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el apoyo y aval otorgado.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: Todos los autores
Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: Todos los autores
Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: RF, MCB
Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: RF, MCB
Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: Todos los autores

Materiales suplementarios

Este artículo no tiene archivos complementarios.

Referencias

- Bran, M., Morales, O., & Figueroa, R. (2021). Producción de plásticos biodegradables en Guatemala (fase II): bioplásticos de bacterias halófilas nativas a partir de residuos agrícolas. Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente, Proyecto AP21-2021. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Dirección General de Investigación, Guatemala.
- Chincholkar, S. B. & Sayyed, R. Z. (2004). Production of poly- β -hydroxy butyrate from *Alcaligenes faecalis*. *Indian Journal of Microbiology*, 44(4), 269-272.
- Darshan, M. & Nishith, D. (2010). Screening of edible oil-contaminated soil for polyhydroxyalkanoates producing bacterial strains. *Journal of Life Sciences*, 4(4), 37-42.
- Gunaratne, L. M. W. K., Shanks, R. A., & Amarasinghe, G. (2004). Thermal history effects on crystallisation and melting of poly (3-hydroxybutyrate). *Thermochimica Acta*, 423(1-2), 127-135. <http://doi.org/10.1016/j.tca.2004.05.003>
- Guzmán, C., Hurtado, A., Carreño, C., & Casos, I. (2017). Producción de polihidroxialcanoatos por bacterias halófilas nativas utilizando almidón de cáscaras de *Solanum tuberosum* L. *Scientia Agropecuaria*, 8(2), 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2004.05.003>
- Khanafari, A., Sepahei, A. A., & Mogharab, M. (2006). Production and recovery of poly- β -hydroxybutyrate from whey degradation by *Azotobacter*. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 3(3), 193-198.
- Kalia, V. C., Patel, S. K. S., Shanmugam, R., & Lee, J. K. (2021). Polyhydroxyalkanoates: trends and advances toward biotechnological applications. *Bioresource Technology*, 124737. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124737>
- Kesik, M., Blagodatsky, S., Papen, H., & Butterbach-Bahl, K. (2006). Effect of pH, temperature and substrate on N_2O , NO and CO_2 production by *Alcaligenes faecalis*. *Journal of Applied Microbiology*, 101(3), 655-667. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02927.x>
- Koller, M., Bona, R., Chiellini, E., Fernandes, E. G., Horvat, P., Kutschera, C., ... & Braunegg, G. (2008). Polyhydroxyalkanoate production from whey by *Pseudomonas hydrogenovora*. *Bioresource technology*, 99(11), 4854-4863.
- Kourmentza, C., Costa, J., Azevedo, Z., Servin, C., Grandfils, C., De Freitas, V., & Reis, M. A. M. (2018). *Burkholderia thailandensis* as a microbial cell factory for the bioconversion of used cooking oil to polyhydroxyalkanoates and

- rhamnolipids. *Bioresource technology*, 247, 829-837. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.138>
- Marjadi, D. & Dharaiya, N. (2014). Recovery and characterization of poly(3-hydroxybutyric acid) synthesized in *Staphylococcus epidermidis*. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 8(6), 319-329. <https://doi.org/10.5897/AJEST2014.1645>
- Masood, F., Yasin, T., & Hameed, A. (2015). Polyhydroxyalkanoates—what are the uses? Current challenges and perspectives. *Critical reviews in biotechnology*, 35(4), 514-521. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.913548>
- Mohanrasu, K., Rao, R. G. R., Dinesh, G. H., Zhang, K., Prakash, G. S., Song, D. P., ... & Arun, A. (2020). Optimization of media components and culture conditions for polyhydroxyalkanoates production by *Bacillus megaterium*. *Fuel*, 271, 117522.
- Obruca, S., Marova, I., Melusova, S., & Mravcova, L. (2011). Production of polyhydroxyalkanoates from cheese whey employing *Bacillus megaterium* CCM 2037. *Annals of Microbiology*, 61, 947-953. [https://doi.org/10.1007/s13213-011-0218-](https://doi.org/10.1007/s13213-011-0218-0)
- Pagliano, G., Galletti, P., Samori, C., Zaghini, A., & Torri, C. (2021). Recovery of polyhydroxyalkanoates from single and mixed microbial cultures: a review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 54. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.624021>
- Pantazaki, A. A., Papaneophytou, C. P., Pritsa, A. G., Liakopoulou-Kyriakides, M., & Kyriakidis, D. A. (2009). Production of polyhydroxyalkanoates from whey by *Thermus thermophilus* HB8. *Process Biochemistry*, 44(8), 847-853. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.04.002>
- Pérez, R., Casal, J., Muñoz, R., & Lebrero, R. (2019). Polyhydroxyalkanoates production from methane emissions in *Sphagnum* mosses: Assessing the effect of temperature and phosphorus limitation. *Science of The Total Environment*, 688, 684-690. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.296>
- Rathika, R., Janaki, V., Shanthi, K., & Kamala-Kannan, S. (2019). Bioconversion of agro-industrial effluents for polyhydroxyalkanoates production using *Bacillus subtilis* RS1. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 5725-5734.
- Sathya, A. B., Sivasubramanian, V., Santhiagu, A., Sebastian, C., & Sivashankar, R. (2018). Production of polyhydroxyalkanoates from renewable sources using bacteria. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(9), 3995-4012. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1259-7>
- Wen, Q., Chen, Z., Wang, C., & Ren, N. (2012). Bulking sludge for PHA production: Energy saving and comparative storage capacity with well-settled sludge. *Journal of Environmental Sciences*, 24(10), 1744-1752. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)61005-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)61005-X)
- Yasin, A. R., & Al-Mayaly, I. K. (2021). Study of the fermentation conditions of the *Bacillus cereus* strain ARY73 to produce polyhydroxyalkanoate (PHA) from glucose. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 217-219.
- Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>

Desarrollo de un prototipo para la vinculación de los actores del ecosistema de innovación universitario

Development of a prototype for linking actors in the university innovation ecosystem

Edward M. A. Guerrero-Gutiérrez ^{1*}, Johanna Pelay ², Zoila Guerra de Castillo ³

¹Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala

²i3lab Entrepreneurship and Innovation Center, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

³Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá

*Autor al que se dirige la correspondencia: edward.guerrero@upr.edu

Recibido: 13 de marzo 2024 / Revisión: 14 de mayo 2024 / Aceptado: 28 de junio 2024

Resumen

Las universidades desempeñan un papel fundamental en la dinamización de los ecosistemas de innovación al ser fuentes primordiales de conocimiento que fluye hacia los sectores público, privado y académico. Sin embargo, este flujo de conocimiento se ve obstaculizado por la carencia de canales de comunicación efectivos. Para abordar esta problemática, este estudio se enfocó en la concepción y desarrollo de un prototipo para dispositivos móviles y tabletas, utilizando metodologías Lean y herramientas de pensamiento de diseño. En las etapas de definición, investigación e ideación, se emplearon las metodologías de propuesta de valor y modelo Lean Canvas, con la participación de representantes de instituciones universitarias de España, Panamá, Guatemala, Perú, Ecuador, Argentina, Colombia y Chile. El desarrollo del prototipo, que incluye una aplicación para móviles y otra para tabletas, se llevó a cabo en Ecuador. Los prototipos desarrollados incluyen una interfaz con funcionalidades específicas, como la capacidad de búsqueda de inversionistas para sus proyectos y la posibilidad de establecer redes con distintas universidades. Además, permite a los usuarios crear y publicar noticias, ver el estatus de los proyectos y realizar preguntas a expertos. Estos prototipos fueron diseñados para crear un espacio dinámico donde investigadores, emprendedores, empresarios, inversionistas y mentores puedan interactuar de manera fluida. El impacto potencial de estas aplicaciones radica en su capacidad para fomentar, fortalecer y potenciar los vínculos y canales de comunicación entre todos los actores del ecosistema de innovación universitario.

Palabras clave: *Design Thinking*, CECIAC, emprendimiento, Lean Canvas, modelo Canvas

Abstract

Universities play a fundamental role in the dynamization of innovative ecosystems as primary sources of knowledge flowing into the public, private, and academic sectors. However, this knowledge flow is hindered by the lack of effective communication channels. To address this issue, this study focused on the design and development of a prototype for mobile devices and tablets using Lean methodologies and Design Thinking tools. Representatives from universities in Spain, Panama, Guatemala, Peru, Ecuador, Argentina, Colombia, and Chile participated in the stages of definition, research, and ideation, employing the value proposition methodology and the Lean Canvas model. The development of the prototype, which includes a mobile application, and another designed for tablets, was carried out in Ecuador. The developed prototypes include an interface with specific functionalities, such as the ability to search for investors for projects and the possibility of networking with different universities. Additionally, it allows users to create and publish news, view project statuses, and ask questions to experts. These prototypes were designed to create a dynamic space where researchers, entrepreneurs, businesspeople, investors, and mentors can interact fluidly. The potential impact of these applications lies in their ability to foster, strengthen, and enhance connections and communication channels among all actors in the university innovation ecosystem.

Keywords: *Design Thinking*, CECIAC, entrepreneurship, innovation, Lean Canvas, Canvas model



Introducción

Un ecosistema de innovación es el conjunto en evolución de actores, actividades, artefactos e instituciones que es importante para el desempeño innovador de un actor o una población de actores (Granstrand & Holgersson, 2020). También se ha definido como un conjunto de redes de co-innovación, en las que participan actores de organizaciones interesadas en la producción de conocimiento, creación de riqueza y control de normas (Grobbelaar, 2018). Estos actores colaboran para formar relaciones de coevolución e interdependencia en contextos transgeográficos (Cai et al., 2020). Estos conjuntos de redes generan nuevas ideas y enfoques de diversas fuentes, integrando una plataforma para generar valores compartidos para la transformación sostenible de la sociedad (Cai et al., 2020). El ecosistema de innovación debe facilitar el trabajo colectivo para apoyar el flujo de conocimiento, el desarrollo tecnológico y la creación de innovación, siendo la innovación organizativa el eje fundamental para su desarrollo (Dias Sant'Ana et al., 2020; Yin et al., 2020).

En este sentido, el Modelo de la Cuádruple Hélice incluye a la sociedad civil como un actor clave que impulsa la innovación en conjunto con las universidades, la industria y el gobierno (Cai & Lattu, 2022). Las universidades se han convertido en una fuente importante para los ecosistemas de innovación y la economía de un país, ya que fomentan la movilidad del conocimiento y gestionan la propiedad intelectual de la innovación (Thomas et al., 2021). Estos actores del ecosistema de innovación ofrecen una amplia variedad de programas, planes de estudio, talleres y mecanismos desarrollados para fomentar la creatividad y la innovación en los estudiantes, así como para mejorar sus funciones cognitivas (Al-Youbi et al., 2021). Además, las universidades muestran un fuerte enfoque en Investigación y Desarrollo (I+D), invierten en ciencia y tecnología, ecosistemas de innovación, capital intelectual, alta inversión empresarial orientadas a producir conocimiento de I+D que impacte en los procesos de innovación (Abello Llanos & Pardo Sánchez, 2014). Los ecosistemas de innovación universitario están relacionados con la innovación y el emprendimiento dentro del entorno académico (Beyhan & Findik, 2018; Patzelt & Shepherd, 2009; Schimperna et al., 2022). Además, promueven la transferencia de tecnología y conocimiento, así como la creación de plataformas tecnológicas (Angrisani et al., 2023).

El emprendimiento es el acto de impulsar, crear, desarrollar y cambiar modelos de negocios (Silva et al., 2022). Actualmente, el ecosistema de emprendimiento busca crear un sistema sustentable combinado aspectos económicos, sociales y ambientales (Huang et al., 2023). El Ministerio de Economía de Guatemala ha creado centros de emprendimiento dentro de la única universidad pública y diversas universidades privadas. Estos centros han generado proyectos de emprendimiento exitosos, con el objetivo de estimular el crecimiento económico del país a través de ideas creativas y modelos de negocio innovadores. Estos centros proporcionan capacitaciones en torno a temas administrativos y financieros para ejecutar y colocar sus proyectos en el mercado (Cuc, 2022). Sin embargo, estos emprendimientos no poseen un canal de comunicación claro que los vincule con otros actores de los ecosistemas de innovación, ya sean nacionales o internacionales. Se ha determinado que la apertura en los canales de comunicación en el ecosistema contribuye a su fortalecimiento al aprender de las lecciones obtenidas de otros actores (Bradford et al., 2023).

En este contexto, el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), a través de la red llamada Construcción y Evaluación de Capacidades Innovadoras del sector Académico (CECIAC), busca promover los procesos de innovación y emprendimiento en la región iberoamericana. CECIAC dinamiza la innovación en respuesta a las necesidades identificadas en los ecosistemas de innovación, proponiendo una plataforma regional dinámica en donde se registren y participen los actores claves, como lo son emprendedores, empresas, inversores, organizaciones del sector público y las universidades (Quiñones Montellano & Tezanos Vázquez, 2015). Además, busca aprovechar y potenciar los recursos de cada universidad en la región y canalizarlos hacia otros actores del ecosistema de innovación. Esto es relevante debido a que las vinculaciones de la universidad con los empresarios y empresas son relativamente débiles (Heaton et al., 2019).

El conectivismo, que subraya la importancia de construir redes de conocimiento a través de diversos recursos y colaboraciones, es especialmente relevante en un contexto donde los individuos cada vez más utilizan aplicaciones móviles para conectarse (Apostolidou, 2022). Actualmente, las personas pasan más tiempo utilizando aplicaciones móviles para vincularse con otros; siendo en algunas ocasiones un reemplazo para la tecnología de comunicación tradi-

cional (Zhang et al., 2018). Las aplicaciones en dispositivos móviles se han utilizado en diferentes sectores como lo es el académico (Lu & Xiong, 2023), de la salud (Luitel et al., 2023) y en la industria de alimentos (Fraccascia & Nastasi, 2023). Sin embargo, no existe una aplicación para dispositivos móviles que conecte a los actores del ecosistema de innovación universitario. La conexión de los actores es un factor crítico que considerar dentro del ecosistema de innovación y emprendimiento (Rabelo Neto et al., 2024). Se ha demostrado que los nuevos emprendimientos suelen carecer de recursos y relaciones comerciales que los respalden en la fase inicial de su creación (Shih et al., 2024). La vinculación digital de los centros de innovación ejemplifica cómo se pueden construir redes de organizaciones capaces de proporcionar un conjunto diverso de competencias empresariales y tecnológicas a emprendimientos, y pequeñas y medianas empresas (Asplund et al., 2021). En consecuencia, este ensayo explora el desarrollo un prototipo mediante la aplicación de metodologías Lean y herramientas de pensamiento de diseño (*Design Thinking*) que facilite la vinculación a los actores del ecosistema de innovación universitario. Estas metodologías han generado una atención significativa en las organizaciones, ya que han demostrado su eficacia en la resolución de problemas, concepción de propuesta de soluciones y su adaptabilidad en torno a la innovación (Liedtka, 2015). A través de la implementación de estas metodologías, se generaron dos aplicaciones, una diseñada para dispositivos móviles y otra para tabletas. El objetivo de este estudio fue obtener una aplicación para celular y otra para tableta que fortalezca las vinculaciones del ecosistema de innovación y aumente los casos de éxito de los proyectos de Investigación y Desarrollo, innovación, emprendimiento, Transferencia de Tecnología y transferencia de conocimiento (I+D+i+e+TT+tt) en la región. A continuación, se abordarán conceptos teóricos sobre la innovación, la innovación organizativa y la teoría de la conectividad. Además, se presentará el desarrollo del prototipo de una aplicación para celular y tableta utilizando la metodología *Design Thinking*.

Contenido

Los diferentes sectores públicos y empresariales están desarrollando hoy en día procesos innovativos para garantizar el éxito en su mercado objetivo (Saunila, 2020). La discusión en torno a este fenómeno se ha concentrado en el concepto de capacidad de inno-

vación. Este concepto se puede expresar como el potencial para crear productos o conocimientos novedosos y valiosos para su organización (Moreira et al., 2024).

El Manual de Oslo define la innovación como:

La introducción de un producto, o de un proceso, nuevo o significativamente mejorado, o la introducción de un método de comercialización o de organización nuevo aplicado a las prácticas de negocio, a la organización del trabajo o a las relaciones externas. (OECD & Eurostat, 2018, p. 49)

La innovación también se ha definido como un proceso de invención más su explotación monetaria. Es decir, las innovaciones son ideas novedosas y soluciones que tienen verdadero valor comercial (Moreira et al., 2024; Partanen et al., 2014). La innovación se basa en el grado de novedad de un cambio y el grado de utilidad o éxito en la aplicación de algo nuevo. El concepto de nuevo podría significar nuevo para el mundo, nuevo para una nación, nuevo para una empresa o nuevo para un sistema público, por ejemplo (Granstrand & Holgersson, 2020).

Tipos de innovación

Según el Manual de Oslo, existen cuatro formas de clasificar la innovación: innovación de producto, innovación de proceso, innovación comercial e innovación organizativa (OECD & Eurostat, 2018). La innovación de producto se refiere a la introducción de nuevos bienes o servicios para satisfacer las necesidades de un mercado externo o las necesidades de los usuarios; asimismo, posee un impacto positivo a corto y largo plazo en los resultados de la organización (Alka et al., 2024; Ramadanani et al., 2019). Las características de la innovación de producto es la introducción de un nuevo servicio o bien significativamente mejorado en sus características o en sus posibles usos (OECD & Eurostat, 2018). Actualmente, con la aplicación de inteligencia artificial se han generado innovaciones de productos que aportan al crecimiento financiero de la empresa (Babina et al., 2024).

La innovación de proceso es definida como “la introducción de un método de producción o de distribución nuevo o significativamente mejorado. Incluye mejoras significativas en técnicas, equipo o software” (OECD & Eurostat, 2018, p. 51). Este tipo de innovación proporciona nuevas formas de organizar y combinar las entradas requeridas durante un proceso

de producción (Ramadani et al., 2019). Un ejemplo de este tipo de innovación es el uso de tecnologías denominadas verdes en la organización, lo cual impacta en la innovación de procesos al reducir la contaminación ambiental generada y disminuir el consumo de energía y materias primas (Wang et al., 2021).

La innovación comercial es “la introducción de un nuevo método de comercialización que entrañe importantes mejoras en el diseño o presentación del producto, en su posicionamiento, en su promoción o en su precio” (OECD & Eurostat, 2018, p. 52). Este tipo de innovación ofrece el desarrollo de nuevos canales de distribución, estrategias de marca, tipos de comunicación o mecanismos de fijación de precios. La digitalización es un impulsor clave para la innovación comercial, permitiendo nuevos métodos de comunicación, estrategias de marca, diseños de ofertas y configuraciones de transacciones (Purchase & Volery, 2020). Este tipo de innovación fue fundamental para las compañías durante la pandemia de COVID-19, ya que se vieron obligadas a fortalecer rápidamente sus negocios en línea mediante el uso de modelos de innovación comercial (Wang et al., 2020). Por último, la innovación organizativa se refiere a la introducción de un nuevo método de organización aplicado a las prácticas de negocio, a la organización del trabajo o a las relaciones externas de la empresa (OECD & Eurostat, 2018). Un ejemplo de innovación organizativa es la implementación de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) en la organización para mejorar su nivel de competitividad (Ramos Méndez et al., 2021). A continuación, se presenta información adicional sobre la innovación organizativa y sus tendencias actuales.

Innovación organizativa

La innovación organizativa se refiere a la creación o adopción de una noción o comportamiento que es nuevo para una organización (Bocken et al., 2019). Este tipo de innovación puede adoptar dos formas: el diseño de un modelo completamente nuevo o la reconfiguración de los elementos de un modelo existente (Hael et al., 2024). Este tipo de innovación también está asociada con una mayor competitividad al convertir a las empresas en amigables con el medio ambiente (Rodríguez-Rebés et al., 2024).

Existen cinco nuevas tendencias en la que se podría enfocar la innovación organizativa: la aceleración de la transformación digital en las compañías, seguridad de la cadena de suministro, sostenibilidad, proveer

una experiencia al consumidor y el talento humano (Marr, 2022). Se ha determinado que la innovación organizativa, a través de la sostenibilidad, pueden ayudar a las empresas a lograr ahorros en los costos, acceder a nuevos mercados y promover la eficiencia de los procesos, teniendo como resultado un impacto positivo en los estados financieros. Esto requiere la actualización de sus prácticas organizacionales y un mayor esfuerzo en el uso cuidadoso de sus recursos corporativos y en la introducción de nuevos productos amigables con el medio ambiente para lograr objetivos de sustentabilidad (Bataineh et al., 2023). Finalmente, la aceleración de la transformación digital ha sido impulsada por los cambios generados por los procesos de innovación organizativa en las empresas (Bouwman et al., 2019).

Teorías de la conectividad

El conectivismo es un marco teórico que comprende el aprendizaje mediante conexiones en redes personales, compuestas por diversos recursos tecnológicos e informativos, facilitando la discusión de ideas y el diseño de entornos de aprendizaje (Liu & Li, 2021). Otra definición indica que el conectivismo se refiere al conocimiento construido a partir de la capacidad de las personas para crear redes, utilizando recursos como libros, páginas web y la interacción con otras personas dentro de la red (Mampota et al., 2023). Esta teoría sugiere el establecimiento de redes a través de diferentes fuentes de información y colaboren unos con otros en un proceso de creación de conocimiento (Mampota et al., 2023). Esta teoría es aplicada en procesos de transferencia de conocimiento, especialmente en procesos educativos, donde se evidencia que los enfoques interdisciplinarios utilizados en los métodos pedagógicos digitales facilitan el aprendizaje (Dziubaniuk et al., 2023).

Design Thinking

Design Thinking es un método interdisciplinario que se centra en el usuario, enfocado hacia el descubrimiento de soluciones y genera pensamiento innovador (Nguyen-Thi, 2024). Esta metodología transforma las ideas generadas, los conceptos creativos y las experiencias sociales en proyectos factibilidad a través de la colaboración y la experimentación para la resolución de problemas (Rylander Eklund et al., 2022; Tsai et al., 2023). Las principales fases de *Design Thinking*

son empatizar, definir, idear, prototipar, implementar (someterlo a una prueba) y aprendizaje (Baker III & Moukhliiss, 2020; Lugmayr et al., 2014).

Desarrollo del prototipo utilizando Design Thinking

El desarrollo del prototipo inició con talleres que involucraron a las universidades de los países participantes. Luego, se categorizó la información recopilada de acuerdo con los patrones obtenidos. Finalmente se aplicó la metodología de *Desing Thinking*, la cual se detalla a continuación (Baker III & Moukhliiss, 2020):

- Definir: establecer el problema
- Investigar: aprender sobre el problema mediante la recopilación de información previa y la observación de los usuarios
- Idear: implica una lluvia de ideas potencial soluciones
- Prototipar: consiste en construir iteraciones rápidas de las soluciones potenciales utilizando materiales de bajo costo y mano de obra que valora la velocidad sobre la calidad
- Seleccionar: implica elegir una solución a seguir durante el resto del proceso
- Implementar: etapa donde se fabrica la solución y se coloca dentro del contexto del espacio del problema
- Aprender: los diseñadores obtienen retroalimentación sobre la solución y reflexionar sobre lo que pasó durante el proceso de diseño

En las etapas de definir, investigar e idear se contó con la participación de representantes de la Universidad Nacional de Misiones de Argentina, la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador, la Universidad Tecnológica de Panamá, la Universidad de Concepción de Chile, la Universidad Galileo de Guatemala, la Universidad de San Carlos de Guatemala, la Universidad de Medellín de Colombia, la Universidad Católica de Santa María de Arequipa Perú y la Universidad Politécnica de Cataluña de Barcelona España. La etapa de prototipar y seleccionar se desarrolló con la colaboración de los estudiantes registrados en el curso llamado Interacción Humano Computador (IHC) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La etapa de implementar y aprender no se llevó a cabo durante el desarrollo del prototipo.

Definir el problema

La definición del problema se realizó mediante reuniones con representantes de universidades de ocho países de la región iberoamericana: Argentina, Colombia, Chile, España, Ecuador, Guatemala, Perú y Panamá. El primer paso fue determinar los actores del sector académico que impulsan el desarrollo tecnológico y social de la región. Los actores se clasificaron como centrales, directos e indirectos. Los actores centrales son los que concentran todas las actividades de I+D+i+e+TT+tt; los actores directos tienen cierto grado de influencia en dichas actividades y, finalmente, los indirectos afectan dichas actividades en un menor grado. Centros de investigación, áreas de innovación, centros de I+D+i/autoridades de I+D, grupos de investigación, docentes/grupos de mentores, parques tecnológicos y facultades/departamentos/laboratorios universitarios, startups, spin-offs, emprendedores, unidades de extensión y laboratorios de prototipo tipo FabLab fueron identificados como actores centrales (Figura 1).

La Figura 2 muestra los actores directos identificados dentro del ecosistema de innovación universitario, los cuales son las agencias nacionales de financiamiento, autoridades universitarias, ministerios, secretarías o corporaciones públicas de ciencia y tecnología, y ministerios relacionados con la ciencia, tecnología e innovación de cada país. Finalmente, los actores indirectos identificados fueron organismos internacionales, asociaciones de apoyo a empresarios y organismos nacionales gestores de fondos (Figura 3).

Investigar el problema

El proceso de investigación del problema se realizó por medio de la técnica de propuesta de valor del modelo de Canvas. Este método establece una relación entre los componentes de una organización y los factores que influyen en su éxito o fracaso (Ferreira-Herrera, 2016). Los resultados de este modelo muestran la relación entre los beneficios buscados, las tareas del cliente y los dolores y las frustraciones con los aliviadores de dolor, los generadores de beneficios y los productos y servicios generados.

El resultado obtenido para la propuesta de valor de los investigadores muestra que los beneficios buscados por parte de estos actores son los recursos financieros para sus proyectos, acceso a la participación en proyectos internacionales y acceso a laboratorios y

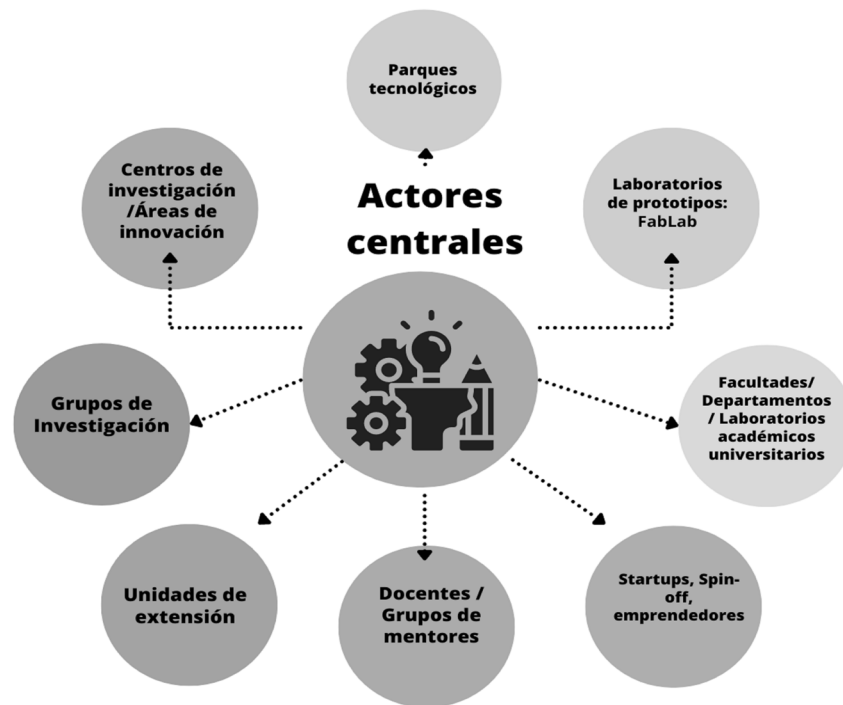
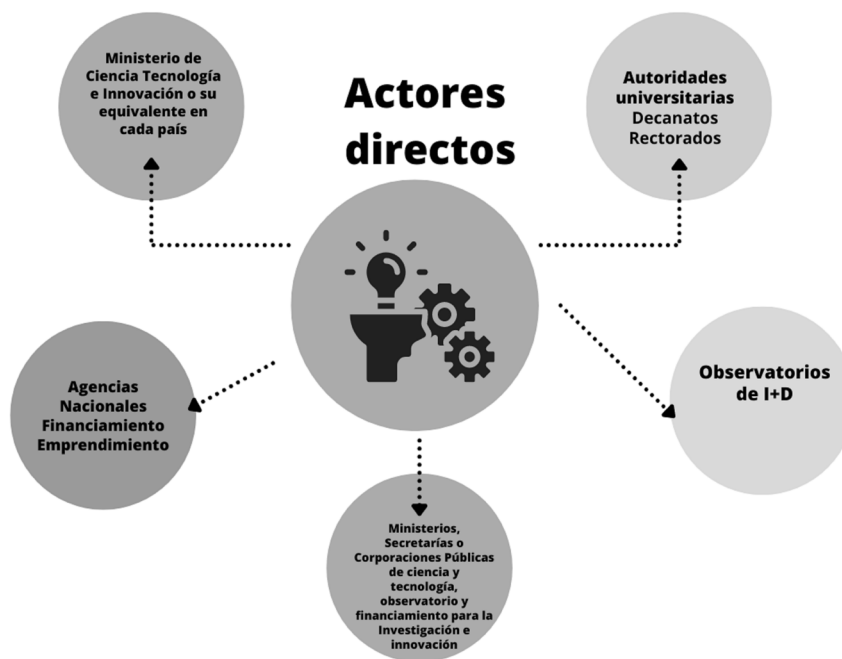
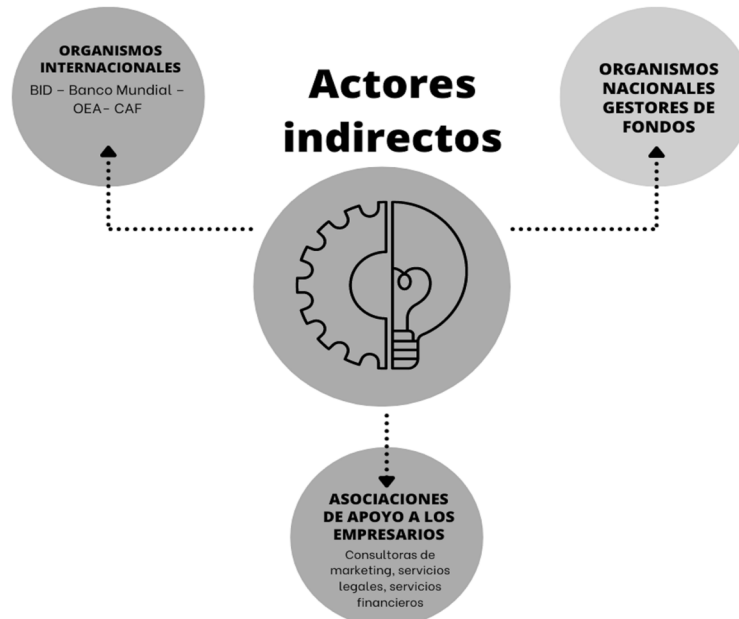
Figura 1*Actores centrales identificados para el ecosistema de innovación universitario***Figura 2***Actores directos identificados para el ecosistema de innovación universitario*

Figura 3

Actores indirectos identificados para el ecosistema de innovación universitario



mentorías en otras instituciones. Asimismo, buscan pasantías de investigación que aporten en el desempeño de la innovación y estímulos para generar proyectos de investigación. Los investigadores requieren una ampliación de la red de gestores e investigadores y recursos financieros para la generación de investigaciones y prototipos. Además buscan acceso a bases de datos y socios con diferentes especializaciones para la generación de investigaciones multidisciplinarias.

La propuesta de valor para los emprendedores mostró que estos actores del ecosistema de innovación universitario buscan la escalabilidad, ganancias financieras, patentes y capacidad de conformación de su empresa de manera eficiente. Cabe resaltar que sus frustraciones están relacionadas con la falta de conocimiento en los procesos de I+D+i+e+TT+tt y procesos legales para la formación de su empresa.

Estas mismas frustraciones también se reflejaron en los resultados obtenidos en la propuesta de valor de las pequeñas y medianas empresas (pymes). Sin embargo los factores de oferta y demanda del país, y la incertidumbre de quiebra por falta de apoyo financiero del gobierno son otros de los factores adicionales

encontrados. Dentro de los beneficios que buscan estos actores destacan la rentabilidad de la empresa, ofertar productos o servicios innovadores, ser reconocida como una empresa con productos innovadores y poseer contacto con investigadores de forma rápida y concisa.

Al unificar la información obtenida previamente, se obtuvo la propuesta de valor integrado. Esta propuesta muestra la necesidad de crear de una plataforma virtual en la cual los investigadores, emprendedores y pymes tengan acceso a una base de datos científica y catálogo de posibles inversionistas. Esta plataforma debe contar con mecanismos para la vinculación de los actores del ecosistema de innovación, aliviando la falta de asesoría y acompañamiento en el acceso a fondos y recursos. Además, debe resolver la falta de vinculación entre la academia y los centros de investigación, así como la dispersión de capacidades y recursos del ecosistema (Figura 4). La dispersión de capacidades y recursos crea limitaciones para reconocer y explotar colectivamente las oportunidades en un ecosistema de innovación (Almpanopoulou et al., 2019). Es por este motivo que la plataforma disminuirá estas limitaciones dentro del ecosistema de innovación universitario.

Figura 4*Propuesta de valor integrado*

Más información acerca de la propuesta de valor de investigadores/innovadores, emprendedores y pymes se encuentra en las Figuras S1 a S3 de la sección de Materiales Suplementarios.

Idear el proyecto

Para generar la idea del proyecto, se utilizó el modelo de Lean Canvas. Este método permite visualizar las principales fortalezas y debilidades del proyecto. Asimismo, permite adoptar estrategias para la identificación del segmento clientes y los canales para la distribución/difusión del producto (Flores-Aguilar, 2019). La Figura 5 muestra el modelo Lean Canvas orientado a investigadores.

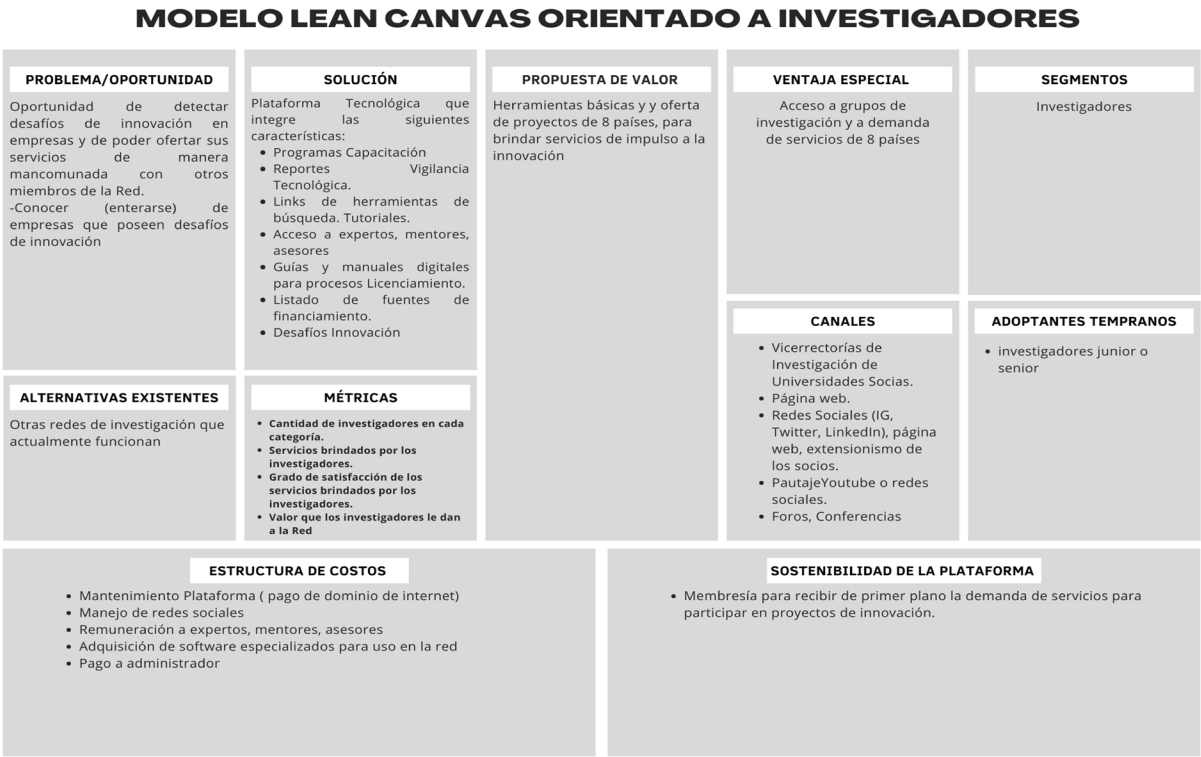
Los resultados muestran que la propuesta de valor para los investigadores está relacionada con el ahorro de tiempo para poder obtener tecnologías que solucionen problemas relacionados con aspectos de I+D+i+e+TT+tt. Específicamente, en procesos de búsqueda, tutoriales y ofertas de servicios que puedan impulsar los procesos de innovación dentro de sus organizaciones. Este mismo resultado se obtuvo para los emprendedores y pymes. Para estos tres actores del

ecosistema, se identificó que la solución al problema es la creación de una plataforma tecnológica que integre programas de capacitación, reportes de vigilancia tecnológica, acceso a expertos, mentores, asesores, guías y manuales digitales sobre I+D+i+e+TT+tt, un listado de fuentes de financiamiento y oportunidades de desafíos de innovación. La ventaja especial de esta plataforma sería el acceso a servicios proporcionados por una red constituida por miembros de universidades de ocho países de Iberoamérica, prestando servicio a los diferentes actores del ecosistema de innovación. El modelo Lean Canvas detallado orientado a pymes y emprendedores se encuentra en las Figuras S4 y S5 de la sección de Materiales Suplementarios.

Creación del prototipo

Para la creación del prototipo se tomaron como base los resultados de la fase de ideación. La aplicación para un móvil fue la primera en desarrollarse. El primer prototipo de la aplicación se creó con una cierta paleta de colores; sin embargo, esta fue cambiada a un tono azul con sus variaciones. Este tono fue elegido teniendo

Figura 5
Modelo Lean Canvas orientado a investigadores



en cuenta la psicología del color. En mercadotecnia es el color más utilizado en las empresas por no ser invasivo (Singh, 2006); además, crea una sensación de seguridad y confianza en el usuario (Barrios Marcelo, 2012). Finalmente, se agregaron descripciones a los roles y se modificó el rol de empresa por empresario para mantener una consistencia con los demás roles.

La Figura 6 muestra la versión final del prototipo para la aplicación móvil y la versión de tableta. Estas aplicaciones tienen como objetivo satisfacer las necesidades tanto de los investigadores como de emprendedores, permitiéndoles crear proyectos que pueden ser visualizados por empresas e inversionistas. Además, ofrecen un espacio para discutir temas de interés con más personas y facilitan conexiones dentro del ecosistema de innovación. Finalmente, los usuarios podrán ver videos de los mentores y tener un espacio para resolver dudas. Con esta aplicación, los empre-

sarios podrán identificar proyectos de emprendedores y otros actores del ecosistema de innovación que puedan impactar positivamente dentro de su organización. Además, tendrán la oportunidad de conocer eventos relacionados a I+D+i+e+TT+tt en los que pueden participar activamente. Los inversionistas tendrán la ventaja de aprovechar la aplicación para revisar los proyectos en los que haya invertido previamente y explorar oportunidades en proyectos sociales para futuras inversiones. Los mentores tendrán la capacidad de cargar videos para los actores del ecosistema de investigación y ofrecer respuesta a preguntas.

El equipo encargado del desarrollo del prototipo se esforzó por considerar todas las facetas de la aplicación. Sin embargo, se identificaron algunas limitaciones importantes: un usuario no puede desempeñar múltiples roles dentro de la aplicación, lo que significa que un investigador interesado en ser mentor no tiene

la capacidad de hacerlo. Además, se observa que tanto emprendedores como investigadores no tienen acceso a la visualización de los proyectos de otros usuarios. Asimismo, los emprendedores no tienen la capacidad de ver la cantidad de inversores interesados su proyecto.

La Figura 6B muestra la versión final del prototipo diseñado específicamente para la aplicación en tabletas. En esta versión, el color azul continúa siendo el color base de la interfaz, y se ha empleado un diseño que incorpora el uso de líneas curvas en la parte superior de la pantalla. A diferencia de la versión para dispositivos móviles, esta aplicación permite al usuario acceder y leer artículos científicos completos, así como descargar archivos adjuntos. Además, se ha incorpora-

do una función que le permite al usuario crear eventos tanto online o presenciales.

Es importante mencionar algunas de las limitaciones de esta aplicación. En primer lugar, está la restricción en la carga de archivos y textos por parte del usuario. Además, no se ha habilitado la opción de monetizar los eventos creados por el usuario. Inicialmente, la aplicación no incluye la opción de iniciar sesión, por lo que no se puede identificar al usuario. Sin embargo, esta función se integrará en futuras actualizaciones. Por último, no cuenta con un espacio dedicado para entablar conversaciones y formar relaciones profesionales, por lo que representa un área de mejora en términos de la comunicación dentro de la aplicación.

Figura 6

Prototipo final de la aplicación para móviles (A) y para las tabletas (B)



Aplicación del prototipo en las universidades

Hoy en día, la innovación es un factor clave de éxito para el desempeño de las organizaciones, y la innovación organizativa es un elemento estratégico para su transformación y evolución. Las universidades deben adaptarse y proponer nuevas estrategias para fomentar la I+D+i+e+TT+tt a partir de la innovación organizativa. El conectivismo, que se refiere al conocimiento construido a partir de la capacidad de las personas para crear redes utilizando tanto libros como páginas web y hasta las mismas personas de la red, juega un papel crucial en este contexto. En el caso de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se han trazado nuevas estrategias trazadas a partir de las Políticas de Investigación publicadas en 2023. Entre los objetivos de esta política se establece la promoción de vínculos entre diferentes unidades académicas de la USAC y con instituciones de educación superior internacionales. Además, promueve los procesos de difusión y divulgación de los productos generados en la investigación. Sin embargo, todavía no existe una estrategia clara para la vinculación de todos los actores del ecosistema de innovación. Esto hace que este prototipo pueda implementarse a futuro para disminuir la brecha de comunicación entre todos los integrantes del ecosistema y potencializar los recursos disponibles no solo a nivel nacional, sino también a nivel internacional.

Conclusiones

La vinculación e interconexión de todos los actores que componen el ecosistema de innovación universitario representa uno de los desafíos más relevantes en nuestra región. Utilizando la metodología *Design Thinking*, se lograron exitosamente la creación de dos aplicaciones, una para dispositivos móviles y otra para tabletas, destinadas a fomentar la colaboración y el intercambio entre los actores del ecosistema de innovación. Estas aplicaciones potenciarán la colaboración y la innovación en el ecosistema universitario, facilitando la conexión entre investigadores, emprendedores y pymes, al ofrecer acceso a bases de datos científicas y una red de recursos y mentores. Además, optimizarán la transferencia de conocimientos y la formación de proyectos innovadores, fortaleciendo la vinculación académica y empresarial. No obstante, es importante señalar que estos dos prototipos deben someterse a una validación técnica en colaboración con todos los actores del ecosistema para reducir sus

limitaciones e identificar posibles áreas de mejora. También se debe cuantificar la efectividad de la aplicación para interconectar a los actores del sistema de innovación universitario. Asimismo, se debe obtener el porcentaje de interconexión de los actores del ecosistema de innovación utilizando la técnica de mapeo de innovación con el fin de maximizar el potencial de estas dos plataformas y garantizar su eficacia en el apoyo a la I+D+i+e+TT+tt en la región.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: EMAGG

Revisión y búsqueda de literatura: Todos los autores

Lectura y resumen de documentos: Todos los autores

Participación en la estructura y escritura del documento: Todos los autores

Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través <https://doi.org/10.36829/63CTS.v1i1.1679>.

Referencias

- Abello Llanos, R., & Pardo Sánchez, K. (2014). Modelos de investigación y desarrollo en instituciones de educación superior en Colombia: El caso de la universidad del norte en la región caribe de Colombia. *Investigación & Desarrollo*, 22, 187-211.
- Alka, T. A., Sreenivasan, A., & Suresh, M. (2024). Wheel of change: A systematic literature review on innovation and entrepreneurship in micro mobility solutions. *Transport Economics and Management*, 2, 154-168. <https://doi.org/10.1016/j.team.2024.06.004>
- Almpanopoulou, A., Ritala, P., & Blomqvist, K. (2019). Innovation Ecosystem Emergence Barriers: Institutional Perspective. *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.764>
- Al-Youbi, A. O., Zahed, A. H. M., Nahas, M. N., & Hegazy, A. A. (2021). The roles of universities

- in development. En A. O. Al-Youbi, A. H. M. Zahed, M. N. Nahas, & A. A. Hegazy (Eds.), *The Leading World's Most Innovative Universities* (pp. 1-8). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59694-1_1
- Angrisani, M., Cannavacciuolo, L., & Rippa, P. (2023). Framing the main patterns of an academic innovation ecosystem. Evidence from a knowledge-intensive case study. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 29(11), 109-131. <https://doi.org/10.1108/IJEBR-12-2022-1088>
- Apostolidou, A. (2022). Digitally situated knowledge: Connectivism, anthropology and epistemological pluralism. *International Journal of Educational Research*, 115, 102047. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.102047>
- Asplund, F., Björk, J., Magnusson, M., & Patrick, A. J. (2021). The genesis of public-private innovation ecosystems: Bias and challenges. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, Artículo 120378. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120378>
- Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics*, 151, Artículo 103745. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745>
- Baker III, F. W., & Moukhli, S. (2020). Concretising Design Thinking: A content analysis of systematic and extended literature reviews on Design Thinking and human-centred design. *Review of Education*, 8(1), 305-333. <https://doi.org/10.1002/rev3.3186>
- Barrios M. (2012). Marketing de la Experiencia: Principales conceptos y características. *Palermo Business Review*, (7) 67-90.
- Bataineh, M. J., Sánchez-Sellero, P., & Ayad, F. (2023). The role of organizational innovation in the development of green innovations in Spanish firms. *European Management Journal*, 4(4), 527-538. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2023.01.006>
- Beyhan, B., & Findik, D. (2018). Student and graduate entrepreneurship: Ambidextrous universities create more nascent entrepreneurs. *The Journal of Technology Transfer*, 43(5), 1346-1374. <https://doi.org/10.1007/s10961-017-9590-z>
- Bocken, N., Strupeit, L., Whalen, K., & Nußholz, J. (2019). A review and evaluation of Circular Business Model Innovation Tools. *Sustainability*, 11(8), Artículo 2210. <https://doi.org/10.3390/su11082210>
- Bouwman, H., Nikou, S., & de Reuver, M. (2019). Digitalization, business models, and SMEs: How do business model innovation practices improve performance of digitalizing SMEs? *Telecommunications Policy*, 43(9), Artículo 101828. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2019.101828>
- Bradford, K. J., Hatley, R., & MacInnis, D. (2023). Failure is not an option, but it should be: Evaluating the positive impacts of company failures in space Innovation Ecosystems. *New Space*, 11(3), 151-161. <https://doi.org/10.1089/space.2022.0013>
- Cai, Y., & Lattu, A. (2022). Triple Helix or Quadruple Helix: Which model of innovation to choose for empirical studies? *Minerva*, 60(2), 257-280. <https://doi.org/10.1007/s11024-021-09453-6>
- Cai, Y., Ma, J., & Chen, Q. (2020). Higher education in Innovation Ecosystems. *Sustainability*, 12(11), Artículo 4376. <https://doi.org/10.3390/su12114376>
- Cuc, J. E. (2022). El Ecosistema Emprendedor como estructura para la cocreación de valor y redes de cooperación: Caso de estudio Guatemala. *Revista Académica ECO*, 26(1), 1-38. <https://doi.org/10.36631/ECO.2022.26.01>
- Dias Sant'Ana, T., de Souza Bermejo, P. H., Moreira, M. F., & de Souza, W. V. B. (2020). The structure of an innovation ecosystem: Foundations for future research. *Management Decision*, 58(12), 2725-2742. <https://doi.org/10.1108/MD-03-2019-0383>
- Dziubaniuk, O., Ivanova-Gongne, M., & Nyholm, M. (2023). Learning and teaching sustainable business in the digital era: A connectivism theory approach. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), Artículo 20. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00390-w>
- Ferreira-Herrera, D. C. (2016). El modelo CANVAS en la formulación de proyectos. *Cooperativismo & Desarrollo*, 23(107), 69-80. <https://doi.org/10.16925/co.v23i107.1252>
- Flores-Aguilar, E. (2019). Diseño de un centro para emprendedores en una escuela profesional de

- Ingeniería aplicando el modelo Lean Canvas. *Formación Universitaria*, 12(6), 151-166. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062019000600151>
- Fraccascia, L., & Nastasi, A. (2023). Mobile apps against food waste: Are consumers willing to use them? A survey research on Italian consumers. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 18, Artículo 200150. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200150>
- Granstrand, O., & Holgersson, M. (2020). Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. *Technovation*, 90-91, Artículo 102098. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2019.102098>
- Grobelaar, S. S. (2018). Developing a local innovation ecosystem through a university coordinated innovation platform: The university of Fort Hare. *Development Southern Africa*, 35(5), 657-672. <https://doi.org/10.1080/0376835X.2017.1421902>
- Hael, M., Belhaj, F. A., & Zhang, H. (2024). Organizational learning and innovation: A bibliometric analysis and future research agenda. *Heliyon*, 10(11), Artículo e31812. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31812>
- Heaton, S., Siegel, D. S., & Teece, D. J. (2019). Universities and innovation ecosystems: A dynamic capabilities perspective. *Industrial and Corporate Change*, 28(4), 921-939. <https://doi.org/10.1093/icc/dtz038>
- Huang, Y., Li, P., Bu, Y., & Zhao, G. (2023). What entrepreneurial ecosystem elements promote sustainable entrepreneurship? *Journal of Cleaner Production*, 422, Artículo 138459. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138459>
- Liedtka, J. (2015). Perspective: Linking Design Thinking with innovation outcomes through cognitive bias reduction. *Journal of Product Innovation Management*, 32(6), 925-938. <https://doi.org/10.1111/jpim.12163>
- Liu, X., & Li, H. (2021). A preliminary study on connectivism-constructivism learning theory based on developmental cognitive neuroscience and spiking neural network. *Open Journal of Applied Sciences*, 11(08), 874-884. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2021.118064>
- Lu, Y., & Xiong, T. (2023). The attitudes of high school students and teachers toward mobile apps for learning English: A Q methodology study. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), Artículo 100555. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100555>
- Lugmayr, A., Stockleben, B., Zou, Y., Anzenhofer, S., & Jalonen, M. (2014). Applying “Design Thinking” in the context of media management education. *Multimedia Tools and Applications*, 71(1), 119-157. <https://doi.org/10.1007/s11042-013-1361-8>
- Luitel, N. P., Neupane, V., Lamichhane, B., Koirala, G. P., Gautam, K., Karki, E., Adhikari, S., Votruba, N., Jordans, M. J. D., Kohrt, B. A., Carswell, K., Thornicroft, G., & Lempp, H. (2023). Experience of primary healthcare workers in using the mobile app-based WHO mhGAP intervention guide in detection and treatment of people with mental disorders: A qualitative study in Nepal. *SSM - Mental Health*, 4, Artículo 100278. <https://doi.org/10.1016/j.ssmmh.2023.100278>
- Mampota, S., Mokhets'engoane, S. J., & Kurata, L. (2023). Connectivism Theory: Exploring its relevance in informing Lesotho's integrated curriculum for effective learning in the Digital Age. *European Journal of Education and Pedagogy*, 4(4), 6-12. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.4.705>
- Marr, B. (2022, Oct 3). The 5 biggest business trends in 2023 everyone must get ready for now. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2022/10/03/the-5-biggest-business-trends-for-2023/?sh=34b0a8b84217>
- Moreira, A., Navaia, E., & Ribau, C. (2024). Innovation capabilities and their dimensions: A systematic literature review. *International Journal of Innovation Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2024.07.001>
- Nguyen-Thi, H. (2024). Fostering Design Thinking mindset for university students with NPCs in the Metaverse. *Heliyon*, Artículo e34964. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34964>
- OECD & Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018. Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation* (4th ed.), The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>

- Partanen, J., Chetty, S. K., & Rajala, A. (2014). Innovation types and network relationships. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 38(5), 1027-1055. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2011.00474.x>
- Patzelt, H., & Shepherd, D. A. (2009). Strategic entrepreneurship at universities: Academic entrepreneurs' assessment of policy programs. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 33(1), 319-340. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2008.00291.x>
- Purchase, S., & Volery, T. (2020). Marketing innovation: A systematic review. *Journal of Marketing Management*, 36(9-10), 763-793. <https://doi.org/10.1080/0267257X.2020.1774631>
- Quiñones Montellano, A., & Tezanos Vázquez, S. (2015). CYTED: ¿Una apuesta progresiva por la financiación de la ciencia y la tecnología en Iberoamérica? *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad*, 10(29), 191-210.
- Rabelo Neto, J., Figueiredo, C., Gabriel, B. C., & Valente, R. (2024). Factors for innovation ecosystem frameworks: Comprehensive organizational aspects for evolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 203, Artículo123383. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123383>
- Ramadani, V., Hisrich, R. D., Abazi-Alili, H., Dana, L.-P., Panthi, L., & Abazi-Bexheti, L. (2019). Product innovation and firm performance in transition economies: A multi-stage estimation approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.12.010>
- Ramos Méndez, E., Arceo Moheno, G., & Almeida Aguilar, M. A. (2021). Las TIC's en la innovación de los procesos organizacionales de las pequeñas y medianas empresas. *Vinculatégica*, 7(2), 797-809. <https://doi.org/10.29105/vtga7.1-144>
- Rodríguez-Rebés, L., Ibar-Alonso, R., Gómez, L. M. R., & Navío-Marco, J. (2024). The use and drivers of organisational eco-innovation in European SMEs. *Research in International Business and Finance*, 70, Artículo 102297. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102297>
- Rylander Eklund, A., Navarro Aguiar, U., & Amacker, A. (2022). Design thinking as sensemaking: Developing a pragmatist theory of practice to (re) introduce sensibility. *Journal of Product Innovation Management*, 39(1), 24-43. <https://doi.org/10.1111/jpim.12604>
- Saunila, M. (2020). Innovation capability in SMEs: A systematic review of the literature. *Journal of Innovation & Knowledge*, 5(4), 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.11.002>
- Schimperna, F., Nappo, F., & Marsigalia, B. (2022). Student entrepreneurship in universities: The State-of-the-Art. *Administrative Sciences*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/admsci12010005>
- Shih, T., Hu, M.-C., & Chou, J. C.-P. (2024). Navigating an emerging innovation ecosystem: a case study of fuel cell innovation in Taiwan. *Asian Journal of Technology Innovation*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/19761597.2024.2352734>
- Silva, P. M., Moutinho, V. F., & Moreira, A. C. (2022). Do social and economic factors affect the technical efficiency in entrepreneurship activities? Evidence from European countries using a two-stage DEA model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 82, Artículo 101314. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101314>
- Singh, S. (2006). Impact of color on marketing. *Management Decision*, 44(6), 783-789. <https://doi.org/10.1108/00251740610673332>
- Thomas, E., Faccin, K., & Asheim, B. T. (2021). Universities as orchestrators of the development of regional innovation ecosystems in emerging economies. *Growth and Change*, 52(2), 770-789. <https://doi.org/10.1111/grow.2442>
- Tsai, C.-A., Song, M.-Y. W., Lo, Y.-F., & Lo, C.-C. (2023). Design thinking with constructivist learning increases the learning motivation and wicked problem-solving capability - An empirical research in Taiwan. *Thinking Skills and Creativity*, 50, Artículo 101385. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101385>
- Wang, M., Li, Y., Li, J., & Wang, Z. (2021). Green process innovation, green product innovation and its economic performance improvement paths: A survey and structural model. *Journal of Environmental Management*, 297, Artículo 113282. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113282>
- Wang, Y., Hong, A., Li, X., & Gao, J. (2020). Marketing innovations during a global crisis: A study of China firms' response to COVID-19. *Journal*

- of Business Research*, 116, 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.029>
- Yin, D., Ming, X., & Zhang, X. (2020). Sustainable and smart product innovation ecosystem: An integrative status review and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 274, Artículo 123005. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123005>
- Zhang, J., Calabrese, C., Ding, J., Liu, M., & Zhang, B. (2018). Advantages and challenges in using mobile apps for field experiments: A systematic review and a case study. *Mobile Media & Communication*, 6(2), 179-196. <https://doi.org/10.1177/2050157917725550>

Desarrollo de un prototipo para la vinculación de los actores del ecosistema de innovación universitario

Development of a prototype for linking actors in the university innovation ecosystem

Edward M. A. Guerrero-Gutiérrez ^{1*}, Johanna Pelay ², Zoila Guerra de Castillo ³

¹Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala

²i3lab Entrepreneurship and Innovation Center, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

³Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá

*Autor al que se dirige la correspondencia: edward.guerrero@upr.edu

Materiales suplementarios

Figura S1



Figura S2

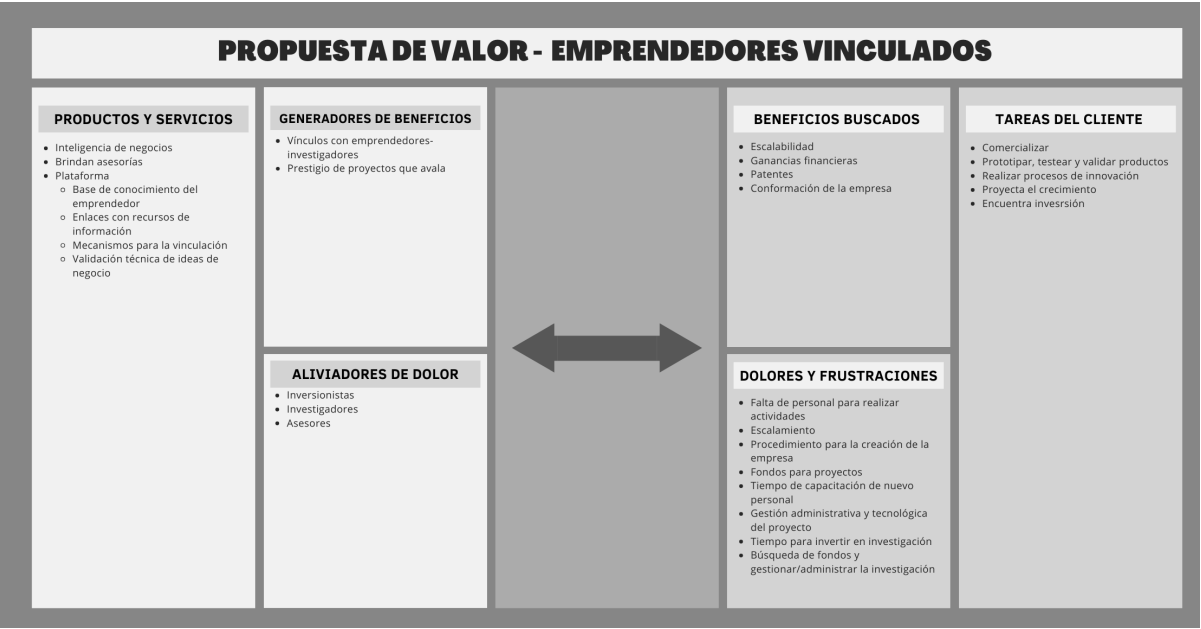


Figura S3

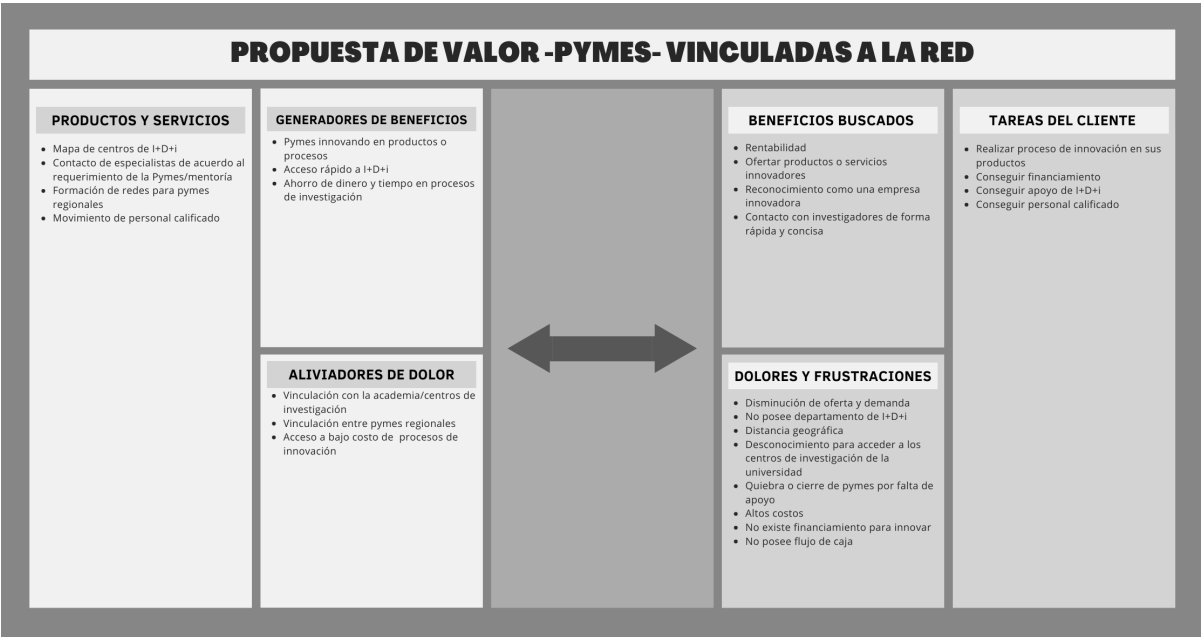


Figura S4

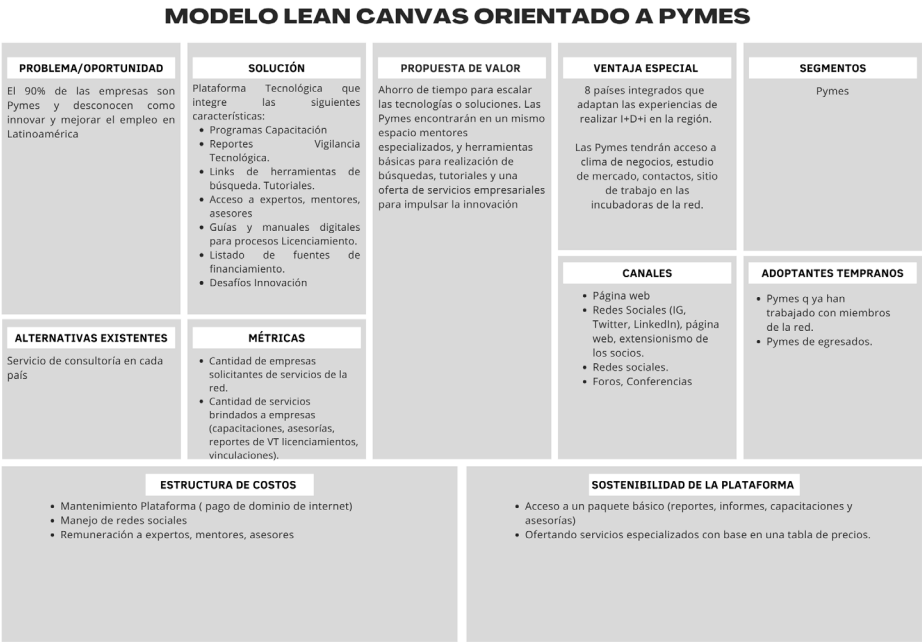


Figura S5

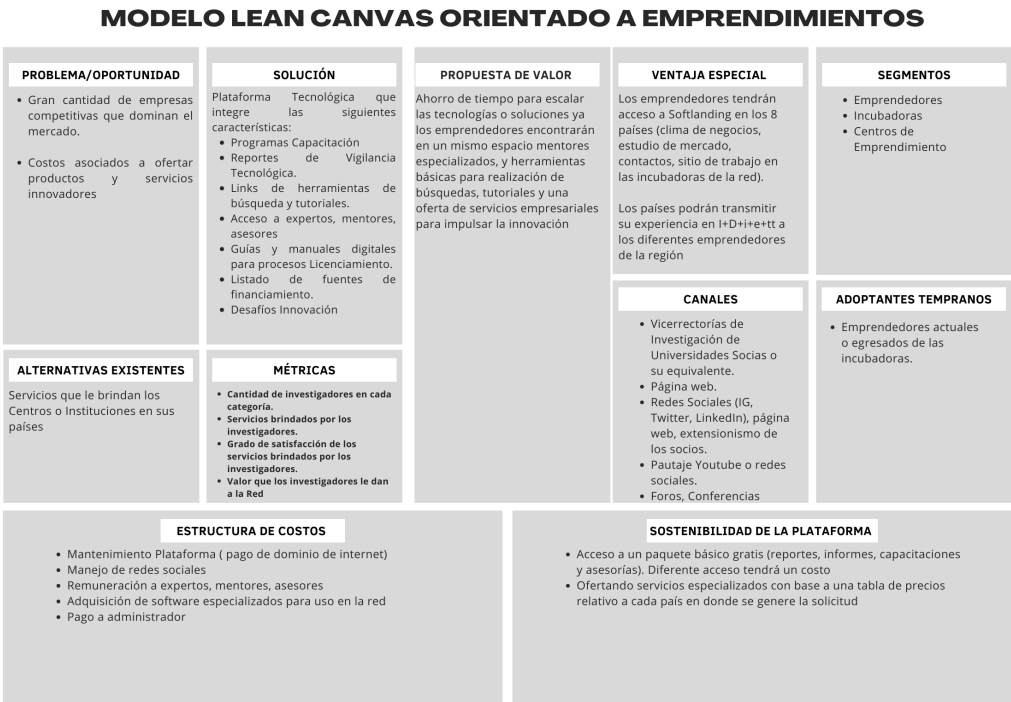
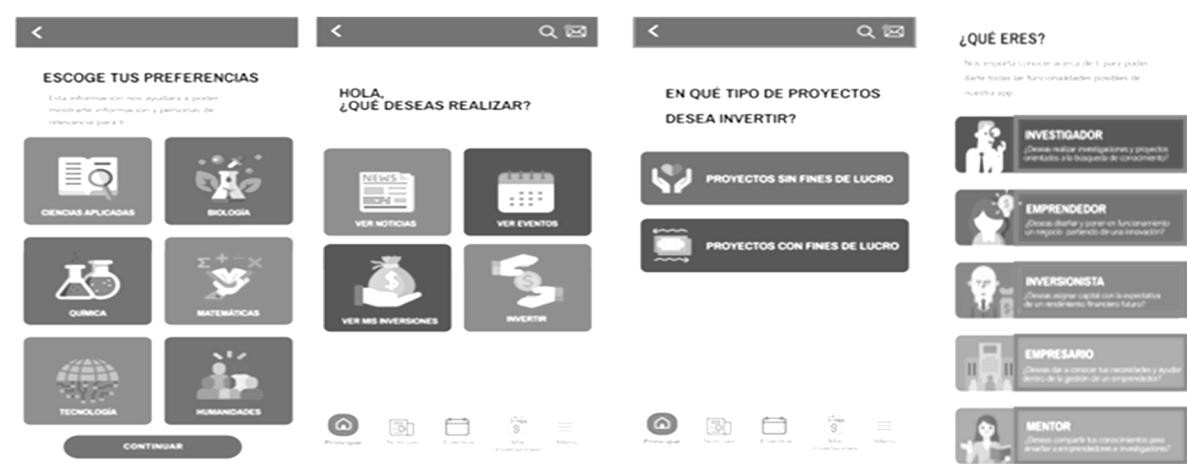


Figura S6



Plantas con semillas introducidas en Guatemala

Introduced seed plants in Guatemala

Jorge Jiménez Barrios  ^{1*}

¹Centro de Estudios Biológicos y Sociales de Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: *jbjimenezbarrios@gmail.com

CAPÍTULO 17

PLANTAS INTRODUCIDAS A GUATEMALA

ANA LUCRECIA DE MACVEAN, HANNAH ZINN



Ilustración en acuarela de *Pontederia crassipes*
por Diana Winter García.

BIODIVERSIDAD DE GUATEMALA III

Nota. MacVean, A. L. de & Zinn, H. (2023). Plantas introducidas a Guatemala. In J. C. Schuster, J. Yoshimoto, & J. M. Sierra (Eds.), *Biodiversidad de Guatemala, Vol. III*. (pp. 368–384). Universidad del Valle de Guatemala. ISBN 978-9929-8342-2-4. <https://www.uvg.edu.gt/servicios/libros-editorial-universitaria/>

El capítulo forma parte de un volumen que, a su vez, integra a una serie de publicaciones dedicadas a actualizar el conocimiento de la diversidad biológica de Guatemala, enfocándose principalmente en aspectos taxonómicos, pero también en ecológicos. Los tres volúmenes de esta serie (Vol. I, 2006; Vol. II, 2012; Vol. III, 2023) muestran una tendencia a reducir el contenido sobre los organismos reconocidos como parte de la flora (fotosintéticos y hongos), pasando del 47% de los capítulos en el primer volumen, al 27% en el segundo, y al 15% en el último. Este cambio refleja una disminución en el cuidado con el que se elaboran los capítulos sobre la flora.

La contribución del capítulo es, sin duda, valiosa, ya que documenta 614 plantas no nativas introducidas a Guatemala. Esta cantidad supera la lista presentada en un estudio anterior, en el que participó la primera autora, que reportaba 437 especies de plantas con semillas y una especie de helecho cultivada (438 en total; Rojas-Sandoval et al., 2022). Sin embargo, a juicio de este reseñador, el título del capítulo excede con creces el alcance de su contenido.

El título, al referirse a las “plantas”, genera la expectativa de encontrar información sobre las plantas vasculares y no vasculares introducidas en Guatemala, ya que este es el uso común del término en la actualidad. Por lo tanto, sería conveniente aclarar que no se incluyen plantas no vasculares, y que las vasculares se abordan solamente de manera parcial. Aunque el texto especifica que su objeto de estudio son las plantas vasculares, casi omite a las que no producen semillas, como los helechos, de los cuales solamente se menciona una especie exótica cultivada.

A partir de punto, este análisis se centra en los helechos (Monilophyta), grupo filogenético de interés del reseñador, y en las posibles fuentes de error en este capítulo. Se propone considerar que el alcance del capítulo está limitado por tres factores principales, que a su vez constituyen sugerencias para desarrollar estudios a futuro más valiosos: (i) se omite la bibliografía existente con referencias a especies de flora introducidas en Guatemala, algunas con antigüedad de más de 40 años (Stolze, 1981), producidas por varios especialistas (*Flora Mesoamericana*), incluso una que forma parte de la misma serie de volúmenes al que pertenece este capítulo (Jiménez, 2012); (ii) el trabajo de campo se centró en especies cultivadas en viveros privados y municipales, utilizadas con fines ornamentales; (iii) se incluyó el análisis de listas y bases de datos nacionales e internacionales, las cuales, aunque pueden constituir una valiosa fuente de información, requieren un manejo cuidadoso para asegurar la precisión en la identificación de nombres específicos.

La utilidad de una lista con registros sobre plantas vasculares con semillas introducidas en Guatemala es indiscutible, ya que las especies invasoras son una de las principales fuentes de pérdida y degradación de la diversidad biológica, con impactos tanto ecológicos como económicos. El uso de la tierra con fines agrícolas y pecuarios se extiende en la mayor parte del territorio del país, por lo que, a diferencia de lo sugerido

por las autoras del capítulo, es allí donde se encuentra la mayor fuente de propágulos de plantas exóticas, y no en los viveros. Esto convierte a las plantas arvenses y espontáneas no solamente en las candidatas de los futuros procesos de domesticación de plantas por parte de la humanidad, sino también, al ser exóticas y naturalizadas, en candidatas del protagonismo de futuras invasiones biológicas.

Referencias

- Jiménez, J. (2012). Los helechos (Monilophyta: Psilotopsida, Equisetopsida, Marattiopsida, Polypodiopsida) de Guatemala. In E. Cano & J. C. Schuster (Eds.), *Biodiversidad de Guatemala, Vol. II*. (pp. 9-16). Universidad del Valle de Guatemala.
- Rojas-Sandoval, J., Ferrufino-Acosta, L., Flores, R., Galán, P., López, O., MacVean, A., Rodríguez, D., Ruiz, Y., & Chacón-Madrigal, E. (2023). Flora introduced and naturalized in Central America. *Biol Invasions*, 25, 1007-1021. <https://doi.org/10.1007/s-10530-022-02968-3>
- Stolze, R. (1981). Ferns and fern allies of Guatemala, Part II, Polypodiaceae. *Fieldiana Botany, New Series* 6, 1-522.

Instrucciones para autores

Ciencia, Tecnología y Salud es la Revista de Investigación y Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, orientada a divulgar los conocimientos de las áreas científicas, tecnológicas y de la salud humana y animal a la comunidad científica nacional e internacional. Constituye una publicación de carácter semestral no lucrativa en formato digital (Open Journal System-OJS) y en forma impresa, cuyos manuscritos, aceptados para publicación son sometidos a procesos de revisión y arbitraje por pares ciegos y externos, lo que garantiza al lector y autores un alto nivel y rigor académico.

Instrucciones generales (lea detenidamente todas las instrucciones para autor)

1. La Revista publica los siguientes tipos de manuscritos:
 - a. Artículos científicos
 - b. Artículos de revisión
 - c. Ensayos
 - d. Reseñas
 - e. Reporte de casos
 - f. Comunicaciones cortas
 - g. Conferencias de congresos científicos
 - h. Resúmenes de congreso
2. La revista presta consideración editorial a artículos originales inéditos en idioma español e inglés. Si el material a publicar ha sido presentado en forma parcial en algún Congreso Científico, indíquelo al final del resumen o en carta al editor.
3. Para enviar un manuscrito regístrese como autor en la plataforma OJS, (sección registrarse), los artículos incompletos que no cumplan las Instrucciones para Autores, serán devueltos sin evaluación.
4. Todos los trabajos deben presentarse en formato MS Word (versión 2007) o formato LaTeX (por medio de la plantilla que puede descargar en <https://github.com/hepfpeh/cts-DIGI>). Tamaño carta, letra Times New Roman 12 puntos, interlineado de 1.5, márgenes de 2.5 cm, a una columna, sin justificar, páginas numeradas y las citas y referencias de acuerdo al Manual de Publicaciones de la *American Psychological Association* (APA) 7a. edición. El sistema de medidas utilizado debe ser el sistema métrico decimal y las palabras en otro idioma deben aparecer en cursiva, excepto las abreviaturas comunes en el idioma en que se escribe (et al., per se, a priori, etc.)
5. Todos los trabajos deben incluir una portadilla, donde se consigne el título corto (no mayor a 11 palabras), título en español e inglés, los nombres de los autores (nombre, apellido), su afiliación institucional (utilizar números arábigos en superíndice) y dirección electrónica para enviar correspondencia (se indicará al autor con un asterisco).
6. Los manuscritos que informen investigaciones con seres humanos o animales, deben incluir una sección de Aspectos Éticos del trabajo, incluyendo la aprobación por un Comité de Ética cuando corresponda, el consentimiento informado en caso de estudios con seres humanos y los procedimientos utilizados para el manejo ético de animales de laboratorio.

7. Las tablas, figuras e imágenes, deben ser enviadas en archivos separados (archivos complementarios OJS) y en el formato original utilizado (Ej. .doc, .docx, .xls, .xlsx, .png, .jpg, TIFF). Las imágenes en colores, deben tener un mínimo de 300 dpi de resolución. Para el caso de mapas, se debe colocar los créditos, sistema de coordenadas y escala.

Instrucciones específicas:

Se recomienda a los autores revisar un número anterior de la revista para visualizar el contenido del artículo previo a su envío.

1. Artículo científico

Son artículos que informan sobre resultados de proyectos de investigación. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: Objetivos, metodología, resultados más relevantes y conclusión. No más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract (inglés): Objetivos, metodología, resultados más relevantes y conclusión. No más de 250 palabras, incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Métodos
- e. Resultados
- f. Discusión
- g. Agradecimientos (incluir fuente y número de financiamiento)
- h. Referencias (Normas APA)
- i. Tablas y Figuras (Normas APA)

2. Artículos de revisión

Los artículos de revisión presentan temas de importancia tratados por expertos y únicamente se aceptan por invitación del Consejo Editorial. La extensión máxima es de 20 páginas y deben incluir lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract (inglés): incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Contenido
- e. Conclusiones
- f. Referencias (mínimo 50 referencias)
- g. Tablas y Figuras (Normas APA)



3. Ensayos

Los ensayos son trabajos en que el autor aborda su interpretación de un tema relevante a la ciencia, la tecnología o la salud. Plantea argumentos y opiniones personales basados en literatura científica, concluyendo con una posición sobre el tema seleccionado. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract
- c. Introducción
- d. Contenido
- e. Conclusiones
- f. Referencias (Normas APA)

4. Reseñas

Las reseñas son revisiones y comentarios sobre nuevos libros (con ISBN), videos u otras obras. Su extensión máxima es de dos páginas y su formato es libre. Debe incluir la referencia bibliográfica completa, fotografía de la obra y dirección electrónica cuando aplique.

5. Reporte de casos

Estos artículos presentan en forma detallada y documentada casos especiales que merezcan la atención del ámbito de la revista. Pueden ser casos clínicos, tecnológicos o de otros campos de la ciencia. La extensión máxima es de 10 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract: incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Presentación del caso
- e. Discusión
- f. Referencias (Normas APA)
- g. Tablas y Figuras (Normas APA)

6. Comunicaciones cortas

Estos artículos presentan datos de interés sobre un estudio limitado o resultados preliminares de una investigación de impacto. Los artículos breves incluyen (pero no se limitan): desarrollo de nuevos materiales, experimentos y teoría de vanguardia, novedad en simulación y modelación, elucidación de mecanismos químicos. La extensión máxima es de 10 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- b. Abstract: incluir 5 keywords
- c. Introducción
- d. Métodos
- e. Resultados
- f. Discusión
- g. Agradecimientos
- h. Referencias

7. Conferencias de congresos científicos

Son conferencias presentadas en congresos o eventos científicos acordes a la temática de la revista. El Comité Organizador del congreso o evento científico hace una solicitud formal al Comité Editorial para la asignación editorial. Las conferencias son revisadas, editadas y seleccionadas por el Comité Organizador y no son evaluadas por pares. La extensión máxima es de 20 páginas e incluye lo siguiente:

- a. Portadilla
- b. Resumen: no más de 250 palabras. Incluir 5 palabras clave
- c. Abstract y keywords
- d. Introducción
- e. Contenido
- f. Conclusiones
- g. Referencias (Normas APA)

8. Resúmenes de congreso

Se publicarán ponencias orales o de poster de Congresos que así lo soliciten. Los trabajos incluyen:

- a. Título en español e inglés
- b. Nombre y afiliación de los autores
- c. Nombre del autor responsable al que se dirige la correspondencia
- d. Resumen: objetivo, metodología, resultados más relevantes y conclusión. Máximo 250 palabras, incluir 5 palabras clave.
- e. Abstract (resumen en inglés), incluir 5 keywords.
- f. Nombre del Congreso, lugar y fecha, y modo en que fue presentado (Oral o Póster)

Proceso de publicación

El proceso de publicación tiene tres etapas. La primera realizada por el Comité Editorial para revisar formato, redacción, estructura y estadística; con las observaciones se devuelve al autor para su corrección. La segunda etapa consiste en el envío a pares ciegos externos, en caso de opiniones contradictorias, se enviará a un tercer par. La última etapa consiste en la edición final (filología), diagramación y aceptación de prueba de imprenta. Los autores deberán contestar las demandas de corrección en cada etapa, en un máximo de 30 días, en caso contrario, el manuscrito se declarará rechazado y deberá comenzar el trámite de aceptación nuevamente.

Editorial

Artículos Científicos

Análisis comparativo de tecnologías sustitutivas para la medición del potencial eólico en las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur

Sergio A. López

Síntesis y caracterización de dos materiales azo: Comparación entre un compuesto sulfonado y su análogo no sulfonado

Byron López-Mayorga, Edward M. A. Guerrero-Gutiérrez, Allan Vásquez-Bolaños, José Castillo-Aroyave, Heriberto Pfeiffer

Optimización de la biosíntesis de polihidroxialcanoatos por bacterias nativas de Guatemala utilizando suero lácteo como sustrato

Ricardo Figueroa, Osberth Morales, Gustavo Álvarez, María del Carmen Bran

Ensayos Científicos

Desarrollo de un prototipo para la vinculación de los actores del ecosistema de innovación universitario

Edward M. A. Guerrero-Gutiérrez, Johanna Pelay, Zoila Guerra de Castillo

Reseña

Plantas con semillas introducidas en Guatemala

Jorge Jiménez Barrios

Los artículos científicos son indexados en:

latindex ROAD

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



<http://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas>