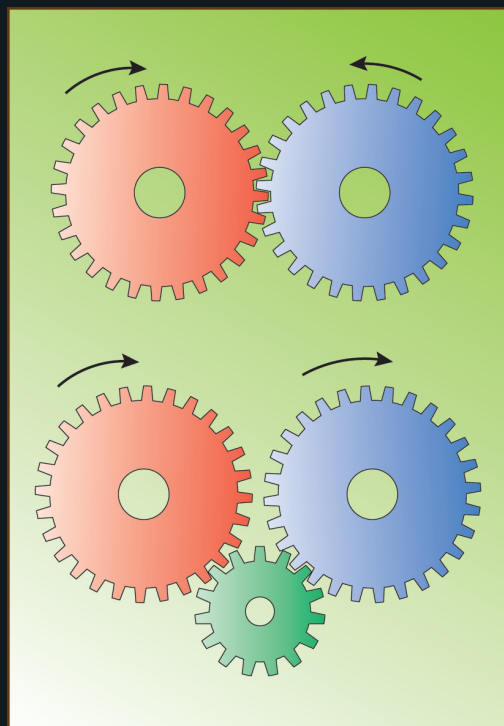
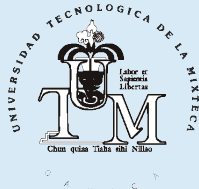




VOLUMEN 30 NÚMERO 88 ENERO - ABRIL 2026

- Modelos de distribución de especies, una herramienta para el uso y conservación de la biodiversidad
- Insectos: Un alimento sorprendentemente nutritivo
- Viaje microscópico al interior de las plantas; conversando con las bacterias
- Simulador didáctico en el diseño y evaluación de intercambiadores de calor de tubos y coraza
- Análisis con técnicas de clustering de los hábitos alimenticios de estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México

● ENSAYOS ● NOTAS ● FRONTERAS DE LA CIENCIA ● VIDA ACADÉMICA EN LA UTM ● LIBROS



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Rector

Raúl Salas Coronado

Vice-Rectora Académica

Silvia Reyes Mora

Vice-Rector de Administración

José Luis Ramos Espinoza

Vice-Rectora de Relaciones y Recursos

Miriam Guadalupe Carrasco

Domínguez

Coordinadora de Investigación

Beatriz Hernández Carlos

TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

E-ISSN 3122-427X

Consejo Editorial

Director

Alberto Antonio García.

Edith Graciela González Mondragón

Instituto de Agroindustrias

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Luz Hermila Villalobos Delgado

Instituto de Agroindustrias

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Onésimo Chavez López

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Liliana Eneida Sánchez Platas

Instituto de Diseño

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Gabriela Álvarez Olguín

Instituto de Hidrología

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Cuauhtémoc Héctor Castañeda Roldán

Instituto de Física y Matemáticas

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Rocío Gabriela Tirado Mendoza

Facultad de Medicina

Universidad Nacional Autónoma de México

Guadalupe Virginia Nevárez Moorillón

Facultad de Ciencias Químicas

Universidad Autónoma de Chihuahua

Zulma Janet Hernández Paxtián

Instituto de Farmacobiología

Universidad de la Cañada

Hilda Elizabeth Reynel Ávila

Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Revisión de estilo

Reina Ortiz Escamilla

Coordinación editorial

Consuelo Jaqueline Estrada Bautista

Asistente Editorial

Fernando Johannes Paz Ríos

Ángel Martínez Castro

Traductores

Christopher Shackley

Sumario

Ensayos

- 3 Modelos de distribución de especies, una herramienta para el uso y conservación de la biodiversidad
Jorge Antonio Gómez-Díaz, Maite Lascurain-Rangel, Christian Alejandro Delfín-Alfonso
- 11 Insectos: Un alimento sorprendentemente nutritivo
Nancy Alonso-Hernández, Carlos Granados-Echegoyen, Rafael Pérez-Pacheco
- 17 Viaje microscópico al interior de las plantas; conversando con las bacterias
Tania Mariela Vázquez-Ríos, Alfonso Vázquez-López
- 25 Simulador didáctico en el diseño y evaluación de intercambiadores de calor de tubos y coraza
Alfonso Flores-Meza, Lizbeth Contreras-Romero, Sergio Juárez-Vázquez, Sandro Acevedo-Zapata
- 35 Análisis con técnicas de clustering de los hábitos alimenticios de estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México
Antonio Orantes Molina, Rosebet Miranda luna



Figura 8. Habilitación de estanques rústicos.
Página 62

Notas

- 43 Atrapando la luz: micro-dunas plateadas sobre vidrio por implantación iónica
Cristian Felipe Cruz-García
- 49 ¿El pastoreo afecta la acumulación y asimilación del almidón en *Neltuma laevigata* (Fabales: Fabaceae)?
Martha Gabriela Armijo-Nájera, Luis Manuel Valenzuela-Nuñez, Dalia Ivette Carrillo-Moreno, Francisco Gerardo Veliz-Deras, Edwin Amir Briceño-Contreras

Fronteras de la ciencia

- 53 •Una sustitución atómica logra un 52% más de energía: la batería de sodio que podría desafiar al litio y durar 10,000 ciclos •Descubren un metal cuántico con electrones que se derriten a 298 °C y podrían cambiar los chips •Un nuevo gel inteligente libera insulina automáticamente y podría evitar las inyecciones a los diabéticos •La depresión postvideojuego existe, y los datos ya revelan qué tipo de jugador la sufre con mayor intensidad •Dos ballenas jorobadas de récord: Documentan por primera vez una travesía de más de 14,000 kilómetros entre Brasil y Australia •Arqueólogos reconstruyen con satélites espía una red de más de 130 kilómetros de posibles canales y revelan cómo un rey convirtió una llanura seca en el corazón de su reino •Un avance tecnológico pionero utiliza la WiFi para crear un sistema de posicionamiento exacto donde el GPS no puede llegar.

Vida Académica

- 57 Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

Dra. Lilia Alejandra Flores Castillo

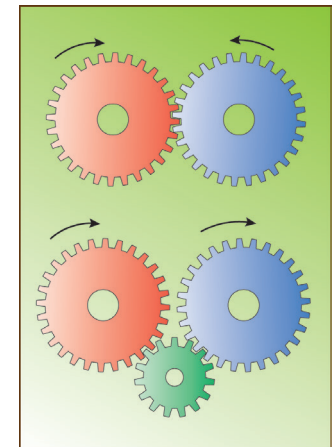
Reseña de Libro

- 67 Docencia universitaria en transformación: metodologías activas, inteligencia artificial y nuevas competencias

M.R. Rafael Adrián García García

PORTADA:

Alberto Antonio García



TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, Año 30, No. 88 Enero - Abril 2026, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Av. Doctor Modesto Seara Vázquez No. 1 Acatlilma, C.P. 69000, Huajuapán de León, Oaxaca. Tel. 01(953) 53 203 99 ext. 782. Página electrónica de la revista: <https://temascyt.utm.mx/index.php/temas/issue/archive>, Correo electrónico: temas@mixteco.utm.mx. Editor responsable: Dr. Alberto Antonio García. Certificado de Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2025-111909115500-102, E-ISSN: 3122-427X ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dr. Alberto Antonio García. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Av. Doctor Modesto Seara Vázquez No. 1 Acatlilma, C.P. 69000, Huajuapán de León, Oaxaca, fecha de última modificación: 29 de abril de 2026. Tamaño de archivo: 16.9 MB.

Ensayo expositivo

Modelos de distribución de especies, una herramienta para el uso y conservación de la biodiversidad

Species distribution models: a tool for the use and conservation of biodiversity

Jorge Antonio Gómez-Díaz^{1*}, Maite Lascurain-Rangel², Christian Alejandro Delfín-Alfonso¹

¹Instituto de Investigaciones Biológicas
Universidad Veracruzana

²Red de ambiente y Sustentabilidad
Instituto de Ecología A.C.

Autor de correspondencia:

*jorggomez@uv.mx

Recibido: 08-02-2023 Aceptado: 13-04-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Ante la crisis de la biodiversidad, los Modelos de Distribución de Especies surgen como herramientas críticas para la conservación y el manejo forestal. Este ensayo analiza la evolución de estas técnicas, desde la cartografía manual hasta los algoritmos de aprendizaje automático, destacando la importancia del nicho ecológico. La metodología empleada consistió en la curación de registros bióticos de bases de datos globales y en la integración de variables bioclimáticas, edáficas y topográficas mediante un enfoque de modelado de ensamble (Ensemble Modelling). Como caso de estudio, se modeló la distribución potencial del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), una especie de alto valor biocultural en la región totonaca. Los resultados revelan áreas de alta idoneidad que trascienden su distribución actual e identifican sitios propicios en San Luis Potosí, Hidalgo, Tabasco, Guatemala y Honduras. Se concluye que el uso de estas herramientas tecnológicas permite transitar de una conservación reactiva a una gestión proactiva, facilitando la identificación de áreas para la restauración, el fortalecimiento de los sistemas agroforestales y la seguridad alimentaria en Mesoamérica. El análisis espacial, apoyado en la disponibilidad de datos abiertos y en la capacidad de cómputo, se posiciona como un pilar fundamental para el diseño de políticas públicas orientadas al desarrollo sostenible y a la preservación del patrimonio natural.

Palabras clave: Cachichín, conservación, ecología, especies amenazadas, *Oecopetalum mexicanum*.

Abstract

In the face of the biodiversity crisis, Species Distribution Models emerge as critical tools for conservation and forest management. This essay analyzes the evolution of these techniques, from manual mapping to machine learning algorithms, highlighting the importance of ecological niche. The methodology involved extracting biotic records from global databases and integrating bioclimatic, edaphic, and topographic variables using an ensemble modeling approach. As a case study, the potential distribution of the cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), a species of high biocultural value in the Totonac region, was modeled. The results reveal areas of high suitability that transcend its current distribution, identifying favorable sites in San Luis Potosí, Hidalgo, Tabasco, Guatemala, and Honduras. It is concluded that the use of these technological tools enables a transition from reactive conservation to proactive management, facilitating the identification of restoration areas, strengthening agroforestry systems, and enhancing food security in Mesoamerica. Spatial analysis, supported by the availability of open data and computing capacity, is a fundamental pillar in the design of public policies oriented toward sustainable development and the preservation of natural heritage.

Keywords: Cachichín, conservation, ecology, threatened species, *Oecopetalum mexicanum*.

Introducción

La conservación y el uso sostenible de las especies silvestres –flora y fauna– deben recurrir a múltiples herramientas para conocer las características ambientales idóneas donde estas habitan, con el fin de elaborar estrategias que contribuyan a su conservación. Existen diversas herramientas y métodos que

emplean los científicos para identificar áreas idóneas donde las especies viven y se desarrollan. Uno de los métodos más usados en los últimos años es la modelación de la distribución de especies (MDE o SDM por sus siglas en inglés), un método bien conocido en ecología cuantitativa (Franklin, 2010) y el más utiliza-

do en las evaluaciones de impacto del cambio global para proyectar posibles cambios futuros en los espacios de distribución geográfica de las especies. Los modelos de distribución de especies identifican con alta probabilidad sitios idóneos donde las especies podrían sobrevivir en condiciones similares a las de su hábitat original.

Los modelos de distribución de especies requieren un análisis exhaustivo de las condiciones ambientales que determinan los sitios óptimos para que una especie pueda sobrevivir (la denominada idoneidad ambiental), lo cual incide directamente en la productividad, la toma de decisiones, la planificación de la conservación y el uso sostenible de las especies silvestres o cultivadas. Los modelos de distribución de especies sirven para modelar la distribución geográfica de las especies y fueron descritos teóricamente por Evelyn Hutchinson en 1944 y puestos en práctica desde los años 1990 debido al desarrollo de múltiples algoritmos de modelación.

Desarrollo

El concepto de nicho

Para comprender cómo los MDE logran predecir la presencia de un organismo en el espacio geográfico, es imperativo profundizar en la piedra angular de la ecología moderna: el concepto de nicho ecológico. Aunque el término ha evolucionado desde las observaciones de Grinnell y Elton a principios del siglo XX, fue Hutchinson (1957) quien revolucionó la disciplina al definir el nicho como un hipervolumen de n dimensiones. En este esquema, cada dimensión representa una variable ambiental (temperatura, precipitación, pH del suelo, entre otras) que permite a una especie mantener una tasa de crecimiento poblacional positiva a largo plazo.

Bajo esta perspectiva, resulta fundamental distinguir entre dos estados del nicho que determinan la distribución real de las especies. En primer lugar, encontramos el nicho fundamental. Este representa el espectro total de condiciones ambientales en las que una especie puede sobrevivir y reproducirse en ausencia de interacciones con otros organismos (Hutchinson, 1957). Es, en esencia, el potencial fisiológico de la especie; el “donde podría vivir” si el mundo fuera un laboratorio controlado. Sin embargo, la naturaleza no opera de forma aislada.

En la práctica, la distribución de los organismos está restringida por factores bióticos. Es aquí donde surge el concepto de nicho efectivo (o nicho real). Según explican Soberón y Peterson (2005), el nicho efectivo es la fracción del nicho fundamental que la especie ocupa tras considerar las limitaciones impuestas por la competencia, la depredación, el parasitismo y la presencia de polinizadores o simbiontes necesarios. Mientras que el nicho fundamental está delimitado por la tolerancia abiótica, el nicho efectivo está moldeado por la comunidad biológica circundante.

Esta distinción es crucial para el modelado de distribuciones. Muchos MDE capturan principalmente el nicho climático (una aproximación al fundamental), pero para una conservación efectiva, debemos entender que una especie puede estar ausente de un sitio con clima perfecto simplemente porque un competidor más fuerte ocupa ese espacio o porque su dispersor de semillas ha desaparecido (Soberón y Peterson, 2005). Por lo tanto, el uso de herramientas de modelado no solo implica mapear variables climáticas, sino también interpretar cómo la historia biogeográfica y las interacciones locales filtran el potencial de una especie hasta confinarla a su nicho real.

Evolución histórica

La historia de cómo entendemos la ubicación de la vida sobre la Tierra ha pasado de una observación pasiva a una capacidad predictiva casi matemática. En sus inicios, la biogeografía dependía exclusivamente de los mapas de puntos. Estas eran representaciones manuales en las que naturalistas y exploradores marcaban con una señal física el lugar exacto de recolección de un espécimen. Si bien estos registros, resguardados en herbarios y museos, constituyen la base de la biodiversidad, presentaban una limitación crítica: solo mostraban el “dónde ha estado” de la especie, dejando en blanco las vastas áreas no exploradas (Petersen et al., 2011).

La verdadera transformación comenzó con la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la disponibilidad de datos satelitales. A finales del siglo XX, los investigadores dejaron de ver los puntos como datos aislados para entenderlos como coordenadas vinculadas a capas de información ambiental. Como señalan Guisan y Thuiller (2005), este

cambio de paradigma permitió pasar de un enfoque descriptivo a uno estadístico, en el que el objetivo ya no era solo documentar una presencia, sino inferir las reglas ambientales que rigen dicha presencia.

El salto hacia la complejidad algorítmica ocurrió con el desarrollo de herramientas de aprendizaje automático o machine learning. Pasamos de modelos lineales simples, que asumían relaciones directas entre el clima y la especie, a algoritmos como MaxEnt (Máxima entropía) o Random Forest. Estos modelos son capaces de procesar interacciones no lineales y realizar miles de iteraciones para identificar patrones que el ojo humano no podría detectar en un mapa convencional (Phillips, Anderson y Schapire, 2006).

Hoy en día, el modelado de la distribución de especies no es solo una técnica de escritorio, sino una disciplina dinámica. La evolución ha sido tal que actualmente podemos proyectar estas reglas matemáticas hacia el pasado para entender los refugios glaciares o hacia el futuro para predecir el impacto del cambio climático (Guisan y Thuiller, 2005). En el caso de especies con distribución restringida, esta evolución tecnológica permite que pasemos de simples puntos de avistamiento a mapas que guían decisiones críticas de reforestación y de protección legal.

Funcionamiento de los modelos de distribución de especies

Los modelos de distribución de especies requieren observaciones de biodiversidad georreferenciadas (registros de presencia o colectas científicas) y variables ambientales que pueden ser capas geográficas de información ambiental (como el clima, atributos del suelo, topografía, etc.). Afortunadamente, la mayoría de los datos son de acceso libre; por ejemplo, existen repositorios en línea que proporcionan datos sobre la presencia de las especies, como la plataforma del Servicio Mundial de Información sobre la Biodiversidad y el Sistema de Información sobre la Biodiversidad Oceánica (GBIF y OBIS, por sus siglas en inglés, respectivamente). También hay información sobre el clima de la superficie terrestre (por ejemplo, en las plataformas de WorldClim y CHELSA), así como sobre la cobertura del suelo y otros productos de teledetección, como los de Copernicus, el programa de la Unión Europea para la observación de la Tierra.

Para relacionar las observaciones de la biodiversidad con las condiciones ambientales favorables, se utilizan diferentes algoritmos estadísticos y de aprendizaje automático (p. ej., GLM, GAM, GARP, Bioclim, etc.), entre los cuales el más utilizado en la última década es el de máxima entropía (MaxEnt). La ventaja de este algoritmo es que solo requiere presencias conocidas y puede funcionar especialmente con información incompleta en comparación con otros enfoques de modelación (Elith et al., 2006). MaxEnt ha sido utilizado con éxito para predecir la distribución de diversos organismos como corales pétreos, algas marinas, plantas raras y muchas otras especies (Elith et al., 2006). También se ha utilizado para modelar la distribución de cultivos hortícolas, como el café y el mango. Una vez estimada la relación biodiversidad-medio ambiente, se realizan predicciones espaciales mediante la proyección del modelo con las capas ambientales disponibles y la generación de modelos espacialmente explícitos que ayudan a la toma de decisiones informadas en materia de manejo y conservación de diversas especies y ecosistemas.

Aplicaciones

La principal aplicación de los modelos de distribución de especies es la identificación de las áreas donde habita una especie. Esto puede contribuir a su conservación efectiva, identificando vacíos (zonas donde la especie no está protegida por alguna área natural protegida) y evaluando su estatus de conservación de acuerdo con las leyes mexicanas (NOM-059) o internacionales (lista Roja de la UICN). Un estudio que sirve de ejemplo es el de Raxworthy et al. (2003), en el que los modelos de distribución de especies demostraron una capacidad significativa para predecir la distribución de camaleones en Madagascar. En particular, estos modelos identificaron tres áreas donde se registraron siete especies de camaleones nuevas para la ciencia. Es decir, estos modelos no solo sirven para identificar las áreas de distribución de las especies, sino que también ofrecen un potencial innovador para el descubrimiento de lugares donde habitan especies desconocidas.

Otra utilidad de los modelos de distribución de especies es ayudar en la reintroducción de especies; por ejemplo, D'Elia et al. (2015) los usaron para reintroducir al cóndor de California (*Gymnogyps californicus*).

nianus), identificando grandes áreas de hábitat adecuadas fuera del área de distribución conocida del cóndor y sugiriendo nuevos posibles sitios de reintroducción y recuperación para esta especie. Por último, los modelos de distribución de especies también permiten evaluar la respuesta de los taxones a los cambios meteorológicos y climáticos, identificando las áreas donde una especie puede ser susceptible de desaparecer y las que deberían ser protegidas para facilitar la migración y la adaptación.

Caso de estudio: el cachichín

A modo de ejemplo, construimos un modelo de distribución del árbol llamado “cachichín” (*Oecopetalum mexicanum*), cuyo fruto es comestible y endémico de Mesoamérica, como se muestra en la Figura 1 (Hernández-Urban et al., 2019). Esta especie crece en el ecotono entre el bosque caducifolio y la selva alta subperennifolia, entre 850 y 1100 msnm. El clima donde habita la especie es cálido, húmedo y templado. Se maneja en bosques enriquecidos llamados cachichinales, en los sistemas de café y en los huertos de las casas (Lascurain-Rangel et al., 2013).

Es un árbol que forma parte de la identidad cultural de la región, cuya fruta se seca a la sombra para posteriormente tostarse o hervirse (Figura 2 y Figura 3). Para consumirlo, se extrae la semilla, que tiene un sabor amargo (Lascurain-Rangel et al., 2013). La venta del fruto de cachichín representa un ingreso importante por temporada para muchas familias de la región; su madera tiene una resistencia similar a la del pino; se utiliza como leña y en la construcción de casas. La conservación de esta especie en su hábitat natural está plenamente justificada por su valor etnobiológico.



Figura 1. Fruto del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) tostado y listo para su consumo. **Fuente:** Elaboración propia.

Metodología

El arte de la modelización predictiva

El proceso de construcción de un modelo de distribución de especies es una cadena de decisiones críticas que transforman datos brutos en conocimiento geográfico. Para el estudio del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), la metodología se estructuró en tres fases fundamentales: curación de datos bióticos, selección de variables ambientales y ejecución de modelos de ensamble.



Figura 2. Árbol del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*). **Fuente:** Elaboración propia.



Figura 3. Fruto del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*). **Fuente:** Elaboración propia.

La base de este estudio se basa en la infraestructura de datos abiertos. Se utilizaron registros de presencia obtenidos a través de la infraestructura GBIF (Global Biodiversity Information Facility), una red internacional que centraliza datos de colecciones biológicas y herbarios. Es notable destacar el creciente peso de la ciencia ciudadana, alimentada por plataformas como iNaturalist, que permiten obtener registros contemporáneos de alta precisión geográfica. Sin embargo, para garantizar la calidad del modelo, se aplicó un protocolo de limpieza estricto utilizando la librería CoordinateCleaner en R, eliminando coordenadas en capitales, centros institucionales o registros con alta incertidumbre espacial (Zizka et al., 2019).

Para definir el nicho se integraron capas de información provenientes de CHELSA (aunque también existen las de WorldClim). Estas bases de datos ofrecen variables “bioclimáticas” que no son meros promedios de temperatura o de lluvia, sino indicadores con significado biológico, como la estacionalidad de la precipitación o la temperatura del trimestre más frío. Dado que el cachichín es una especie arbórea, se añadieron variables de suelo (SoilGrids) y de topografía. Para evitar la redundancia estadística (multicolinealidad), se aplicó un análisis del factor de inflación de la varianza (VIF), seleccionando solo aquellas variables con un valor de VIF inferior a 3, garantizando que cada predictor aporte información única al modelo (Guisan y Thuiller, 2005).

A diferencia de los enfoques tradicionales que dependen de un único algoritmo, esta investigación empleó una técnica de ensamblado (Ensemble Modelling) mediante la librería SSDM. Mientras que algoritmos como MaxEnt (Máxima Entropía) son excepcionales al trabajar únicamente con “registros de presencia” y puntos aleatorios del fondo (background), el uso de un ensamble permite las predicciones de múltiples modelos (GLM, Random Forest, SVM, entre otros). Esto reduce el sesgo individual de cada algoritmo y ofrece una proyección más estable de la idoneidad del hábitat (Phillips et al., 2006).

Resultados y distribución potencial

El modelo final (Figura 4) revela que la distribución potencial del cachichín trasciende los límites de su aprovechamiento actual en Veracruz. Se identificaron zonas de alta idoneidad en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Tabasco y Chiapas, así como extensiones significativas en Guatemala y Honduras. Resulta de particular interés que regiones como Honduras y Tabasco presenten condiciones óptimas de nicho, pese a la ausencia de registros históricos. Este hallazgo posiciona a *Oecopetalum mexicanum* como un candidato de alto valor para programas de restauración ecológica y de enriquecimiento de sistemas agroforestales, ofreciendo una alternativa para la seguridad alimentaria y la economía local ante los desafíos del cambio climático.



Figura 4. Distribución potencial del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) en México y Mesoamérica.
Fuente: Elaboración propia.

Limitaciones

A pesar del rigor metodológico y el avance de los algoritmos de ensamble, es imperativo reconocer que los modelos de distribución de especies son representaciones simplificadas de una realidad biológica sumamente compleja. Como bien señalaba el estadístico George Box, “todos los modelos están mal, pero algunos son útiles”. En el caso del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), existen tres limitaciones críticas que deben considerarse al interpretar los mapas de idoneidad generados.

La primera limitación radica en la naturaleza de los datos de presencia. Aunque plataformas como el GBIF han democratizado el acceso a la información, los registros suelen sufrir de un “sesgo de proximidad”. Esto ocurre porque los puntos de recolección tienden a concentrarse cerca de carreteras, centros de investigación o zonas de fácil acceso, dejando grandes extensiones de bosque sin muestrear (Zizka et al., 2019). Este vacío de información puede llevar al algoritmo a subestimar el nicho de la especie, interpretando la falta de datos como ausencia de condiciones aptas, cuando en realidad se trata de una falta de exploración humana.

Una segunda restricción es la disponibilidad de variables ambientales. Los modelos suelen depender fuertemente de datos climáticos (temperatura y precipitación) provenientes de fuentes como CHELSA o WorldClim, pero a menudo omiten factores locales determinantes. Para una especie arbórea como el cachichín, la estructura física del suelo, el drenaje y la profundidad de la roca madre son vitales. Asimismo, los modelos rara vez capturan las interacciones bióticas; un sitio puede ser climáticamente perfecto, pero si el dispersor natural de la semilla ha desaparecido o existe una plaga dominante, la especie no prosperará. Esta brecha entre el nicho fundamental y el nicho efectivo (Hutchinson, 1957) es un recordatorio de que el mapa es una guía de potencial, no una garantía de existencia.

Finalmente, los modelos de distribución suelen basarse en variables naturales y omiten el impacto antropogénico inmediato. Un área puede aparecer con alta idoneidad en el modelo, pero si ese ecosistema ha sido transformado en pastizales para ganadería o en zonas urbanas, la predicción pierde validez práctica. Según advierten Guisan y Thuiller (2005), la

integración de capas de “huella humana” y el cambio de uso del suelo es el siguiente paso necesario para que estas herramientas pasen de la teoría académica a la gestión forestal en el territorio. Reconocer estas limitaciones no resta valor al trabajo; por el contrario, fortalece la interpretación de los resultados al establecer un marco de realidad para los tomadores de decisiones.

Conclusiones

La integración de los modelos de distribución de especies en la toma de decisiones representa un cambio de paradigma en la conservación biológica. Los avances tecnológicos contemporáneos, caracterizados por una capacidad de cómputo sin precedentes y por la precisión de los sistemas de posicionamiento global (GPS), han democratizado el análisis espacial. Lo que antes era un ejercicio puramente teórico, hoy es una herramienta de precisión para el diseño de paisajes resilientes. Como se ha demostrado a lo largo de este ensayo, los MDE no son solo mapas estadísticos; son brújulas estratégicas que permiten anticipar las respuestas de la flora ante un entorno cambiante.

La contribución de estas herramientas al manejo de la biodiversidad es multidimensional. En primer lugar, permiten una priorización científica de las áreas naturales protegidas, identificando núcleos de biodiversidad que podrían pasar desapercibidos bajo criterios de conservación tradicionales. En segundo lugar, resultan fundamentales para la gestión de bancos de germoplasma, al señalar las regiones con mayor diversidad genética o aquellas en las que las poblaciones enfrentan un mayor riesgo de extinción local por estrés climático.

Desde la perspectiva de las políticas públicas, el modelado del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) ejemplifica cómo la ciencia de datos puede traducirse en bienestar social. La identificación de nuevas áreas de cultivo en estados como San Luis Potosí u Honduras no es solo un hallazgo biogeográfico, sino también una oportunidad para la seguridad alimentaria y la diversificación económica. Al fomentar la expansión de sistemas agroforestales basados en especies nativas, se promueve una economía rural que no compite con la conservación, sino que se nutre de ella.

En conclusión, es imperativo que estas herramientas dejen de ser exclusivas de la academia y se

integren plenamente en la gobernanza ambiental. La implementación de políticas públicas informadas por modelos de nicho permitirá transitar de medidas reactivas a estrategias proactivas. El futuro de la conservación en México y Mesoamérica dependerá de nuestra capacidad para armonizar el uso de los recursos naturales con las proyecciones tecnológicas, asegurando que especies de alto valor biocultural, como el cachichín, sigan siendo pilares del patrimonio natural y alimentario de la región.

Referencias

- D'Elia, J., Haig, S.M., Johnson, M., Marcot, B.G., Young, R., 2015. Activity-specific ecological niche models for planning reintroductions of California condors (*Gymnogyps californianus*). *Biol Conserv* 184, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.002>
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S.S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Townsend Peterson, A., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M., Zimmermann, N.E., (2006). Novel methods improve the prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Franklin, J. (2010). Mapping species distributions: spatial inference and prediction.
- Guisan, A. y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*. Vol. 8(9). 993–1009.
- Hernández-Urban, H.A., Angulo, D.F., Lascurain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., Can, L.L., Stull, G., Duno, R., 2019. Systematics and phylogeny of *Oecopetalum* (Metteniusaceae), a genus of trees endemic to North and Central America. *Rev Biol Trop* 67, 888–900. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33367>
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. Vol. 22. 415–427.
- Lascurain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., López-Binnqüist, C., López-Acosta, J.C., Covarrubias-Báez, M., Duno-De Stefano, R. (2013). Uso y flora leñosa asociada a *Oecopetalum mexicanum* (Icacaceae): una especie comestible nativa de la Sierra de Misantla, Veracruz, México. *Bot Sci* 91, 477–484.
- Petersen, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Blair, M. y Araujo, M.B. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. Vol. 190(3-4). 231–259.
- Raxworthy, C.J., Martínez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R.A., Schneider, G.E., Ortega-Huerta, M.A., Townsend Peterson, A. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426, 837–841. <https://doi.org/10.1038/nature02205>
- Soberón, J. y Peterson, A.T. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*. Vol. 2. 1–10.
- Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., Farooq, H., Herdean, A., Ariza, M., Scharn, R., Svanteson, S., Wengström, N., Zizka, V., & Antonelli, A. (2019). CoordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. *Methods in Ecology and Evolution*. Vol. 10(7). 1144–1151.

Red de Universidades Estatales para la Transformación (UNIRT)

**7 Universidades
y 12 Campus**

**Universidad Tecnológica
de la Mixteca
(UTM)**
Huajuapán

**Universidad del Mar
(UMAR)**
Campus Puerto Escondido,
Puerto Ángel, Huatulco
y Oaxaca

**Universidad del Istmo
(UNISTMO)**
Campus Tehuantepec,
Ixtepec y Juchitán

**Universidad del
Papaloapan
(UNPA)**
Campus Loma Bonita
y Tuxtepec

**Universidad de la
Sierra Sur
(UNSI)**
Miahuatlán

**Universidad de la Sierra
Juárez (UNSIJ)**
Ixtlán de Juárez

**Universidad de la
Cañada
(UNCA)**
Teotitlán de Flores Magón

**257
edificios**

**31 Institutos
de
Investigación**



**202 Laboratorios
24 Talleres**

Universidades ecológicas:
Los campus universitarios
son bosques con
la flora y fauna endémicas

82 carreras,
de las cuales la mayoría
son **de áreas STEM**

46 posgrados:
**12 Doctorados
y 34 Maestrías**



**Más de
11,000 alumnos
Más de
1,000 profesores
de tiempo completo**

Ensayo expositivo

Insectos: Un alimento sorprendentemente nutritivo

Insects: A surprisingly nutritious food

Nancy Alonso-Hernández^{1*}, Carlos Granados-Echegoyen², Rafael Pérez-Pacheco¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional.

²Investigador por México SECIHTI-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional.

*Autor de Correspondencia:
nalonsoh@ipn.mx

Recibido:24-11-2023 Aceptado: 15-04-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La entomofagia, o consumo de insectos, es una práctica profundamente arraigada en diversas culturas de la historia humana y sigue siendo relevante hoy en día, en vista de los desafíos globales para la alimentación y la sostenibilidad. Los insectos representan una fuente de proteínas en la dieta humana, superando en ocasiones a la carne de res y el pescado. Además, los insectos se destacan por ser ricos en aminoácidos esenciales, lo que los convierte en una fuente de proteínas equilibrada y completa; así mismo, ofrecen grasas saludables, ácidos grasos esenciales, vitaminas y micronutrientes esenciales como cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, selenio y zinc. No obstante, su valor nutricional puede variar según factores como su entorno, dieta, etapa de desarrollo y la forma en la que son procesados para su comercio. A pesar de los beneficios nutricionales que aportan los insectos como fuente de alimento, la resistencia generalizada a su consumo plantea un desafío incipiente; para su aceptación es crucial la implementación de una legislación adecuada, así como, una normatividad educativa sobre su manejo, explotación y segura preparación. Es necesario en todos los casos para su aceptación la promoción de productos alimenticios y sus beneficios, como la harina de grillo empaquetada y las barritas energéticas basadas en insectos.

Palabras clave: Insectos comestibles, proteínas, alimentación, México.

Abstract

Entomophagy, or the consumption of insects, is a deeply rooted practice in various cultures throughout human history and remains relevant today, especially in light of global challenges for food and sustainability. Insects represent an exceptional source of protein in the human diet, sometimes surpassing beef and fish. Additionally, insects stand out for being rich in essential amino acids, making them a balanced and complete protein source. They also offer healthy fats, essential fatty acids, vitamins, and essential micronutrients such as copper, iron, magnesium, manganese, phosphorus, selenium, and zinc. However, their nutritional value can vary depending on factors such as their environment, diet, developmental stage, and how they are processed for trade. Despite the nutritional benefits insects provide as a food source, widespread resistance to their consumption presents an emerging challenge. Their acceptance is crucially dependent on the implementation of appropriate legislation, as well as educational standards regarding their handling, exploitation, and safe preparation. Promotion of insect-based food products and their benefits, such as packaged cricket flour and energy bars based on insects, is necessary in all cases to foster acceptance.

Keywords: Edible insects, proteins, nutrition, México.

Introducción

El consumo de insectos, conocido como entomofagia, ha sido una práctica arraigada en diversas culturas a lo largo de la historia humana. Desde los primeros homínidos prehistóricos hasta civilizaciones antiguas como la egipcia y la griega, los insectos han formado parte de la dieta humana debido a su abundancia y alto contenido proteico. En numerosas culturas indígenas alrededor del mundo, desde Aus-

tralia hasta África, los insectos han representado una fuente esencial de alimento durante siglos (Costa-Neto et al., 2006).

La primera referencia de la entomofagia fue por Aristóteles en el año 600 a. C. en su libro *Historia animalium* donde recomendaba una receta a base de cigarras en fase de ninfa, incluso, mencionó una diferencia de sabor entre las adultas que estaban

llenas de huevos en comparación con las que no (Ramos-Elorduy y Viejo-Montesinos, 2007). Por otro lado, existen numerosos antecedentes del consumo de insectos que se pueden ubicar en versículos de la biblia o fragmentos de los libros sagrados del cristianismo, islam y judaísmo (MacDonald, 2004; Blanco et al., 2020). Así mismo se conoce que en el continente americano, pueblos precolombinos evitaban la cría de animales y preferían el consumo del insecto para satisfacer sus necesidades de proteína y grasas (Pilcher, 2001; Gonzales et al. 2012).

En Asia, países como Tailandia, China y Japón han incorporado insectos en su gastronomía desde tiempos inmemoriales. Saltamontes, gusanos de seda y otros insectos son consumidos en diversas formas, siendo considerados manjares en algunas culturas. En América Latina, especialmente en México, los chapulines (saltamontes) son un ejemplo clásico de insectos consumidos como alimento y han sido parte de la dieta mexicana durante siglos (Dossey et al., 2018).

A medida que avanzamos en el tiempo, la entomofagia ha seguido siendo relevante. En el siglo XXI, con la creciente conciencia de la importancia de la sostenibilidad en la producción de alimentos, los insectos han ganado popularidad como una fuente alternativa y ecológica de proteínas. Empresas de todo el mundo están explorando la cría de insectos para el consumo humano, y varios países han regulado la industria para asegurar la seguridad y aptitud para el consumo de los productos (Van-Huis et al., 2014)

Según Jongema (2023), la mayoría de estas especies de insectos comestibles se concentran en países tropicales. Estos insectos comestibles se pueden clasificar en las siguientes categorías: escarabajos, orugas, hormigas, abejas y avispas, saltamontes, libélulas, termitas, cucarachas, y arañas.

Existen diversas razones por las que la mayoría de las personas no incorpora insectos en su alimentación cotidiana. Entre ellas aspectos culturales, como el rechazo a los insectos por su desagradable aspecto y su conexión con ciertas plagas (Fukano y Soga, 2021, Sogari et al., 2023).

Así mismo, la escasa familiaridad con el consumo de insectos en muchas culturas puede suscitar sentimientos de desconfianza al probarlos. Los estigmas y las supersticiones que rodean a los insectos también

juegan un papel importante en la reticencia a considerarlos como una fuente de alimento. Además, el conocimiento limitado acerca de los beneficios que aporta su consumo y su poca disponibilidad comercial en países europeos y latinoamericanos pueden obstaculizar el interés por incorporarlos en la dieta (Hlongwane et al., 2020; Valdés et al. 2022; Alhujaili et al., 2023). No obstante, se observa un creciente interés en la ingesta de insectos gracias a su potencial como una fuente de alimento sostenible. A medida que la conciencia sobre su valor nutricional y sus ventajas medioambientales aumenta, las actitudes hacia los insectos como una opción alimentaria viable están experimentando una transformación gradual (de Carvalho et al., 2020; Grabowski et al., 2022).

La cría de insectos y su consumo presentan ventajas medioambientales significativas desde una perspectiva ecológica y de sostenibilidad. En contraste con el ganado, los insectos sobresalen en la conversión de sustratos orgánicos en proteínas, necesitando menos alimento y agua para producir la misma cantidad de proteína, aliviando así la presión sobre los recursos naturales (Van Huis y Oonincx, 2017; Derler et al., 2021). Asimismo, la cría de insectos, al requerir menos espacio, emite menos gases de efecto invernadero y genera menos residuos en comparación con la ganadería tradicional, lo que contribuye a reducir significativamente la huella ecológica (Dickie et al., 2019). La brevedad de sus ciclos de vida y su rápida reproducción permiten criar y cosechar grandes cantidades en periodos cortos, disminuyendo la presión sobre los recursos a largo plazo (Raheem et al., 2019). Además, ciertas prácticas de cría de insectos pueden promover la conservación de especies locales y la diversidad biológica, contribuyendo a la preservación de la flora y fauna (DeFoliart, 2005). Comparada con la agricultura convencional, la cría de insectos tiende a requerir menos pesticidas y productos químicos, lo que puede reducir la contaminación del suelo y el agua (Gahukar, 2016).

Para el caso de México, uno de los países líderes en el consumo de insectos a nivel mundial; existe una sólida tradición cultural, esta tradición se deriva de su rica herencia culinaria, donde se han desarrollado técnicas tradicionales para su preparación, considerándolos auténticos manjares. La amplia disponibilidad de diversas especies de insectos, tanto

en entornos rurales como urbanos, contribuye a su consumo, y con frecuencia se sirven en festividades y celebraciones locales. Como resultado de todo esto, México es reconocido por su práctica común y la aceptación arraigada de los insectos como parte regular de su alimentación diaria (Bermúdez-Serrano, 2020; Escalante-Aburto et al., 2022; Tzompa-Sosa et al., 2023).

La entomofagia ha sido una práctica constante en la historia humana, desde nuestras raíces prehistóricas hasta el mundo moderno. Ya sea por necesidad, tradición o innovación, los insectos continúan siendo una fuente valiosa de alimento para muchas culturas en todo el mundo, y su relevancia sigue siendo evidente en la actualidad debido a los desafíos globales relacionados con la alimentación y la sostenibilidad (Ramos-Elorduy y Viejo-Montesinos, 2007) (ver la Figura 1).

El presente escrito tiene como objetivo analizar y difundir el valor nutricional y ambiental de los insectos comestibles, destacándolos como una fuente sostenible y viable de proteínas, aminoácidos esenciales, grasas saludables, vitaminas y micronutrientes para la alimentación humana, en el contexto de los desafíos actuales de seguridad alimentaria y sostenibilidad.

Los insectos una fuente nutritiva de proteínas

Los insectos son una excelente fuente de proteínas para la dieta humana. En comparación con las fuentes tradicionales de proteínas como la carne de res de cerdo o de pollo, incluso el pescado, los insectos ofrecen una cantidad notable de proteínas de alta calidad. Por ejemplo, los grillos y las langostas, entre

otros insectos, contienen aproximadamente un 60-70 % de proteína en su composición. Al contrario de la carne de res, que es ampliamente consumida en todo el mundo, que tiene un contenido de proteínas que varía entre el 20-25 %. Esta diferencia significativa resalta la eficiencia con la que los insectos son una fuente concentrada y rica en proteínas (Cadena et al., 2020; Oonincx y Finke, 2021; Adetunmbi, 2023).

Los insectos son una fuente rica en aminoácidos esenciales lo que significa que contienen todos los tipos que nuestro cuerpo no puede producir por sí mismo, y son vitales para una serie de funciones biológicas, incluido el desarrollo y mantenimiento muscular, la síntesis de enzimas y hormonas y la regulación del sistema inmunológico. Esta característica los convierte en una opción dietética valiosa para aquellos que buscan una fuente equilibrada y completa de proteínas (Ramírez et al., 2022).

No es solo la cantidad de proteínas presente en los insectos comestibles, sino también la calidad de estas proteínas, que depende de la cantidad de aminoácidos que contienen. Los insectos comestibles pueden ofrecer una variedad de aminoácidos esenciales, a veces sirviendo como un suplemento vital para abordar las deficiencias de aminoácidos en los alimentos básicos locales. Los órdenes Lepidoptera, Orthoptera, Coleoptera y Diptera son notablemente ricos en ácido glutámico y aspártico, fenilalanina y alanina (Gallegos et al., 2019, Blanco et al., 2020). A pesar de su valor nutricional, algunas personas pueden experimentar reacciones alérgicas a las proteínas de los insectos, especialmente si han estado expuestas a ellas de manera prolongada (Glover y Sexton, 2015). La reactividad cruzada con alergias a mariscos es posible, pero no inevitable.

La ventaja adicional de los insectos como fuente de proteínas radica en su capacidad para prosperar en condiciones ambientales variadas y a menudo desafiantes. Son altamente sostenibles desde el punto de vista ecológico, ya que requieren menos agua, alimentos y espacio para reproducirlos en comparación con la ganadería (López-Jaime et al., 2023).

Costa-Neto (2015) y Medeiros (2014) ofrecen una visión general de la diversidad de insectos comestibles que se encuentran en varios países de América Latina. Es importante destacar que México lidera con un impresionante recuento de 415 especies de insectos comestibles, lo que constituye el 56.46 % del total.



Figura 1. Comercialización de insectos comestibles de forma artesanal y tradicional. A) Oferta de chapulines en la Feria del Mezcal en Oaxaca de Juárez, Oaxaca; B) Comercio de Chinche Gigante Xamuis (*Thasus gigas*) en el Mercado 8 de julio en Actopan, Hidalgo, México. Fuente: Elaboración propia.

En México estos insectos son consumidos por diversos grupos étnicos a lo largo del país. Del total, el 83 % de estos insectos son terrestres, mientras que el 17 % proviene de ecosistemas acuáticos. Además, se ha observado que el 55.8 % de estas especies se consumen en sus estados inmaduros, como huevos, larvas, pupas y ninfas, mientras que el 44.2 % se consume en su estado adulto. Dentro de la diversidad de grupos de insectos, sobresalen los órdenes entomológicos, como los Himenópteros, que engloban a los formícidos, comúnmente conocidos como hormigas. Dentro de este grupo se consumen los escamoles (larvas reproductoras de hormigas) y las chicatanas. También, se encuentran los Coleópteros, donde se identifican familias taxonómicas como los *Cerambycidae*, que incluyen al Gusano del pino, y los *Curculionidae*, que comprenden al Picudo del cocotero, Gusano del agave rojo, Gusano de la botija o chatita, así como al Gorgojo del maíz, entre otros. En este mismo orden, se hallan el Gusano del tronco del aguacate, perteneciente a la familia *Melolonthidae*, y el Gusano amarillo de la harina, de la familia *Tenebrionidae*.

Asimismo, dentro del orden de los Dípteros se ha documentado el consumo de miembros de la familia *Stratiomyidae*, donde se encuentra la Mosca soldado. En el orden de los Lepidópteros se localizan el Gusano blanco y rojo del agave, el Gusano de seda y los Chinicuiles. En cuanto al orden taxonómico de los Ortópteros, se pueden encontrar los Chapulines o “Chapoli”, pertenecientes a la familia *Pyrgomorphidae*. Por último, en el orden de los Hemípteros se ha registrado el consumo de insectos pertenecientes a la familia *Pentatomidae*, entre los que se encuentran el Jumil sagrado “Xomitl”, el Periquito del aguacate y la Mosca verde del aguacate (Ramos-Elorduy et al., 2003; Ramos-Elorduy y Pino, 2005; Costa-Neto y Ramos-Elorduy, 2006; Xiaoming et al., 2010; Chakravorty, 2014).

Valores nutricionales de los insectos

Desde una perspectiva nutricional, los insectos comestibles representan una fuente significativa de proteínas, grasas, minerales y fibra dietética. Sin embargo, su valor nutricional puede variar en función de factores como su entorno natural, la dieta de los insectos y la etapa de desarrollo consumida (huevo, lar-

va, ninfa o adulto), así como el tipo de procesamiento al que se someten, ya sea que se consuman enteros (deshidratados, hervidos) o preparados de diversas formas, como asados o fritos. Además, el almacenamiento de insectos comestibles influye directamente en el contenido y la disponibilidad de nutrientes, debido a posibles cambios en las propiedades fisicoquímicas de las proteínas y lípidos derivados de estas condiciones (Cruz, 2017; Cerisuelo, 2021, Moreno et al., 2021).

Además de la alimentación, los insectos tienen una amplia gama de usos en diversos ámbitos, en medicina, rituales espirituales y religiosos, la cosmología, la mitología, el arte y la cultura. Estas variadas utilidades han sido fundamentales para el uso y consumo sostenido de insectos en las comunidades indígenas y locales a lo largo de los años (Costa-Neto, 2015; Samways et al., 2019; Van Huis et al., 2022).

Los insectos contienen cantidades significativas de grasas saludables y ácidos grasos esenciales, que son esenciales para la asimilación de proteínas (Ramos-Elorduy, 2004; Glover y Sexton, 2015; Riekkinen et al., 2022). El contenido de grasa en los insectos puede variar entre el 10% y el 77% del peso seco, siendo más alto en Coleoptera y Lepidoptera (Lizhang et al., 2008; Van-Huis et al., 2021; Ordoñez-Araque et al., 2022). Sin embargo, en algunos órdenes de insectos, el contenido de proteína tiende a ser mayor que el de grasa, siendo aproximadamente el doble (Lizhang et al., 2008).

Además, los insectos son una fuente de micronutrientes importantes, como cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, selenio y zinc, y también contienen vitaminas como A, C, D, E, K y el complejo B (DeFoliart, 1989; Van-Huis, 2013; Van-Huis et al., 2021; Mabelebele et al., 2023).

Los insectos comestibles se han reconocido como un alimento altamente nutritivo, tanto en su consumo directo como en su incorporación en diversos platos y dietas tradicionales (Kowalski et al., 2022). En general, los insectos poseen niveles de proteínas, grasas, minerales y vitaminas que cumplen con los requisitos de una dieta saludable. Sin embargo, es importante destacar que existe una notable variabilidad en la composición nutricional entre las distintas especies de insectos; se ha sugerido que tratamientos específicos pueden mejorar el contenido de nutrientes, el aroma,

la apariencia y el sabor de los insectos comestibles, pero es crucial considerar otros factores que pueden influir en la composición de los insectos, como la composición química, prácticas de manejo, almacenamiento, contaminación microbiana, dieta, tiempo de alimentación, plantas hospederas y contenido de fitonutrientes (Stull y Weir, 2023). Los responsables de la composición nutricional y la calidad de los insectos comestibles aún no se conocen a fondo.

Conclusiones

Los insectos comestibles presentan un alto valor nutricional, caracterizado por su aporte de proteínas de calidad, aminoácidos esenciales, grasas saludables, vitaminas y micronutrientes, lo que los posiciona como una alternativa viable de origen animal para la alimentación humana, con un menor requerimiento de recursos y un impacto ambiental reducido en comparación con sistemas productivos tradicionales. La aceptación de los insectos como alimento se encuentra condicionada por factores culturales y sociales, entre los que destacan el rechazo asociado a su apariencia, la desconfianza, los estigmas y la falta de familiaridad con su consumo. En este contexto, la existencia de tradiciones alimentarias consolidadas, como en el caso de México, representa una base favorable para su aprovechamiento; sin embargo, resulta indispensable el establecimiento de una legislación adecuada y el fortalecimiento de acciones educativas y de promoción que garanticen su manejo, preparación y consumo seguro.

Referencias

- Adetunmbi, T. (2023). The potential of insects as alternative animal protein source for livestock feeding. *Global Journal of Agricultural Sciences*, 22, 47-61.
- Alhujaili, A.; Nocella, G.; Macready, A. (2023). Insects as food: consumers' acceptance and marketing. *Foods*, 12, 886-895.
- Bermúdez-Serrano, I. M. (2020). Challenges and opportunities for the development of an edible insect food industry in Latin America. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6, 537-556.
- Blanco, V. C. P., Chavarro, C. F. G., Polanco Y. M. T. y Ruiz X. M. C. (2020). Insectos: Recursos del pasado que podrían ser una solución nutricional para el futuro. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 24, 81-100.
- Cadena, J. A. O. (2020). Percepciones sobre el consumo de insectos como sustituto de las fuentes de proteínas tradicionales en los consumidores hispanohablantes. *Revista Kavilando*, 12, 413-428.
- Cerisuelo, A. (2021). Materias primas: Harina de insectos. *Nutrinsights*, 7-15.
- Chakravorty, J. (2014). Diversity of edible insects and practices of entomophagy in India: an overview. *Journal of Biodiversity, Bio-prospecting and Development*, 1, 124.
- Costa-Neto, E. M. (2015). Antropoentomofagia en Latinoamérica: Un breve abordaje de la importancia de los insectos comestibles para las comunidades locales. *Memorias y Resúmenes*, 93-100.
- Costa-Neto, E. y Ramos-Elorduy, J. (2006). Los insectos comestibles de Brasil: etnicidad, diversidad e importancia en la alimentación. *bol. Sociedad Entomológica Aragonesa*, 38, 423-442.
- Cruz, F. D. (2017). La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria. In: Congreso Sociedad Colombiana de Entomología, *Memorias y Resúmenes*. Rincón, R. D. F., Ardila R. Y. P., Acosta D. (Comp.), 44 Congreso SOCOLEN. Bogotá, pp. 64-75.
- de Carvalho, N. M., Madureira, A. R., Pintado, M. E. (2020). The potential of insects as food sources—a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60, 3642-3652.
- DeFoliart, G. R. (1989). The human use of insects as food and as animal feed. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 35, 22-35.
- DeFoliart, G. R. (2005). Overview of role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecological implications of minilivestock*, 123-140.
- Derler, H., Lienhard, A., Berner, S., Grasser, M., Posch, A., Rehorska, R. (2021). Use them for what they are good at: Mealworms in circular food systems. *Insects*, 12(1), 40.
- Dickie, F., Miyamoto, M., Collins, C. M. T. (2019). The potential of insect farming to increase food security. *Edible Insects*, 1-10.
- Dossey, A. T., Morales-Ramos, J. A., and Rojas, M. G. (Eds.). (2016). *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications*. Academic Press, Elsevier, United Kingdom, 52p.
- Escalante-Aburto, A., Rodríguez-Sifuentes, L., Ozuna, C., Mariscal-Moreno, R. M., Mulik, S., Guiné, R., Chuck-Hernández, C. (2022). Consumer perception of insects as food: Mexico as an example of the importance of studying socio-economic and geographical differences for decision-making in food development. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 6306-6316.
- Fukano, Y., and Soga, M. (2021). Why do so many modern people hate insects? The urbanization-disgust hypothesis. *Science of the Total Environment*, 777, 146229.
- Gahukar, R. T. (2016). Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 85-111). Academic Press.
- Gallegos, F. X. T., Cortéz, A. C. C. (2019). Contribución de los insectos comestibles a la seguridad alimentaria. *Editora adjunta*, 1, 6.
- Glover, D., Sexton A. (2015). Edible insects and the future of food: A foresight scenario exercise on entomophagy and global food security. Report. IDS Evidence Report (149). IDS - Institute of Development Studies, 57 p.
- Gonzales, F. C. V., García, V. D. B., y Ortega, A. J. A. J. (2012). La Recolección, Venta y Consumo de Insectos en Toluca, México y Sus Alrededores. *Rosa dos Ventos*, 4, 208-221.
- Grabowski, N. T., Abdulmawjood, A., Acheuk, F., Barragán-Fonseca, K., Chhay, T., Costa-Neto, E. M., Plötz, M. (2022). Insects - A source of safe and sustainable food? - "Jein" (Yes and No). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 701797.

- Hlongwane, Z. T., Slotow, R., Munyai, T. C. (2020). Indigenous knowledge about consumption of edible insects in South Africa. *Insects*, 12, 22-30.
- Jongema, Y. (2023). List of edible insects of the world. Available online: University Fund Wageningen (Accessed on 02 June 2023).
- Kowalski, S., Mikulec, A.; Mickowska, B.; Skotnicka, M.; Mazurek, A. (2022). Wheat bread supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects. *LWT*, 159, 113220.
- Lizhang, W., Viejo M. J. L., Dinghong Y. (2008). Insectos como fuente de alimento: Análisis del contenido en proteína y grasa de 100 especies. *Boletim do Museu Municipal do Funchal*, 14, 55-70.
- López-Jaime, A., Martínez-Acosta, R., Ubaldo-Aguilar, M. (2023). Chapulín, una alternativa alimenticia con una gran fuente de proteína: Entomofagia como suplemento alimento y su impacto en la dieta diaria. *Rd-icuap*, 1-12.
- Mabelebele, M., Kolobe, S. D., Malematja, E., Sebola, N. A., Manyelo, T. G. (2023). A comprehensive review of the importance of selected trace elements present in edible insects. *Biological Trace Element Research*, 201, 3520-3527.
- MacDonald, W. (2004). Comentario Bíblico de William MacDonald. Editorial Clie. The Lockman Foundation, España, 2640p.
- Medeiros E. (2014). Anthro-po-entomophagy in Latin America: an overview of the importance of edible insects to local communities. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1, 17-23.
- Moreno, F. L. V., Ton, A. P. S., Rosa, C. M. G., de Freitas, L. W. (2021). Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: revisión. *Research, Society and Development*, 10, e25810313274.
- Oonincx, D. G. A. B., and Finke, M. D. (2021). Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7, 639-659.
- Ordoñez-Araque, R., Quishpillo-Miranda, N., Ramos-Guerrero, L. (2022). Edible insects for humans and animals: nutritional composition and an option for mitigating environmental damage. *Insects*, 13(10), 944.
- Pilcher, J. M. (2001). ¡Vivan los tamales!: la comida y la construcción de la identidad mexicana. Editorial CIESAS, Mexico, 253p.
- Raheem, D., Carrascosa, C., Oluwole, O. B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Millán, R., Raposo, A. (2019). Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(14), 2169-2188.
- Ramírez, J. C. R., Trejo, J. F. G., Luviano, A. O., Rivas, J. A. L., Pacheco, B. P. (2022). Efecto de la fuente de proteína dietaria sobre el cultivo de larva de mosca soldado negra. *Emprennova*, 2, 73-79.
- Ramos-Elorduy, J. (2004). La etnoentomología en la alimentación, la medicina y el reciclaje. En: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Llorente, JB; J. Morrone, O.; Vargas IF Eds. México: UNAM, Tomo 4, pág. 329-413.
- Ramos-Elorduy, J., Pino M. (2005). Base de datos del Catálogo de Análisis Químicos de Insectos Comestibles de México. Ed IBU-NAM, p. 113.
- Ramos-Elorduy, J., Viejo-Montesinos, J. L. (2007). Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural Sección Biológica*, 102, 61-84.
- Ramos-Elorduy, J.; Pino, J. M.; Conconi, M. A. (2003) Necesidad de una legislación para la explotación y venta de insectos comestibles en México. In: Congreso Mexicano De Etnobiología, 5., Chipango, 2003. Resúmenes. Chipango: Universidad Autónoma de Chipango, p. 59.
- Riekkinen, K., Väkeväinen, K., Korhonen, J. (2022). The effect of substrate on the nutrient content and fatty acid composition of edible insects. *Insects*, 13, 590.
- Samways, M. J., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Cardoso, P. (2020). Solutions for humanity on how to conserve insects. *Biological Conservation*, 242, 108427.
- Sogari, G., Riccioli, F., Moruzzo, R., Menozzi, D., Sosa, D. A. T., Li, J., and Mancini, S. (2023). Engaging in entomophagy: The role of food neophobia and disgust between insect and non-insect eaters. *Food Quality and Preference*, 104, 104764.
- Stull, V. J., Weir, T. L. (2023). Chitin and omega-3 fatty acids in edible insects have underexplored benefits for the gut microbiome and human health. *Nature Food*, 1-5.
- Tzompa-Sosa, D. A., Moruzzo, R., Mancini, S., Schouteten, J. J., Liu, A., Li, J., Sogari, G. (2023). Consumers' acceptance toward whole and processed mealworms: A cross-country study in Belgium, China, Italy, Mexico, and the US. *PlosOne*, 18, e0279530.
- Valdés, F., Villanueva, V., Durán, E., Campos, F., Avendaño, C., Sánchez, M., Valenzuela, C. (2022). Insects as feed for companion and exotic pets: a current trend. *Animals*, 12, 1450.
- Van Huis, A., Oonincx, D. G. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 1-14.
- Van-Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563-583.
- Van-Huis, A., Halloran, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Vantomme, P. (2022). How many people on our planet eat insects: 2 billion?. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8, 1-4.
- Van-Huis, A., Rumpold, B., Maya, C., Roos, N. (2021). Nutritional qualities and enhancement of edible insects. *Annual Review of Nutrition*, 41, 551-576.
- Van-Huis, A., Van-Gurp, H., and Dicke, M. (2014). The Insect Cookbook: Food for a Sustainable Planet. Columbia University Press, United States, 216p.
- Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z., Zhiyong, C. (2010). Review of the nutritive value of edible insects. In: Forest insects as food: humans bite back, P. B. Durst, D. V. Johnson, R. N. Leslie and K. Shono (eds), FAO, Bangkok, Thailand, 241p.

Ensayo expositivo

Viaje microscópico al interior de las plantas; conversando con las bacterias

Microscopic journey into plants; conversing with bacteria

Tania Mariela Vázquez-Ríos^{1*}, Alfonso Vázquez-López¹

¹Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR Unidad Oaxaca.

*Autor de correspondencia:
tvasquezr2200@alumno.ipn.mx

Recibido: 07-13-2024 Aceptado: 15-04-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Las plantas han evolucionado creando asociaciones con miembros de su ecosistema, lo que les permite adaptarse y desarrollarse en su entorno natural. Entre los principales organismos con los cuales desarrollan asociaciones beneficiosas encontramos a las bacterias. Las bacterias endófitas son microorganismos simbióticos que viven en los tejidos internos de las plantas. Estas bacterias proporcionan diversos efectos benéficos a la planta hospedante de forma directa o indirecta. De manera directa, ayudan a obtener nutrientes y a mejorar su crecimiento a través de la síntesis y regulación de hormonas vegetales; indirectamente ayudan a disminuir el desarrollo de patógenos mediante la producción de antibióticos o por competencia de nichos y nutrientes. Las bacterias endófitas de las plantas han atraído la atención de diversos investigadores debido a su diversidad y aplicaciones para mejorar la nutrición de las plantas o conferirles protección contra patógenos. La amplia diversidad de endófitos en las plantas, los convierte en una interesante herramienta en la biotecnología agrícola. Hasta ahora el estudio de bacterias endófitas se ha enfocado principalmente en plantas de importancia agrícola y en plantas silvestres; sin embargo, los estudios realizados en el sistema agave-endófitas en México son escasos. En este trabajo se explican las principales funciones de las bacterias endófitas y se documenta, por primera vez, su presencia en *Agave potatorum*.

Palabras clave: Planta, microorganismos endófitos, Agave spp.

Abstract

Throughout their evolution, plants have established associations with members of their ecosystem, which enables their adaptation and development in their natural environment. Among the main organisms with which they form beneficial associations are bacteria. Endophytic bacteria are symbiotic microorganisms that live in the internal tissues of plants. They provide the host plant with various beneficial effects, either directly or indirectly. Directly, endophytic bacteria promote nutrients uptake and enhance plant growth through the synthesis and regulation of plant hormones; indirectly, they contribute to reduce pathogen development by producing antibiotics or by competing for niches and nutrients. Plant endophytic bacteria have been extensively studied due to their diversity and applications in improving plant nutrition or conferring protection against pathogens. The vast diversity of endophytes in plants represents a promising resource in agricultural biotechnology. To date, the study of endophytic bacteria has primarily focused on agriculturally important and wild plants; however, studies on the agave-endophyte system in Mexico are scarce. This study explains the main functions of endophytic bacteria and documents, for the first time, their presence in *Agave potatorum*.

Keywords: Plant, endophytic microorganisms, Agave spp.

Introducción

Las plantas, aunque parecen organismos simples a primera vista esconden un universo fascinante en su interior. Sus órganos vegetales como las raíces, tallos, hojas, flores y semillas están formados por diminutas células que trabajan en conjunto para cumplir diversas funciones; dentro de este mundo celular microscópico y poco conocido por los humanos ha-

bitan organismos igualmente pequeños como bacterias, hongos y en algunos casos arqueas y protozoos (Sen et al., 2026). Estos microorganismos reciben el nombre de endófitos porque viven dentro de los tejidos y células de las plantas (Aleynova y Kiselev, 2023; Mushtaq et al., 2023).

La relación entre las plantas y los endófitos no es nueva, se ha formado a lo largo de miles de años de evolución, podríamos decir que es una alianza invisible y silenciosa; las plantas han desarrollado la capacidad para proteger a estos microorganismos ofreciéndoles refugio y alimento, mientras que los endófitos devuelven el favor ayudando a la planta a crecer y protegerse (Madbouly, 2023). Gracias a esta relación ambos organismos pueden sobrevivir a condiciones adversas como sequías, cambios bruscos de temperatura, ataques de otros organismos o la falta de nutrientes (Wu et al., 2021).

Se ha evidenciado que las bacterias endófitas no son simples habitantes de las plantas, sino que cumplen funciones específicas e importantes en el ciclo biológico de estas (Oukala et al., 2021; Kumari et al., 2023) por ejemplo, algunas bacterias estimulan la producción de hormonas naturales que favorecen el crecimiento vegetal tales como el ácido indol-3-acético, las citoquininas y los ácidos giberélicos (Medison et al., 2022); otras producen sustancias que actúan como antibióticos y las protegen contra enfermedades, mientras que la mayoría compiten con otros microorganismos dañinos por espacio y alimento (Xia et al., 2022). En pocas palabras, las bacterias endófitas son aliadas invisibles que fortalecen la salud y supervivencia de las plantas.

El estudio de bacterias endófitas se ha centrado en plantas de importancia agrícola tales como el maíz, arroz (silvestre y cultivado), trigo, tomate y en plantas silvestres. Sin embargo, son mínimos los estudios que se han realizado en el sistema agave-bacterias endófitas en México. De acuerdo con nuestra búsqueda bibliográfica; este documento constituye el primer reporte de bacterias endófitas encontradas en *Agave potatorum*.

Viaje al interior de la planta

Existen diversos tipos de viajes; los fantásticos que podemos realizar a través de la imaginación a mundos desconocidos, los reales que podemos realizar a sitios como la playa o la ciudad y otros de tercer tipo, los cuales son reales y fantásticos a la vez; nuestro viaje es de éstos. Viajaremos a un mundo microscópico habitado por seres diminutos de formas variadas. Este asombroso lugar es real, existe y está muy cerca de ti, aunque no lo creas. Es el maravilloso mundo microscópico de las plantas.

Nuestro viaje comienza en la localidad de Santa Catarina Minas, Ocotlán, ubicado a 34 km de la Cd. de Oaxaca. Santa Catarina se caracteriza por su producción de agaves mezcaleros; en este lugar encontramos plantas de *Agave angustifolia*, *Agave potatorum*, *Agave rhodacantha*, *Agave karwinskii*, entre otros. Los agaves, cuyo nombre proviene del griego *agavos* que significa “noble”, “admirable” y que se cree que Linneo se lo puso debido a la majestuosidad de sus rosetas y flores también son conocidos en México como magueyes (*metl* en lengua náhuatl), son la materia prima para elaborar el mezcal (de origen náhuatl basado en la palabra *mexcalli* que combina las palabras *metl* e *ixcalli*, que significa “agave cocido al horno”) (Gross, 2014; Vega y Pérez, 2017) una bebida alcohólica obtenida por destilación de alto valor histórico, cultural y económico (Rieger, 2025).

Los agaves son plantas extraordinarias que han evolucionado para adaptarse y sobrevivir a ambientes áridos y semiáridos donde la sequía y las altas temperaturas ponen a prueba la resistencia de cualquier organismo; gracias a sus adaptaciones fisiológicas y morfológicas como hojas gruesas que almacenan agua y mecanismos internos que regulan su metabolismo pueden soportar condiciones extremas, incluso temperaturas cercanas a los 61°C, son verdaderos campeones de la supervivencia en climas difíciles (Martínez-Rodríguez et al., 2019).

Pues bien, nuestro recorrido comienza en el interior de una hoja de *A. potatorum*; allí descubriremos un mundo invisible para el ojo humano, un mundo microscópico donde habitan aliados silenciosos; bacterias endófitas. Como en todos los viajes que se realizan a lugares desconocidos, es preciso la guía de un viajero experimentado; en esta ocasión nos haremos acompañar de una bacteria llamada *Sphingomonas*. Ella nos mostrará como estos diminutos habitantes conviven con la planta, la ayudan a crecer y la protegen contra los retos del medio ambiente ¡Así que acompáñenos en nuestro viaje!

- Hola *Sphingomonas* hálame un poco sobre ti, tengo curiosidad por saber quién eres.
- Hola querida amiga, me llamo *Sphingomonas*. Y sé que pensarás que mi nombre suena extraño, pero tiene una historia especial; resulta que, en mi membrana celular, una envoltura que me rodea y me da

forma, tengo unas moléculas llamadas esfingolípidos los cuales no son comunes y muy pocas de nosotros los poseemos (Geiger et al., 2018). Por eso me llamo así *Sphingo* por los esfingolípidos y *monas* del griego que significa “ser pequeño”, en pocas palabras soy la pequeña que guarda esfingolípidos (Yabuuchi et al., 1990).

- ¡Tienes un nombre único! Dime más sobre ti.
- Bueno no soy una sola, en realidad pertenezco a un gran género de bacterias que vivimos en muchos lugares: en el suelo, en el agua, en ambientes extremos y, sobre todo dentro de las plantas (Glaeser y Kämpfer, 2014). Algunas de mis parientes tienen capacidades sorprendentes como *Sphingomonas wittichii* famosa por degradar contaminantes peligrosos, o *Sphingomonas elodea* que produce gomas naturales usadas por los humanos en los alimentos (West, 2021). Y aunque algunas de mis primas pueden aparecer en hospitales y causar enfermedades en los humanos, la mayoría de nosotras somos aliadas invisibles de la naturaleza.

- ¡Woow tienen capacidades únicas! ¿Entonces tú vives en las plantas?

- Así es querida amiga. Soy una bacteria endófito, lo que significa que habito dentro de los tejidos de las plantas sin causarles daño (Mushtaq et al., 2023). Parte de mi vida la desarrollo fuera de la planta, cerca de las raíces y después ingreso poco a poco al interior de esta; para moverme utilizo mis flagelos unas pequeñas “colas” que funcionan como remos y me permiten desplazarme a diferentes órganos de la planta (Gayathri y Preethi, 2023).

- ¡Que fascinante, *Sphingomonas*! Me emociona acompañarte en este recorrido, pero... ¿cómo ingresaremos al interior de la planta?

- Bueno, nuestro viaje comienza en las raíces, las cuales son la principal puerta de entrada que utilizamos para ingresar al interior de la planta. Una de las vías más comunes son las lenticelas, que funcionan como pequeños “poros” o ventanas en la superficie de las raíces y tallos, gracias a ellas las plantas permiten la entrada de oxígeno y el intercambio de gases entre el exterior y el interior, también utilizamos los espacios donde aparecen las raíces laterales (Maela, 2019). Aunque las raíces son nuestra compuerta principal de acceso también existen otros caminos para ingresar; podemos aprovechar heridas provocadas

por otros organismos, las estomas de las plantas o incluso abrir nuestro propio camino utilizando herramientas especiales llamadas enzimas, que son capaces de disolver la pared de las células vegetales (Afzal et al., 2019; Rani et al., 2022).

- ¡Que interesante! Entonces las raíces son como puertas secretas... y dime querida amiga una vez que ingresan a la planta ¿hacia dónde se dirigen?

- Sígueme, te mostrare nuestro recorrido habitual. Una vez dentro, nos desplazamos desde las capas externas hacia las internas del tejido vegetal y finalmente llegamos al xilema (Figura 1), que es como un sistema de tuberías por donde circula el agua en la planta; gracias a su flujo y a nuestros flagelos podemos movernos y distribuirnos por toda la planta (Marag y Suman, 2018). De esta forma no nos limitamos solo a las raíces, sino que también llegamos a otros lugares como las hojas, las flores e incluso las semillas. Nuestro lugar favorito para vivir son los espacios intercelulares (apoplastos) que funcionan como pasillos entre las células, donde encontramos una gran cantidad de carbohidratos, aminoácidos y nutrientes que nos sirven de alimento (Sen et al., 2026).

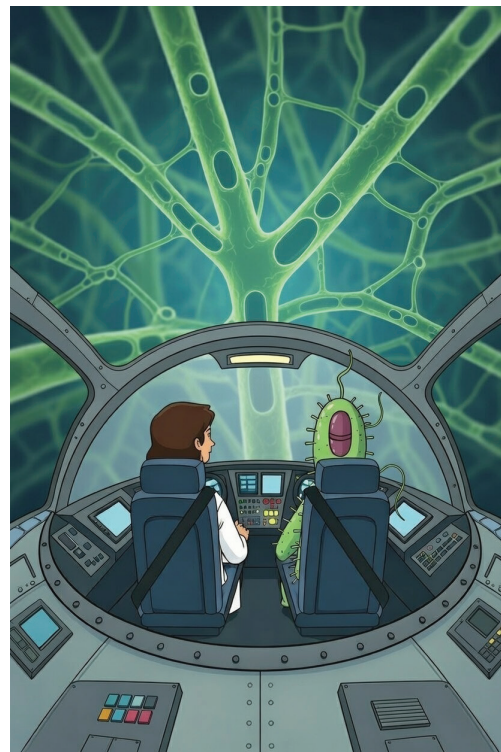


Figura 1. Representación conceptual de *Sphingomonas* y la científica viajando dentro del xilema de una planta.

Fuente: Imagen generada mediante inteligencia artificial para fines ilustrativos.

- Estoy muy emocionada, cuéntame más. ¿Cuáles son las principales tareas que realizan?

- Realizamos diversas tareas dentro de la planta, no estamos solas, convivimos con bacterias de otros géneros y formamos grupos llamados consorcios donde cada una aporta según sus habilidades. Algunas se encargan de ayudar a la planta a crecer, estimulando la producción de hormonas vegetales (ácido indol-3-acético, citoquininas, giberelinas), mensajeros internos que dicen “es hora de crecer” o “es momento de florecer” (Medison et al., 2022), otras actuamos como guardianes, liberando sustancias que actúan como antibióticos los cuales protegen a la planta de otros organismos dañinos (Figura 2) (Sheoran et al., 2015). Algunas de las bacterias más conocidas por estas habilidades pertenecen a los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Enterobacter* y *Paenibacillus* (Afzal et al., 2019).

- ¡Es increíble lo que hacen! Y dime ¿además de ayudar al crecimiento y la defensa, ustedes también apoyan a las plantas cuando enfrentan situaciones difíciles?



Figura 2. Representación conceptual de una bacteria endófito protegiendo a la planta del ataque de microorganismos dañinos.

Fuente: Imagen generada mediante inteligencia artificial para fines ilustrativos.

- Claro que sí, algunas de mis compañeras tienen la capacidad de activar un mecanismo llamado resistencia sistémica inducida (ISR, por sus siglas en inglés) que funciona como una alarma interna que prepara a la planta para enfrentar problemas (Pieterse et al., 2012). Por ejemplo, cuando la planta sufre estrés por falta de agua, la ayudamos produciendo hormonas que regulan su crecimiento y generando antioxidantes que actúan como escudos contra el daño (Tshikhudo et al., 2023). Además, producimos unas sustancias llamadas exopolisacáridos los cuales forman una especie de gel alrededor de las raíces y el suelo, ese gel retiene agua y mantiene la humedad disponible por más tiempo lo que permite que la planta resista mejor la sequía y continúe creciendo incluso en ambientes secos (Verma et al., 2022).

- Ustedes son un sistema de apoyo invisible y permiten a las plantas resistir condiciones adversas.

- ¡Así es querida amiga! En conjunto, todos estos mecanismos refuerzan la salud de la planta y le permiten seguir desarrollándose incluso en ambientes difíciles.

- Desconocía el papel fundamental que tienen en el interior de la planta.

- Y aún falta mucho por conocer, existe poca información sobre nuestra forma de vida y sobre las actividades que realizamos dentro de éstas. Sin embargo, existen lugares como el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CII-DIR-IPN-OAXACA) donde se realizan investigaciones para conocer más sobre nosotras, especialmente en plantas de *Agave potatorum*. Estos agaves son especies silvestres que solo se encuentran en Oaxaca, crecen en distintos lugares, desde bosques de pino encino en las montañas hasta zonas semidesérticas donde las condiciones para crecer son difíciles. Además, sus características físicas como las hojas y la forma de su roseta pueden variar dependiendo del lugar y condiciones en las que crecen (polimorfismo).

Su tallo, conocido como “piña”, guarda grandes cantidades de azúcares, especialmente fructanos, gracias a ellos y a un tipo de metabolismo particular que le permite aprovechar mejor el agua y la luz (llamado metabolismo ácido crasuláceo o CAM) este agave puede resistir largos periodos de sequía (Langlé-Argüello et al., 2019). Por todas estas cualidades, el *A. potatorum* es un candidato ideal para estudiar

las bacterias que viven dentro de él y descubrir como contribuyen a su fortaleza.

- ¡Estamos aprendiendo mucho en este viaje! Nos gustaría conocer más sobre la investigación que están desarrollando en el CIIDIR-Oaxaca.

- Bueno déjame te cuento un poco, los investigadores están buscando bacterias endófitas de *A. potato*, pero en especial aquellas que pueden inhibir el crecimiento de hongos patógenos y las que poseen la capacidad de producir sustancias que ayudan a la planta a crecer más.

- ¡Woow *Sphingomonas*! Y dime, ¿encontraron algunas de esas bacterias presentes en esta planta?

- Si por supuesto. Entre las bacterias que aislaron y que mostraron estas capacidades estaban las del género *Burkholderia*. Se ha reportado previamente que este género de bacterias tiene una relación cercana con las plantas, ya que participan en diferentes actividades que van desde el crecimiento y desarrollo de éstas hasta protegerlas de ataques de organismos patógenos y condiciones difíciles (Pal et al., 2022). También encontraron bacterias del género *Sphingomonas*, como yo. Muchas de nosotras hemos sido reportadas mostrando actividades benéficas; una de las capacidades más destacadas es la de participar en la remediación de suelos contaminados con metales pesados (Gatheru et al., 2017). Sin embargo, en esta investigación se demostró un aspecto poco explorado: su potencial para combatir hongos fitopatógenos.

- Amiga *Sphingomonas* y ¿cómo hicieron los investigadores para demostrar que ustedes tenían esas capacidades?

- Bueno, para comprobarlo los investigadores nos pusieron a prueba frente a hongos que suelen causar enfermedades en las plantas. Utilizaron una técnica llamada cultivo dual, la cual consiste en colocarnos juntos en un mismo espacio y confrontarnos, es parecido a un combate de boxeo. Lo interesante es lo que ocurre después, si la bacteria logra detener al hongo alrededor de ella se forma un “halo de inhibición” el cual es como un círculo protector que impide que el hongo siga creciendo. Esta actividad es una señal que indica que la bacteria tiene la capacidad de combatir patógenos, lo que probablemente se deba a la liberación de sustancias capaces de frenar y dañar a este organismo.

Pero los investigadores no se detuvieron ahí, tam-

bién hicieron algunas pruebas para evidenciar si las bacterias producían compuestos especiales llamados metabolitos secundarios, que son sustancias que ayudan a las plantas a crecer y defenderse. Para ello usaron diferentes pruebas de laboratorio, una de las más llamativas fue la producción de sideróforos utilizando un medio de cultivo específico llamado CAS agar (Schwyn y Neilands, 1987). Este medio contiene una solución reveladora que funciona como un detector químico, cuando la bacteria produce sideróforos el color del medio cambia de azul a naranja. Así de esta manera visual y sencilla, los científicos pueden identificar cuales bacterias tienen esta capacidad.

- Eso suena muy interesante, pero me surge una duda ¿Qué son los sideróforos?

- Déjame te explico. El hierro, aunque es un elemento esencial para las plantas suele estar en el suelo en una forma difícil de aprovechar (Afzal et al., 2019). Nosotras, las bacterias endófitas, producimos sideróforos que actúan como pinzas químicas capaces de atrapar ese hierro y transformarlo a una forma más accesible y asimilable para la planta; de esta manera la planta incorpora el hierro a su nutrición y puede crecer con más fuerza y vitalidad (Adeleke et al., 2021).

- Gracias por explicarme, ahora comprendo mejor el papel que tienen las bacterias endófitas en las plantas y como pueden ayudar a mejorar su crecimiento y desarrollo.

- ¡Si, así es! Somos aliadas invisibles y aún queda mucho por explorar y descubrir sobre nosotras. Pero por el día de hoy nuestro viaje ha llegado a su fin, espero puedas visitarnos en otra ocasión y seguir aprendiendo más sobre nosotras.

- Agradezco que nos hayas dado un espacio de tu tiempo amiga *Sphingomonas*, espero que podamos regresar y sigamos aprendiendo más sobre el maravilloso mundo microscópico de las plantas. ¡Nos vemos en la próxima aventura amigos!

Conclusiones

Las bacterias endófitas son microorganismos que habitan los tejidos internos de las plantas y brindan diversos beneficios al crecimiento y desarrollo de estas, además ayudan a tolerar condiciones de estrés frente a factores bióticos y abióticos. En la naturaleza

existe una amplia gama de endófitos bacterianos de diversos hábitats que no han sido suficientemente estudiados, un ejemplo destacado son los agaves silvestres, cuya adaptación a condiciones extremas los convierte en potenciales reservorios de bacterias con funciones especializadas, lo que abre la posibilidad de descubrir organismos con capacidades únicas y sorprendentes.

La mayoría de bacterias endófitas estudiadas y reportadas han mostrado efectos benéficos para su uso en la promoción del crecimiento vegetal de la planta y como protectores biológicos contra patógenos. Estos microorganismos endófitos son una fuente prometedora para la creación de bioproductos y recursos con potencial biotecnológico. Por lo tanto, debe haber un mayor énfasis en el estudio de endófitos bacterianos con capacidades únicas y en la comprensión de la relación planta-microorganismo, para que puedan ser utilizados como una poderosa herramienta biotecnológica.

Referencias

- Adeleke, B.S., Babalola, O.O. (2021). The endosphere microbial communities, a great promise in agriculture. *Int Microbiol.*, 24(1):1-17. doi: 10.1007/s10123-020-00140-2.
- Afzal, I., Zabta Khan, S. Z., Sikandar, S., Shahzad, S. (2019). Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. *Microbiological Research*, 221:36-49. doi: 10.1016/j.micres.2019.02.001
- Aleynova, O. A., & Kiselev, K. V. (2023). Interaction of Plants and Endophytic Microorganisms: Molecular Aspects, Biological Functions, Community Composition, and Practical Applications. *Plants*, 12(4), 714. <https://doi.org/10.3390/plants12040714>
- Gatheru, W. M, Sun, K., Gao, Y. (2017). Sphingomonads in Microbe-Assisted Phytoremediation: Tackling Soil Pollution. *Trends Biotechnol.*, 35(9):883-899. doi: 10.1016/j.tibtech.2017.06.014.
- Gayathri, D. K., Preethi, K. (2023). Insights into bacterial endophytic diversity and isolation with a focus on their potential applications –A review. *Microbiological Research*, 266: 127256.
- Geiger, O., Padilla-Gómez, J., López-Lara, I.M. (2018). Bacterial Sphingolipids and Sulfonolipids. In: Geiger, O. (eds) Biogenesis of Fatty Acids, Lipids and Membranes. Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer, Cham., 123-137. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43676-0_12-1
- Glaeser, S.P and Kämpfer, P. (2014). The Family *Sphingomonadaceae*. In: Rosenberg, E., DeLong, E.F, Lory, S., Stackebrandt, E., Thompson, F. (eds) The Prokaryotes. Springer, Berlin, Heidelberg, 641–707. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30197-1_302
- Gross, T. (2014). Mezcal and Mexicanness: The Symbolic and Social Connotations of Drinking in Oaxaca. *Folklore*, 59, 7–28.
- Kumari, P., Deepa, N., Trivedi, P.K., Singh, B.K., Srivastava, V., Singh, A. (2023). Plants and endophytes interaction: A “secret wedlock” for sustainable biosynthesis of pharmaceutically important secondary metabolites. *Microb. Cell Fact.*, 2(1):226.
- Langlé-Argüello, L.A., Martínez-Gutiérrez, G.A., Santiago-García, P.A., Escamirosa-Tinoco, C., Morales, I., & Enríquez-del-Valle, J.R. (2019). Soluciones Nutricionales y Sequía en el Crecimiento Vegetal y Contenido de Fructanos de *Agave Potatorum* Zucc. *HortScience*, 54 (9), 1581-1584. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14129-19>
- Madbouly, A.K. (2023). Endophytic Fungi as Sources of Novel Natural Compounds. In: Rashad, Y.M., Baka, Z.A.M., Moussa, T.A.A. (eds) Plant Mycobiome. Springer, Cham., 339-373. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28307-9_14
- Maela, P. M. (2019). Current understanding of bacterial endophytes, their diversity, colonization and their roles in promoting plant growth. *Appl. Microbiol.* 5, 1–12.
- Marag, P.S., Suman, A. (2018). Growth stage and tissue specific colonization of endophytic bacteria having plant growth promoting traits in hybrid and composite maize (*Zea mays* L.). *Microbiol Res.*, 214:101-113. doi: 10.1016/j.micres.2018.05.016.
- Martínez-Rodríguez, J. D. C., de La Mora-Amutio, M., Plascencia-Correa, L. A., Audelo-Regalado, E., Guardado, F. R., Hernández-Sánchez, E., Peña-Ramírez, Y. J., Escalante, A., Beltrán-García, M. J., & Ogura, T. (2019). Cultivable endophytic bacteria from leaf bases of *Agave tequilana* and their role as plant growth promoters. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(4):1333-9. doi: 10.1590/s1517-83822014000400025.
- Medison, R.G., Tan, L., Medison, M.B., Chiwina, K.E. (2022). Use of beneficial bacterial endophytes: A practical strategy to achieve sustainable agriculture. *AIMS Microbiol.*, 8(4):624-643. doi: 10.3934/microbiol.2022040.
- Mushtaq, S., Shafiq, M., Tariq, M.R., Sami A., Nawaz-ul-Rehman, M.S., Bhatti, M.H.T., Haider, M.S., Sadiq, S., Abbas, M.T., Hussain, M. and Shahid, M.A. (2023) Interaction between bacterial endophytes and host plants. *Front. Plant Sci.*, 13, 1092105.
- Oukala, N., Aissat, K., Pastor, V. (2021). Bacterial Endophytes: The Hidden Actor in Plant Immune Responses against Biotic Stress. *Plants (Basel)*, 10(5):1012. doi: 10.3390/plants10051012.
- Pal, G., Saxena, S., Kumar, K., Verma, A., Sahu, P.K., Pandey, A., White, J. F., Verma, S. K. (2022). Endophytic *Burkholderia*: Multifunctional roles in plant growth promotion and stress tolerance. *Microbiol Res.*, 265:127201. doi: 10.1016/j.micres.2022.127201.
- Pieterse, C. M., Van der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., Van Wees, S. C. (2012). Hormonal modulation of plant immunity. *Annu Rev Cell Dev Biol.*, 28:489-521. doi: 10.1146/annurev-cellbio-092910-154055.
- Rani, S., Kumar, P., Dahiya, P., Maheshwari, R., Dang, A.S. and Suneja, P. (2022). Endophytism: A Multidimensional Approach to Plant–Prokaryotic Microbe Interaction. *Front. Microbiol.* 13:861235. doi: 10.3389/fmicb.2022.861235
- Rieger, I. A. (2025). “Rewilding” del mercado de Mezcal: Prácticas culturales y conservación de los agaves en Oaxaca, México. *Wild*, 2(2), 20. <https://doi.org/10.3390/wild2020020>
- Sen, A., Saji, J., Faseela, P., Zhang, C., Mohanan, S., & Xia, Y. (2026). Exploring the Functional Roles of Endophytic Bacteria in Plant Stress Tolerance for Sustainable Agriculture: Diversity, Mechanisms, Applications, and Challenges. *Plants*, 15(2), 206.
- Schwyn, B. & Neilands, J.B. (1987). Universal CAS assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical biochemistry*, 160, 47-56.

- Sheoran, N., Nadakkakath, A. V., Munjal, V., Kundu, A., Subaharan, K., Venugopal, V., Rajamma, S., Eapen S. J., Kumar, A. (2015). Genetic analysis of plant endophytic *Pseudomonas putida* BP25 and chemo-profiling of its antimicrobial volatile organic compounds. *Microbiological Research*, 173, 66-78.
- Tshikhudo, P. P., Ntushelo, K., & Mudau, F. N. (2023). Sustainable Applications of Endophytic Bacteria and Their Physiological/Biochemical Roles on Medicinal and Herbal Plants: Review. *Microorganisms*, 11(2), 453. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020453>
- Vega Vera, N. V., y Pérez Akaki, P. (2017). Oaxaca y sus regiones productoras de mezcal: Un análisis desde cadenas globales de valor. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 15(29), 103-132.
- Verma, A., Shameem, N., Jatav, H.S., Sathyanarayana, E., Parray, J.A., Pocai, P., Sayyed, R.Z. (2022). Fungal Endophytes to Combat Biotic and Abiotic Stresses for Climate-Smart and Sustainable Agriculture. *Front Plant Sci.*, 13:953836. doi: 10.3389/fpls.2022.953836.
- West, T. P. (2021). Synthesis of the Microbial Polysaccharide Gellan from Dairy and Plant-Based Processing Coproducts. *Polysaccharides*, 2(2), 234-244.
- Wu, W., Chen, W., Liu, S., Wu, J., Zhu, Y., Qin, L. and Zhu, B. (2021). Beneficial Relationships Between Endophytic Bacteria and Medicinal Plants. *Front. Plant Sci.* 12:646146. doi: 10.3389/fpls.2021.646146
- Xia, Y., Liu, J., Chen, C., Mo, X., Tan, Q., He, Y., Wang, Z., Yin, J., Zhou, G. (2022). The Multifunctions and Future Prospects of Endophytes and Their Metabolites in Plant Disease Management. *Microorganisms*, 10, 1072.
- Yabuuchi, E., Yano, I., Oyaizu, H., Hashimoto, Y., Ezaki, T., & Yamamoto, H. (1990). Proposals of *Sphingomonas paucimobilis* gen. nov. and comb. nov., *Sphingomonas parapaucimobilis* sp. nov., *Sphingomonas yanoikuyae* sp. nov., *Sphingomonas adhaesiva* sp. nov., *Sphingomonas capsulata* comb. nov., and two genospecies of the genus *Sphingomonas*. *Microbiology and immunology*, 34(2), 99-119.

Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM)



Infraestructura

104 Ha. de dimensión

118 Edificios

55 Laboratorios

9 Talleres

Parque Tecnológico

Parque Solar Fotovoltaico

Planta de Tratamiento de Agua

Planta Potabilizadora de Agua

Agavetum



9 Institutos de Investigación

Centro de Modelación Matemática,
Vinculación y Consultoría

Instituto de Agroindustrias

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

Instituto de Computación

Instituto de Diseño

Instituto de Física y Matemáticas

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz

Instituto de Hidrología

Instituto de Minería

División de Estudios de Posgrado

Oferta Educativa



Licenciaturas

Ingeniería Civil
Ingeniería Industrial
Ingeniería en Diseño
Ingeniería en Alimentos
Ingeniería en Electrónica
Ingeniería en Mecatrónica
Ingeniería en Computación
Ingeniería en Física Aplicada
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Ingeniería Química en Procesos Sostenibles
Licenciatura en Ciencias Empresariales
Licenciatura en Matemáticas Aplicadas
Licenciatura en Estudios Mexicanos
(modalidad virtual)



INFORMES

Consulta las bases y requisitos en
www.utm.mx

Posgrado

Maestría en Robótica
Maestría en Ciencia de Datos
Maestría en Diseño de Muebles
Maestría en Medios Interactivos
Maestría en Inteligencia Artificial
Maestría en Ciencia de Materiales
Maestría en Ingeniería de Software
Maestría en Modelación Matemática
Maestría en Administración de Negocios
Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura
Maestría en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos
Maestría en Electrónica, opción: Sistemas Inteligentes Aplicados
Doctorado en Robótica
Doctorado en Inteligencia Artificial
Doctorado en Modelación matemática
Doctorado en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos
Doctorado en Electrónica, opción sistemas Inteligentes Aplicados



Ensayo expositivo

Simulador didáctico en el diseño y evaluación de intercambiadores de calor de tubos y coraza

Educational simulator for the design and evaluation of shell and tube heat exchangers

Alfonso Flores-Meza¹, Lizbeth Contreras-Romero^{1*}
Sergio Juárez-Vázquez¹, Sandro Acevedo-Zapata¹

¹Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec

*Autor de correspondencia:
lizbetha2009@live.com.mx

Recibido:03-03-2024 Aceptado: 18-12-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

En la industria química, el acondicionamiento térmico de las corrientes de proceso es de vital importancia. Su estudio es un factor primordial. Su aplicación a nivel industrial reduce costos y optimiza el calor disponible en los procesos. El simulador didáctico de uso gratuito y de caja abierta para intercambiadores de calor de tubos y carcasa, "Shell and tube heat exchanger, Bell Delaware Method 1.0", implementa la metodología corta de Bell Delaware. Está diseñado en la plataforma Apache NetBeans, mediante la programación orientada a objetos utilizando el lenguaje de programación Java developed kit versión 17 y Java Runtime Environment versión 13.1. La validación de los resultados de la capacidad de cálculo del programa se realiza mediante la reproducción de ejemplos bibliográficos, comparando el error del simulador con los cálculos reportados. El resultado es un simulador interactivo de enseñanza-aprendizaje cuya finalidad es incrementar la eficacia en la transmisión y adquisición del conocimiento, implementando las tecnologías de información y comunicación en la educación. El diseño de este software como herramienta de aprendizaje está orientado a alumnos y profesores de universidad que requieran dimensionar un intercambiador de calor o evaluar un equipo existente. Permite visualizar de manera gráfica la secuencia de pasos en el cálculo del diseño térmico e hidráulico, así como variar los parámetros para analizar los efectos de las variables en el desempeño de los intercambiadores de calor.

Palabras clave: Simulación, software gratuito, enseñanza-aprendizaje, estudiante, docente.

Abstract

In the chemical industry, the thermal conditioning of process streams is of vital importance, hence its study is a primary factor; its application at an industrial level reduces costs and optimizes the heat available in the processes; The free-to-use, open-box educational simulator for shell and tube heat exchangers, "Shell and tube heat exchanger, Bell Delaware Method 1.0", implements the short Bell Delaware methodology, is designed on the Apache NetBeans platform, using object-oriented programming using the Java developed kit version 17 programming language and Java Runtime Environment version 13.1 and validating the results of the program's calculation capacity by reproducing bibliographic examples comparing the simulator error with the reported calculations. The result is an interactive teaching-learning simulator whose purpose is to increase effectiveness in the transmission and acquisition of knowledge, implementing information and communication technologies in education. The design of this software as a learning tool is aimed at university students and professors who need to size a heat exchanger or evaluate existing equipment, allowing graphical visualization of the sequence of steps in the calculation of the thermal and hydraulic design, as well as vary the parameters to analyze the effects of the variables on the performance of the heat exchangers.

Keywords: Simulation, free software, teaching-learning, student, teacher.

Introducción

La enseñanza de intercambiadores de calor ha cambiado de un enfoque puramente analítico basado en métodos como el LMTD (Diferencia de Temperatura Media Logarítmica) o el NTU (Efectividad-Número de Unidades de Transferencia) hacia el uso de herramientas digitales para la enseñanza de las metodologías propias del tema. Los simuladores de Los

simuladores son esenciales para realizar análisis de sensibilidad de condiciones tanto de operación como de diseño, por ejemplo, temperatura y caudales de entrada a los tubos y coraza, número y longitud de tubos, número de pasos, diámetro externo e interno de los tubos, diámetro interno de coraza y factor de ensuciamiento, etc. Heat Transfer Fluid Flow Service

(HTFS) en el Reino Unido, y el Heat Transfer Research Institute (HTRI) en los Estados Unidos fueron los primeros desarrollados en la década del 60. Existe Software Comercial (Caja Negra): Como Aspen HYSYS o HTRI, utilizados para diseño industrial riguroso. Entornos de Programación (Caja Blanca): Uso de Python, MATLAB o Excel/VBA donde el estudiante programa las ecuaciones fundamentales. Simuladores Interactivos y CFD: Herramientas de Dinámica de Fluidos Computacional (como ANSYS Fluent) que muestran la distribución detallada de presiones y temperaturas (Gregorio et al., n.d.; Machuca & Urresta, 2008), (Kariimi, 2008), (Smith & Pollard, 1986). No obstante, el uso de un programa profesional puede ser complejo, requiere experiencia y conocimientos sobre el comportamiento de un equipo, la elección del mejor diseño y la selección de un programa específico (Cartaxo & Fernández, 2010), Por ello el objetivo de este trabajo es un programa de ingeniería para el cálculo de intercambiadores de calor en los cuales en su interior se transportan fluidos monofásicos en estado líquido. El empleo de este software es para uso universitario, es una importante mejora educativa que permite reducir el tiempo dedicado a largos cálculos manuales, en afianzar conceptos teórico-prácticos mediante análisis de resultados y de sensibilidad paramétrica (Blasetti et al., 2013), así como ejercitar el proceso de toma de decisiones o desarrollar criterios de ingeniería.

Metodología

Bell-Delaware y su algoritmo estructurado

El método de cálculo empleado fue el Método Bell Delaware aún vigentes en el cálculo de correlaciones empíricas para el coeficiente de transferencia de calor y de factor de fricción en el flujo perpendicular a los bancos de tubos (Blasetti et al., 2013; Serna & Jiménez, 2005). Según Mendoza, 2018 los resultados demuestran que la correlación que tiene una mejor aproximación al comportamiento experimental es la de Delaware, puesto que existe un mejor cálculo para determinar el área de flujo cruzado a lo largo de la línea central de flujo, además para la evaluación del coeficiente de transferencia de calor considera distintos factores de corrección, tales como: los efectos de derivación, fugas y flujos en los espaciamientos.

En el procedimiento de diseño, la metodología de Bell-Delaware supone que se especifican el flujo

másico, temperaturas de entrada y salida del fluido del lado de la coraza y de los tubos, caída de presión permisible, factor de ensuciamiento, propiedades tales como densidad, capacidad calorífica, viscosidad y conductividad térmica. La aplicación del algoritmo de diseño proporciona los siguientes resultados: longitud del tubo, área de transferencia de calor, número de tubos, número de baffles, espacio de baffles, diámetro de coraza, coeficiente de transferencia de calor del lado del tubo y de la coraza.

Los cálculos terminan cuando se identifica el diseño que satisface tres requisitos principales:

1. Transfiere la carga térmica requerida.
2. La caída de presión de fluido del tubo es menor que el valor permisible.
3. La caída de presión del fluido de la coraza es menor que el valor permisible.

Desarrollo del Software en la Plataforma de Apache NetBeans

La plataforma para el desarrollo de este software fue Apache NetBeans IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de código abierto y gratuito. Es un editor de código fuente, con recursos de construcción automáticos y un depurador; además, ofrece un compilador y un intérprete. NetBeans trabaja con Java, que es un lenguaje multiplataforma que permite integrar los lenguajes de programación con las plataformas correspondientes a los sistemas operativos o entornos de programación. Esto facilita el proceso de diseño como la actualización, compilación, depuración, prueba, junto con la fase de implementación de aplicaciones de escritorio, web o móviles, especialmente dirigido para la creación de aplicaciones por medio del lenguaje de programación JavaFX (Quispe Andía et al., 2023). En el contexto de los gráficos, JavaFX proporciona un conjunto de gráficos predefinidos, cada uno de los cuales se puede animar, lo que es particularmente útil para mostrar los cambios en los valores presentados en un gráfico.

Módulos

Se recomienda que la información de entrada para cualquier módulo de cálculo debe ser adecuada de acuerdo a la configuración del sistema y a las condiciones de operación con la finalidad de evitar resultados sobrestimados o inexactos. Para ello el software consta de tres módulos de cálculo.

Módulo I: Simulación

Permite calcular el Área de Transferencia de Calor en los Tubos, de acuerdo a las condiciones de servicio y a la configuración de su geometría. La simulación puede ser adecuada para diferentes fluidos, a diferentes temperaturas y a diferentes caudales, lo anterior se realiza teniendo como variables conocidas la capacidad calorífica de ambos fluidos, la longitud de los tubos, número de los tubos y el diámetro externo de los tubos, ver Figura 1.

Módulo II: Evaluación

En este módulo se encuentran implícitos tres submódulos que son utilizados para realizar la evaluación que así se requiera. (ver Figura 2).

1. Módulo de evaluación de la variación del coeficiente de transferencia de calor en los tubos (h_i) al variar el número de pasos. Realiza la evaluación de la variación del h_i al variar el número de pasos, además de proporcionar los diferentes valores del número de Reynolds, flujo másico y de la velocidad promedio en los tubos al finalizar la ejecución del programa en función al valor del número de pasos seleccionados.

2. Módulo de evaluación para determinar si el intercambiador es térmicamente adecuado (ver Figura 3). Para realizar lo anterior es necesario además de conocer las variables antes mencionadas conocer el material de construcción de los tubos y de la coraza, la conductividad térmica de los materiales de construcción en la coraza, el valor y el tipo de arreglo, la disposición de los fluidos (paralelo o contracorriente), el diámetro interno de la coraza y el diámetro interno y externo de los tubos. Con estos valores el programa proporcionará el coeficiente global de transferencial de calor requerido de diseño limpio, así como el valor del sobre diseño y sobre dimensionamiento.

3. Módulo de evaluación para determinar si el intercambiador es hidráulicamente adecuado (ver Figura 4). Es necesario además de conocer las variables antes mencionadas conocer el valor de la caída de presión máxima para ambos fluidos empleados. En base a estos valores iniciales al finalizar la ejecución del programa se obtendrán como resultados el coeficiente global de transferencial de calor requerido de diseño, el valor del sobre diseño y sobre dimensionamiento y el valor de las caídas de presión por fricción, en los cabezales y en las boquillas para los tubos y la coraza.

Módulo III: Diseño

Permite realizar el dimensionamiento del intercambiador de calor de Tubos y Coraza en base a los fluidos y condiciones de operación seleccionados (ver Figura 5). Este módulo es otra forma de ejecutar el programa realizado. Requiere ingresar las variables antes mencionadas como datos de entrada, durante la ejecución el software como ya se mencionó también se cuenta con ayudas, gráficas, tablas que permiten seleccionar y calcular el material de construcción de los tubos y coraza, la conductividad térmica del material de construcción en la coraza, el valor y el tipo de arreglo, la disposición de los fluidos, el diámetro interno de la coraza, el diámetro interno y externo de los tubos, y el valor de la caída de presión máxima para ambos fluidos empleados.

Se obtiene como resultado el coeficiente global de transferencial de calor requerido de diseño, así como el valor del sobre diseño y sobre dimensionamiento si es el caso, y el valor de las caídas de presión por fricción, en los cabezales y en las boquillas para los tubos y la coraza.

Resultados

La evaluación de cálculo del programa es mediante la reproducción de un ejemplo bibliográfico, problema ejemplo 5.1 de Process Heat Transfer: Principles and Applications (W. Serth Robert, 2007). La simulación se realizó con el simulador Shell and tube heat exchanger, Bell Delaware Method 1.0 (Figura 6).

Los datos a ingresar (Figura 7) deben concordar con las unidades requeridas en caso contrario se pueden convertir en el apartado de Conversiones, una vez hecho lo anterior se continua (botón “Siguiente paso”) con las Especificaciones iniciales, como colocación de los fluidos, tipos de cabezas y coraza, arreglos de los tubos y materiales de construcción.

Las estimaciones preliminares (Figuras 8a y 8b), tanto del área como del número de tubos, longitud de los tubos, número de pasos, calibre, el diámetro interno y externo de los tubos a utilizar. La relación $L/DS=8$ es un punto intermedio del rango (5 a 10), se determinó el número de Reynolds en función del número de pasos.

Se realiza el ajuste del número de tubos (Figura 9), diámetro de coraza mostrados en las tablas de diseño comercial. Se establece el espaciado de deflec-

tores a través de la gráfica disponible en el software (botón “ver figura”) en el cual dependiendo del diámetro de coraza nos brinda un corte más adecuado, (Figura 10).

Para la evaluación hidráulica se dan los datos para determinar las caídas de presión (Figura 11), realizando previamente la determinación del diámetro de la boquilla. La información previamente proporcionada es utilizada para determinar la caída de presión total en la coraza (Figura 12), culminado los cálculos térmicos e hidráulicos del intercambiador se pueden observar los datos suministrados y los resultados del diseño para su interpretación por el usuario; para ello es necesario presionar sobre el botón “Imprimir resultados”.

En los resultados obtenidos en este ejemplo (Figura 13), las cajas de texto del Sobre Diseño y la Sobre Superficie son de color rojo, los valores sobrepasaron los límites permitidos, por lo que se observa un cuadro de texto que el Simulador le proporciona al usuario para hacerle saber porque estas cajas de texto son de este color, en este caso informa que el intercambiador no es térmicamente adecuado para el servicio, no obstante brinda posibles soluciones que puede utilizar para mejorar el intercambiador térmicamente. Esto se logra al hacer ajustes en pasos anteriores lo que permite analizar diversos escenarios para cumplir los límites permitidos.

Haciendo ajustes se puede observar en la Figura 14 que se cumple con los criterios establecidos dando así a una configuración que ahora podrá ser analizada en cuanto costo, lugar de ubicación, facilidad de mantenimiento entre otras. El software es una herramienta en la que el alumno podrá plantear diferentes ajustes para así entender el efecto de cada variable del intercambiador de calor, generando así un conocimiento analítico y más profundo.

Conclusiones

El programa desarrollado permite a los estudiantes y profesores visualizar gráficamente la secuencia de pasos del cálculo de diseño térmico e hidráulico, así como variar parámetros para analizar los efectos de las variables en el desempeño del equipo. El uso de este software para fines universitarios es una mejora educativa importante que permite reducir el tiempo dedicado a largos cálculos manuales, permitiendo

enfocarse en conceptos teórico-prácticos mediante el análisis de resultados y la toma de decisiones de ingeniería. La capacidad de cálculo del programa se validó mediante la reproducción de ejemplos bibliográficos, comparando el error del simulador con los cálculos reportados, resultando en una herramienta confiable para el estudio.

Referencias

- Blasetti, A., Bertolami, M., Oriana, G., & Olivares, P. (2013). VII CAIQ2013 y 2das JASP PRODEIC-Programa para el Diseño de Equipos de Intercambio de Calor.
- Cartaxo, S. J. M., & Fernandes, F. A. N. (2010). Educational software for heat exchanger equipment. *Computer Applications in Engineering Education*, 18(1), 193–199. <https://doi.org/10.1002/cae.20137>
- Gregorio, J., Capetillo, H., Merced Martínez Vázquez, J., Luis, M. I., Castro, S., & Arnulfo Pérez Pérez, M. C. (n.d.). *Software educativo para analizar intercambiadores de calor tipo coraza y tubos*.
- Karimi, A. (2008). *Session 5-1 Application of Excel in Solving Heat Exchanger Problems*.
- Machuca, F., & Urresta, O. (2008). Software para la enseñanza de la dinámica y control de intercambiadores de calor de tubos y coraza. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (44), 52–60. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302008000200006&lng=e&nrm=iso&tlng=es
- Mendoza Mendoza kukultzin. (2018). *Desarrollo de un software para el diseño térmico de intercambiadores de calor*.
- Quispe Andía, A., Morales Romero, G. P., Guía Altamirano, T., & Quispe Guía, S. M. T. (2023). Lenguaje de programación Java Netbeans y aplicaciones visuales educativas. In *Lenguaje de programación Java Netbeans y aplicaciones visuales educativas*. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle (UNE) - Fondo Editorial La Cantuta. <https://doi.org/10.54942/lacantuta.29>
- Serna, M., & Jiménez, A. (2005). A compact formulation of the Bell-Delaware method for heat exchanger design and optimization. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(5 A), 539–550. <https://doi.org/10.1205/cherd.03192>
- Smith, P. R., & Pollard, D. (1986). The role of computer simulations in engineering education. *Computers & Education*, 10(3), 335–340. [https://doi.org/10.1016/0360-1315\(86\)90002-3](https://doi.org/10.1016/0360-1315(86)90002-3)
- W.Serth Robert. (2007). *Process Heat Transfer, Principles and Applications* (ELSEVIER, Ed.; first edition). ELSEVIER.

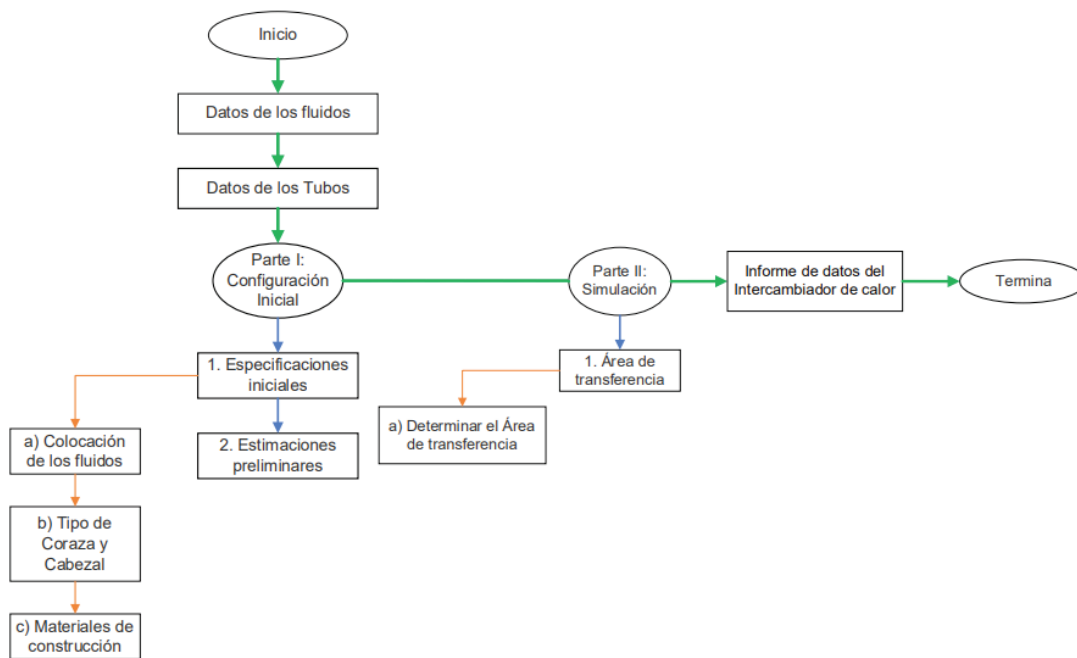


Figura 1. Diagrama de flujo para el módulo de simulación.
Fuente: Elaboración propia.

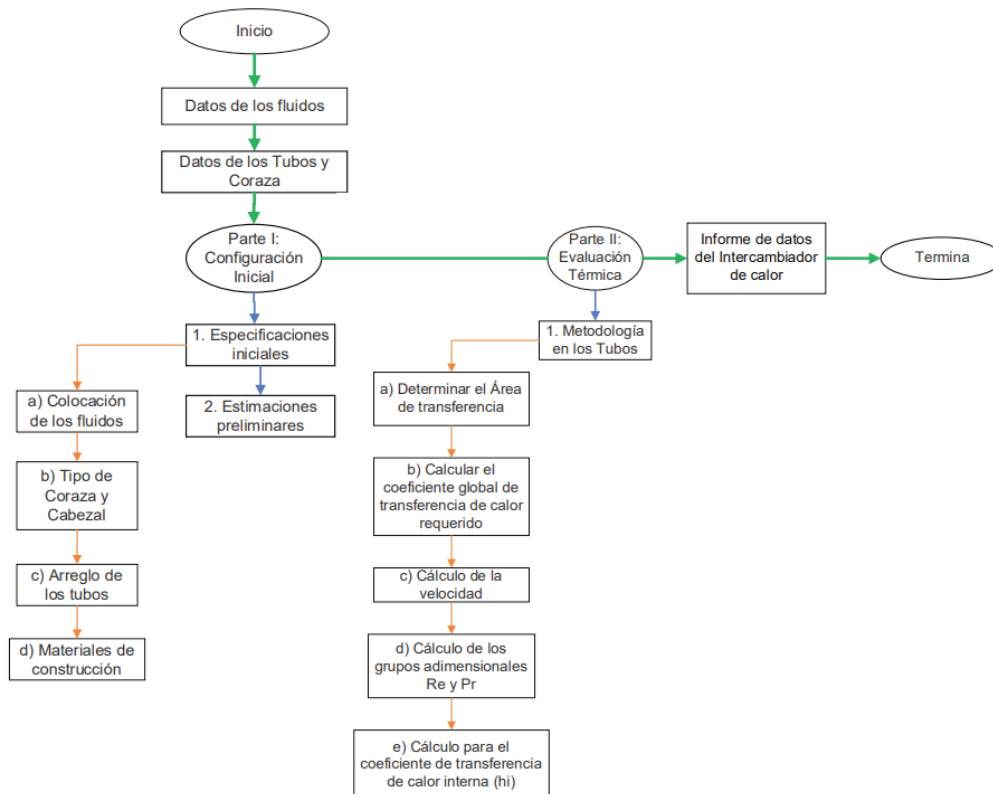


Figura 2. Diagrama de flujo para el módulo de evaluación del coeficiente de transferencia de calor en los tubos (h_i) al variar el número de pasos.
Fuente: Elaboración propia.

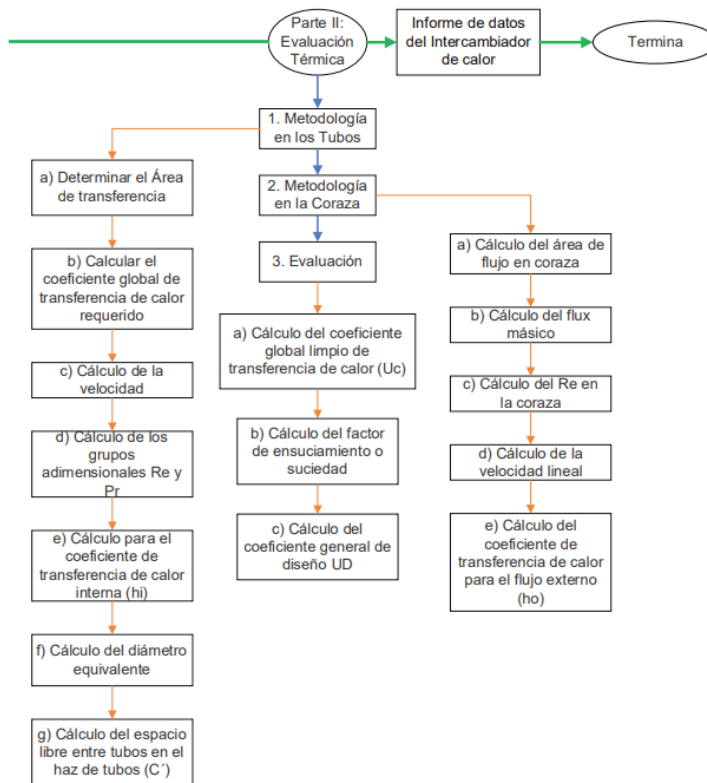


Figura 3. Diagrama de flujo para el módulo de evaluación térmica del intercambiador de calor.
Fuente: Elaboración propia.

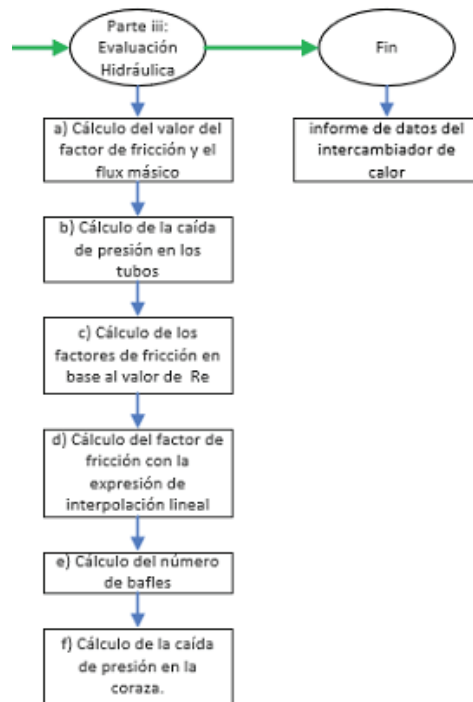


Figura 4. Diagrama de flujo para el módulo de evaluación hidráulica del intercambiador de calor.
Fuente: Elaboración propia.

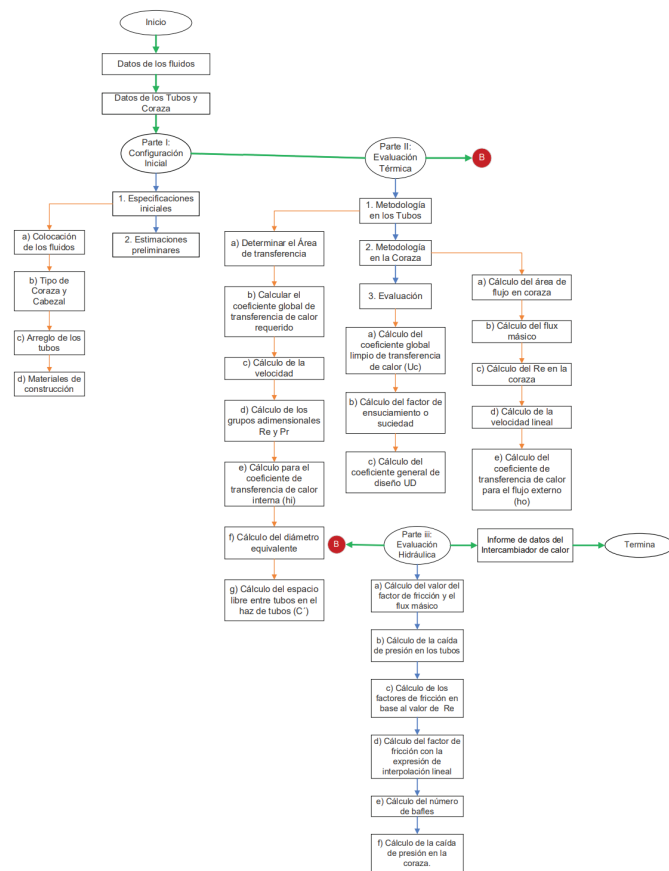


Figura 5. Diagrama de flujo para el dimensionamiento en el módulo de diseño.
Fuente: Elaboración propia.

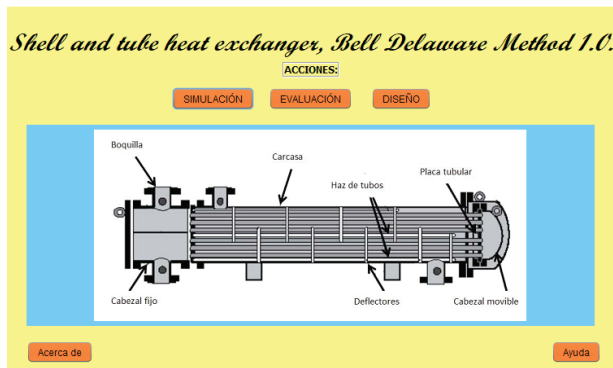


Figura 6. Pantalla principal del simulador.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Ventana donde se proporcionan los datos del problema.
Fuente: Elaboración propia.

DATOS DEL PROBLEMA:

¿Qué datos son conocidos?

- ☐ Flujo del Fluido caliente y 4 temperaturas.
- ☐ Dos flujos y tres temperaturas (dos del Fluido frío y uno del Fluido caliente).
- ☒ Dos flujos y tres temperaturas (dos del Fluido caliente y uno del Fluido frío).
- ☐ Flujo del Fluido frío y 4 temperaturas.

	Fluido Frío		Fluido Caliente		Unidades
Flujo másico:	150000	45000			lb/h
Temperatura de entrada:	T1	100	T1	390	°F
Temperatura de salida:	T2	0.0	T2	250	°F

	Fluido Frío		Fluido caliente		Unidades
Cp:	0.49	Btu/(lb. °F)	0.59	Btu/(lb. °F)	
k (conductividad):	0.077	Btu/(h.ft. °F)	0.079	Btu/(h.ft. °F)	
Viscosidad dinámica:	3.595041	cP	4.0082645	cP	
Densidad:	53.065502	lb/ft ³	49.007553	lb/ft ³	

Conversiones

De gravedad específica a densidad:

SG: 0.85 **Adimensional**

Densidad: 53.065502 **lb/ft³**

Convertir

La viscosidad dinámica de lbm/(h.ft) a cP:

Viscosidad: 8.7 **lbm/(h.ft)**

Viscosidad: 3.595041 **cP**

Convertir

Atrás Siguiente paso

Para realizar el dimensionamiento correcto de estos equipos de procesos es importante seguir los criterios de diseño establecidos, los cuales son los siguientes:

a) COLOCACIÓN DE LOS FLUIDOS

Tubos: Crude Oil
Coraza: Kerosene

En pasos posteriores se le preguntará ¿Qué fluido va por los tubos?, (Fluido Frio o Caliente).

Ayuda
Atrás
Siguiente paso b)

b) TIPOS DE CABEZAS Y CORAZA

Tipo de: Cabezal estacionario del extremo delantero: "A"
Coraza: "E"
Cabezal trasero: "S"
Distribución de flujo: Contracorriente

Ayuda
Atrás
Siguiente paso c)

Figura 8a. Ventana de estimaciones preliminares.
Fuente: Elaboración propia.

c) ARREGLO DE LOS TUBOS

Tipo de paso: Cuadrado
Tamaño del paso (Pitch): 1.25 in

P_T : Pitch
 C : Claro

Ayuda
Atrás
Siguiente paso d)

d) MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Tipo de material para: Los tubos: Acero carbono
Rango de k del material: 24 - 30 Btu/(h.ft.°F)
k (conductividad del material): 26 Btu/(h.ft.°F)
La coraza: Acero carbono
Rango de k del material: 24 - 30 Btu/(h.ft.°F)
k (conductividad del material): 26 Btu/(h.ft.°F)

Atrás
Siguiente paso

ESTIMACIONES

Dímetro de la coraza (Do): 20.930382 pulgada (in)
Longitud de tubos (L): 13.953588 ft
Número de tubos (NT): 220.20343 Adimensional
Valor de Re en función del número de pasos: 1434.4103 Re

Para determinar el diámetro de la coraza a partir de la relación (L/Do) mediante la siguiente ecuación:
$$D_o = \left[\frac{4P_T^2 L}{\pi^2 D_o (L/D_o)} \right]^{1/3}$$

Entonces la longitud de los tubos se calcula con la siguiente ecuación:
$$L = (L/D_o) D_o$$

Do: Diámetro externo del tubo.
Dt: Diámetro interno de la coraza.
PT: Paso de tubo o tubo.
Para estimar el número de tubos a partir del diámetro de coraza se emplea la siguiente expresión:
$$N_T = \frac{\pi D_o^2}{P_T^2}$$

Para realizar el dimensionamiento correcto de los intercambiadores de calor de Tubos y Coraza y a su vez establecer un número de pasos adecuado, lo anterior debe cumplir el criterio principalmente de $Re > 10000$, es decir, que el flujo sea turbulento.
$$Re = \frac{4 \dot{m}_{tubo} (n_t / n_c)}{\pi D_o \mu}$$

El cual el valor del Re está en función del número de pasos.

Número de pasos (Np): 6 Adimensional
Velocidad lineal en los tubos (Vt): 5.6396837 ft/s
Rango de la Velocidad lineal (Vt): 3 a 8 ft/s

Calcular
Atrás
Siguiente paso

VALORES INICIALES

Unidades
L/Do: 8 Adimensional
Do: 1 pulgada (in)
Dt: 0.834 pulgada (in)
C/Dt: 14 Btu

Ayuda
Ver Tabla
Atrás
Siguiente paso

Figura 8b. Ventana de estimaciones preliminares.
Fuente: Elaboración propia.

4. AJUSTE DEL NÚMERO DE TUBOS.

Número de pasos (Np): 6 Adimensional
Cabezal tipo: "S"
Número de tubos (NT): 220.20343 Adimensional
Nuevo número de tubos (NTn): 212 Adimensional
Diámetro de la coraza: 25 in
Relación L/Do: 6.6977224 Adimensional
Rango de la Relación L/Do: 5 a 10 Adimensional

Calcular
Atrás
Siguiente paso

Apéndice del libro de Serth

Tabla C.1 Tube Counts for 5/8-in. OD Tubes on 13/16-in. Square Pitch

Shell ID (in.)	Number of passes			
	1	2	4	6
8	55	48	34	24
10	88	79	62	56
12	140	138	112	100
13.25	178	172	146	136
15.25	245	232	208	192
17.25	320	308	274	260
19.25	405	392	352	336
21.25	502	484	442	424
23.25	610	584	536	508
25	700	676	618	600
27	843	812	742	716
29	970	942	868	840
31	1127	1096	1014	984
33	1288	1250	1172	1148
35	1479	1438	1330	1308
37	1647	1604	1520	1480
39	1840	1794	1700	1664
42	2137	2112	2004	1968
45	2511	2458	2326	2288
48	2865	2808	2686	2656
54	3656	3600	3402	3404
60	4538	4472	4310	4256

Para seleccionar correctamente el nuevo Número de Tubos, este debe tener la menor diferencia entre el Número de Tubos Calculados.

Dímetro de la coraza (Do): 20.930382 pulgada (in)
Número de tubos (NTn): 220.20343 Adimensional
Nuevo número de tubos (NTn): 212 Adimensional
Nuevo Diámetro de la coraza: 25 in

Calcular

Figura 9. Ventana ajuste en los tubos.
Fuente: Elaboración propia.

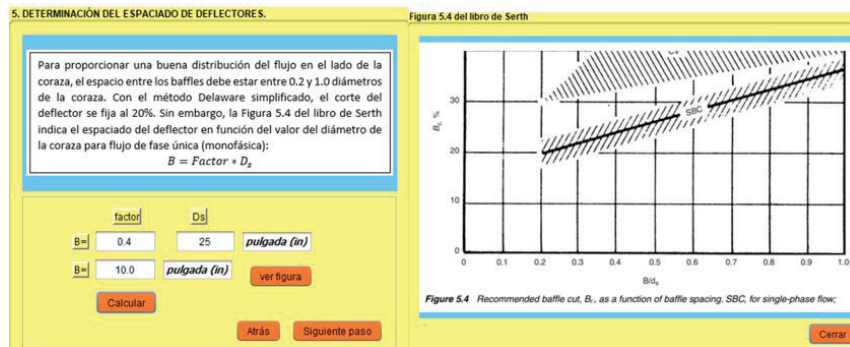


Figura 10. Ventana del espaciado de deflectores.
Fuente: Elaboración propia.

b) Cálculo de la caída de presión en los tubos

Para determinar la caída de presión en los tubos, se debe de calcular:

- Perdidas por fricción:

$$\Delta P_f = \frac{f \cdot N_p \cdot L \cdot G^2}{7.5 \times 10^{12} \cdot D_i \cdot s \cdot \phi} [=] \text{psi}$$

Donde la densidad relativa se expresa mediante la siguiente expresión:

$$s = \frac{\rho_{\text{fluido en el tubo}}}{\rho_{\text{agua}}} = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

L: Longitud de los tubos [=] ft.
φ: Se supone que el factor de corrección de la viscosidad es la unidad ya que no se proporcionaron datos para la dependencia de la temperatura.

La caída de presión total en el tubo es:

$$\Delta P_t = \Delta P_f + \Delta P_e + \Delta P_n [=] \text{psi}$$

- Perdidas por entrada, salida y retorno o Perdidas del cabezal:

$$\Delta P_e = \frac{1.334 \times 10^{-13} (2N_p - 1.5) G^2}{s} [=] \text{psi}$$

- Perdidas por cambio de dirección:

$$Re_n = \frac{4\dot{m}}{\pi D_{in} \mu} [=] \text{Adimensional}; G_n = \frac{\dot{m}}{(\pi D_{in}^2 / 4)} [=] \text{lbm/h.ft}^2$$

En base al valor del diámetro de coraza $D_o [=]$ in y de acuerdo a la tabla 5.3 del libro *Process Heat Transfer Principles and Applications*. (Primera ed.), Serth, R. W. (2007), se obtiene el Diámetro nominal de la boquilla, en pulgadas, el diámetro interno (D_{in}) se toma del apéndice B (Table B.2 Properties of Steel Pipe) del libro *Process Heat Transfer Principles and Applications*. (Primera ed.), Serth, R. W. (2007).

$$\Delta P_n = 2.0 \times 10^{-13} N_s (G_n)^2 / s [=] \text{psi}$$

Figura 11. Ventana del cálculo de la caída de presión en los tubos.
Fuente: Elaboración propia.

f) Cálculo de la caída de presión en la coraza.

Cálculo de la caída de presión en la coraza.

- Perdidas por fricción:

$$\Delta P_f = \frac{f \cdot G^2 \cdot D_o (n_s + 1)}{7.5 \times 10^{12} \cdot d_e \cdot s \cdot \phi} [=] \text{psi}$$

Donde la densidad relativa se expresa mediante la siguiente expresión:

$$s = \frac{\rho_{\text{fluido en la coraza}}}{\rho_{\text{agua}}} = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

L: Longitud de los tubos [=] ft.
φ: Se supone que el factor de corrección de la viscosidad es la unidad ya que no se proporcionaron datos para la dependencia de la temperatura de la viscosidad.

- La caída de presión total en la coraza es:

$$\Delta P_o = \Delta P_f + \Delta P_n [=] \text{psi}$$

- Perdidas por cambio de dirección:

$$Re_n = \frac{4\dot{m}}{\pi D_{in} \mu} [=] \text{Adimensional}; G_n = \frac{\dot{m}}{(\pi D_{in}^2 / 4)} [=] \text{lbm/h.ft}^2$$

En base al valor del diámetro de coraza $D_o [=]$ in y de acuerdo a la tabla 5.3 del libro *Process Heat Transfer Principles and Applications*. (Primera ed.), Serth, R. W. (2007), se obtiene el Diámetro nominal de la boquilla, en pulgadas, entonces suponiendo que la tubería es de cedula 40 (40ST, 40S), el diámetro interno (D_{in}) se toma del apéndice B (Table B.2 Properties of Steel Pipe) del libro *Process Heat Transfer Principles and Applications*. (Primera ed.), Serth, R. W. (2007).

$$\Delta P_n = 2.0 \times 10^{-13} N_s (G_n)^2 / s [=] \text{psi}$$

Figura 12. Ventana del cálculo de la caída de presión en la coraza.
Fuente: Elaboración propia.

Datos Termicos

Área de transferencia de calor=	774.44446	ft ²	Área de flujo en coraza=	0.3472222	ft ²
Velocidad lineal en tubos=	5.8577724	ft/s	Velocidad lineal en la coraza=	0.7345807	ft/s
Re en los tubos=	8939.492	Adimensional	Re en la coraza=	11016.415	Adimensional
Pr en los tubos=	55.36	Adimensional	U requendo=	25.96739	Btu/(h.ft ² .°F)
Nusselt=	139.11365	Adimensional	ho=	64.05397	Btu/(h.ft ² .°F)
hi=	154.12592	Btu/(h.ft ² .°F)	U Diseño=	34.153618	Btu/(h.ft ² .°F)
U Limpio=	42.225533	Btu/(h.ft ² .°F)	Sobre Diseño=	31.525028	%
Sobre Superficie=	62.80984	%	Calor (Q)=	3716999.8	Btu/h
F=	0.96647495	adimensional	MLDT=	191.24205	°F
k (conductividad del material)=	26	Btu/(h.ft.°F)	k (conductividad del material)=	26	Btu/(h.ft.°F)

Figura 13. Resultados obtenidos con el simulador.

Fuente: Elaboración propia.

Datos Hidraulicos

Caída de presión en tubos		Caída de presión en la coraza	
Por Fricción (DPF)=	9.313847 psi	Por Fricción (DPF)=	0.24853903 psi
Por Retorno (DPR)=	2.0625856 psi	Por Boquillas (DPB)=	0.012811461 psi
Por Boquillas (DPB)=	0.13146402 psi	Total (DPT)=	0.26135048 psi
Total (DPT)=	11.507896 psi		

Tubos		Coraza	
Longitud de tubos (L)=	13.953588 ft	Diámetro de la coraza=	25 in
Número de tubos (Nt)=	212 Adimensional	Material de construcción:	Acero carbono
Número de pasos (Np)=	6 Adimensional		
Diámetro externo (OD)=	1 pulgada (in)		
Diámetro interno (DI)=	0.834 pulgada (in)		
Calibre=	14 BWG		
Material de construcción:	Acero carbono		

Baffles	
Número de Baffles (NB)=	15.744305 Adimensional
% de corte=	0.4 Adimensional
B=	10.0 pulgada (in)

El intercambiador no es térmicamente adecuado:

Sobre Superficie > 40%

Sobre Diseño > 10%

Posibles soluciones:

1. Manteniendo número de pasos, diámetro de coraza y número de tubos:
 - Disminuir Longitud de tubos.
2. Manteniendo la Longitud de los tubos:
 - Disminuir el diámetro interno de la coraza.

Redimensionamiento Terminar

Figura 14. Resultados obtenidos del redimensionamiento con el simulador.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de investigación

Análisis con técnicas de clustering de los hábitos alimenticios de estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, México

Analysis using clustering techniques of the eating habits of students at the Technological University of the Mixteca, Oaxaca, Mexico

Antonio Orantes-Molina^{1*}, Rosebet Miranda-Luna¹

¹Universidad Tecnológica de la Mixteca

Autor de correspondencia:

*tonito@mixteco.utm.mx

Recibido: 20-01-2025 Aceptado: 29-04-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El algoritmo de clustering no supervisado denominado K-Prototype fue aplicado a una base de datos mixta acerca de los hábitos alimenticios de los estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), con el fin de determinar si la percepción de los alumnos acerca de su alimentación es acertada o si por el contrario su percepción es errónea. Se aplicó una encuesta a 121 estudiantes que incluye variables cuantitativas y categóricas. Las variables que contribuyeron al análisis son: cantidad de comidas al día, género, tipos de comida chatarra consumidas, consumo de alcohol u otras drogas, percepción de salud, edad, cantidad económica percibida mensual. Se aplicó la metodología CRISP-DM, el cual es un método probado para orientar los trabajos en análisis de datos. Las fases de la metodología CRISP-DM son: comprensión del proceso, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implementación. Para la fase de modelado, se aplicó el algoritmo de clustering K-Prototype porque permite emplear datos categóricos y numéricos simultáneamente. Los resultados determinaron que las mujeres con hábitos saludables, se consideran poco saludables, mientras que la población masculina se considera saludable, no obstante, presentan hábitos poco saludables.

Palabras clave: Disimilaridad, K-Means, K-Modes, K-Prototype, Metodología CRISP-DM.

Abstract

The K-Prototype unsupervised clustering algorithm was applied to a mixed dataset examining students' eating habits at the Technological University of the Mixteca (UTM) to assess the accuracy of students' self-perceptions regarding their diets. A survey was conducted with 121 students, incorporating both quantitative and qualitative variables. Variables analyzed included number of meals per day, gender, junk food consumption, alcohol or drug use, health perception, age, and perceived monthly income. The CRISP-DM methodology, a widely recognized framework for data analysis, guided the process through the phases of process. The phases of the CRISP-DM methodology are: understanding, data understanding, data preparation, modeling, evaluation, and deployment. The K-Prototype algorithm was selected for the modeling phase due to its capacity to handle both categorical and numerical data simultaneously. Findings indicate that women with healthy habits are consider themselves as unhealthy, whereas men with unhealthy habits are classified as healthy.

Keywords: Dissimilarity, K-Means, K-Modes, K-Prototype, CRISP-DM methodology.

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el número de alumnos que son realmente conscientes de lo saludable que son sus hábitos alimenticios, para ello el análisis de los datos se realiza con base a las técnicas de clasificación no supervisada denominada clustering, ya que agrupan distintos objetos según sus similitudes en un solo grupo o “clús-

ter” que describe la estructura del conjunto de datos (Ordoñez, Ordoñez, Méndez & Ordoñez, 2020). Estas técnicas son muy utilizadas en áreas donde se requiera hacer una clasificación, como lo son el área médica, biológica, clasificación de productos, la detección de anomalías, aplicaciones empresariales, entre otros (Guojun, Chaoqu & Jianhong, 2007).

Las técnicas de clustering se pueden realizar por medio de distintos algoritmos, entre ellos el K-Prototypes, el cual es una combinación de K-Means y K-Modes, siendo el algoritmo K-Means (Morissette y Chartier, 2013) uno de los más reconocidos por sus facilidades de empleo. El algoritmo K-Means puede emplear diversos tipos de métricas de distancia como son la distancia Euclidiana, Chebyshev, Manhattan, Minkowsky, Mahalanobis, Similitud de Coseno, Kullback Leibler, los cuales se utilizan para determinar el grupo o clúster al que pertenece cada dato. Cabe destacar que este algoritmo solo acepta datos numéricos para su análisis, sin embargo, los datos recopilados en el mundo real no presentan únicamente valores numéricos sino también valores categóricos por lo que los métodos de clustering numéricos no serán útiles para el análisis de este proyecto. Para analizar los datos del presente trabajo es necesario utilizar un algoritmo distinto, uno que sea capaz de trabajar con ambos tipos de datos de manera simultánea, tanto numéricos como categóricos. El método a ocupar es la unión de dos algoritmos clásicos: el K-Means (Morissette, 2013) y el K-modes (Huang, 1998) denominado K-Prototype.

La técnica de clustering K-Prototype es un algoritmo de agrupamiento que permite el análisis de datos numéricos y categóricos mediante la disimilaridad que presentan los datos y al igual que otros algoritmos, el algoritmo también se encuentra incluido en la biblioteca de funciones en los lenguajes de programación de alto nivel como Octave, Python o R-Studio. En este trabajo se hará uso de la herramienta matemática Octave que es un software de uso libre para analizar los datos obtenidos por medio de una encuesta aplicada a los estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) ubicada en la Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca, México y de esta forma obtener el número de alumnos que realmente son conscientes de sus hábitos alimenticios y el número de los que no lo son, tomando en cuenta factores como cantidad de comidas al día, tipo de comida chatarra preferida, consumo de alcohol u otras sustancias nocivas para la salud y sus ingresos económicos mensuales.

Metodología

Los datos a analizar fueron obtenidos de una encuesta realizada por la M.A.N. Martha Angélica Ruiz

González (perteneciente al Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la UTM) a 121 alumnos de la comunidad universitaria de la Universidad Tecnológica de la Mixteca como parte de un proyecto interno de investigación. En este proyecto se aplicó una encuesta de 18 preguntas de las cuales 7 variables fueron seleccionadas para el análisis: 3 cuantitativas y 4 categóricas. Estas son: los ingresos económicos, la edad, el género, comida chatarra más consumida, uso de drogas y alcohol, la percepción acerca de sus hábitos alimenticios y el número de alimentos consumidos al día.

Para la gestión de proyectos que involucran el análisis de datos se pueden utilizar varios tipos de metodologías para la minería de datos. Huber, Wiemer, Schneider e Ihlenfeldt (2019) señalan que la minería de datos es introducida para tener una visión más allá de la aplicación de algoritmos estadísticos o aprendizaje automático, con el objetivo de determinar las preguntas más relevantes mediante el tratamiento de los datos generando nueva información.

La metodología CRISP-DM (*Cross-Industry Standard Process for Data Mining*) contiene las fases de proyecto que se muestran en la Figura 1, notando que algunas fases de la metodología son bidireccionales, lo que significa que estas fases pueden recurrir a las etapas anteriores de ser necesario. En este trabajo, las dos últimas fases: evaluación e implementación, se presentan en el rubro de los resultados. A continuación, se detallan las primeras 4 fases de esta metodología (Huber et al., 2019).

Fase 1: Comprensión del proceso

Se realizó un análisis de los ámbitos en los que fue enfocada la encuesta sobre hábitos alimenticios de la comunidad universitaria. Se entrevistó a la profesora-investigadora M.A.N Martha Angélica Ruiz González sobre la finalidad de la encuesta, y a partir de ello se determinaron los parámetros del proyecto.

Fase 2: Comprensión de los datos

Se realizó un estudio detallado con los datos obtenidos, evaluando la lógica de las preguntas y respuestas, así como la relación existente entre las preguntas realizadas, seleccionando las variables que se utilizan a lo largo de la investigación. Se identificaron las variables categóricas y las variables cuantitativas, los cuales se muestran en la Tabla 1.

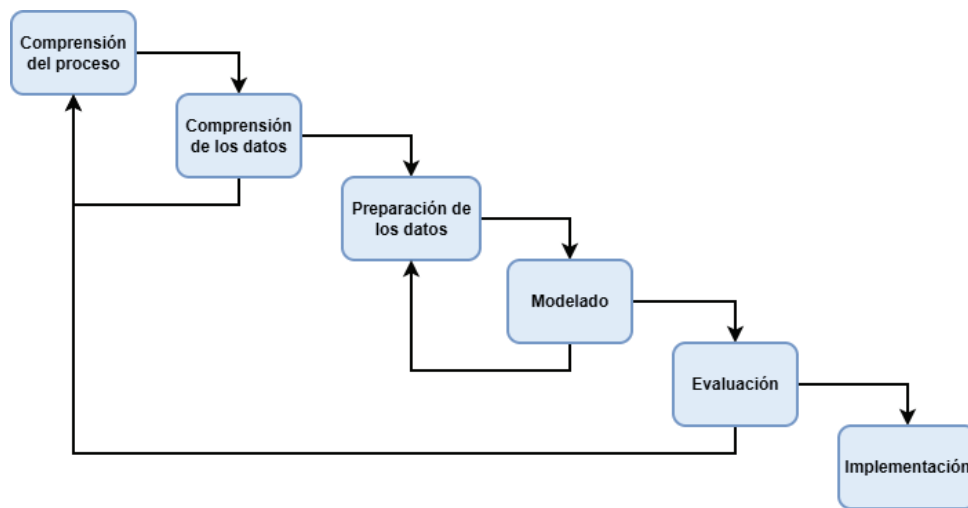


Figura 1. Metodología CRISP-DM.
Fuente: Elaboración propia.

Fase 3: Preparación de los datos

En esta fase se realizó la selección y eliminación de los datos atípicos o outliers que se presentan en la base de datos. Los datos atípicos son una parte importante para el estudio de los datos, Da Vila (2020). Estos indican que son datos anómalos en comparación a los demás. En el contexto del aprendizaje automático, pueden representar un problema significativo por las siguientes razones:

Distorsión de modelos: Los modelos de aprendizaje automático, especialmente los que se basan en distancia como el k-NN o los modelos de regresión, pueden ser muy sensibles a los outliers. Estos valores atípicos pueden sesgar el modelo, afectando la precisión y capacidad de generalización.

Ruido y errores: Los datos atípicos a menudo pueden ser ruido o errores, lo que puede llevar a que el modelo aprenda patrones irrelevantes o incorrectos. Esto puede disminuir la calidad del modelo y llevar a un sobreajuste.

Impacto en la evaluación de modelos: En tareas de clasificación, pueden afectar las métricas de evaluación, ya que pueden ser clasificados incorrectamente con mayor frecuencia.

De 121 alumnos entrevistados, se eliminó uno debido a la ausencia de información. En la Tabla 2 se presenta el total de alumnos para cada una de las variables categóricas de la base de datos. Se muestra en la primera columna las variables categóricas relevantes para nuestro estudio obtenidas de la encuesta realizada. En la segunda columna se muestran las diferentes modalidades correspondientes a cada variable categórica y en la última columna, el total de alumnos contabilizados en cada rubro.

Para mitigar la problemática de los datos atípicos, se pueden utilizar técnicas como la normalización de los datos.

La normalización de los datos es un paso importante para su procesamiento. Morante (2018) señala que para optimizar el aprendizaje de las máquinas es necesario comprimir o extender los valores de las variables de entrada con la finalidad de obtener un rango definido. También auxilia para eliminar la influencia de la dimensión y magnitud en cada una de las características además de que permite mejorar la velocidad de convergencia en este tipo de algoritmos, ya que sólo trabaja con valores comprendidos entre 0 y 1. Existen diversos métodos de normalización, cada uno con sus ventajas y desventajas, para este proyecto se utilizó la mostrada en la ecuación (1).

Tabla 1. Variables cuantitativas y categóricas de la base de datos.

Variable	Tipo de variable
Ingresos	Cuantitativa
Edad	Cuantitativa
Cantidad de comidas al día	Cuantitativa
Género	Categórica
¿Cuál es la comida chatarra que más consumes?	Categórica
¿Estás acostumbrado a las drogas y al alcohol? ¿sí es así, cuáles?	Categórica
¿Qué tan saludable te consideras?	Categórica

Fuente: Elaboración propia.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}(max - min) + min \quad (1)$$

Donde X_{norm} es el dato normalizado, X es el dato de entrada, X_{max} es el dato con mayor valor, X_{min} es el dato con menor valor, max y min son los valores máximo y mínimo del rango al cual deseamos normalizar (en este caso 1 y 0, respectivamente).

Fase 4: Modelado

Las técnicas de aprendizaje no supervisado como las técnicas de clustering tienen como objetivo encontrar patrones o agrupamientos naturales en una base de datos. Esto lo hacen a través de una métrica de distancia que les permite determinar que un dato está cerca del otro.

En esta fase se presentan 4 métricas de distancia de las más utilizadas dentro de las técnicas de clustering que son: Euclidiana, Chebyshev, Manhattan y Minkowsky.

La distancia Euclidiana es la distancia más corta entre dos puntos en cualquier dimensión p , su fórmula es la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de la diferencia entre los puntos P_1 y P_2 (Fórmula de Pitágoras).

Para los puntos $P_1(x_1, y_1)$ y $P_2(x_2, y_2)$ de dos dimensiones, la distancia Euclidiana se presenta en la Figura 2.

En dos dimensiones, la distancia Euclidiana se calcula con la ecuación (2).

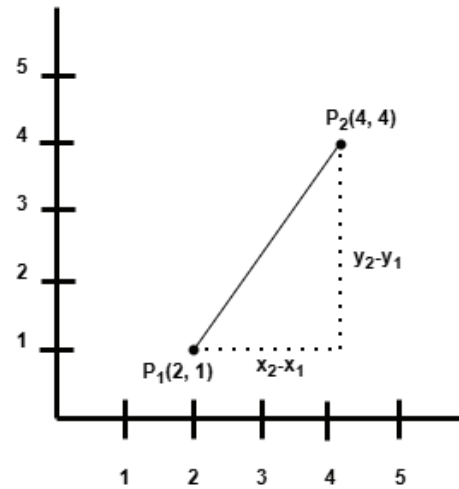


Figura 2. Distancia Euclidiana entre dos puntos.
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de p dimensiones, la ecuación (3) permite el cálculo de la distancia.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

$$D(\bar{x}, \bar{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad (3)$$

La distancia Chebyshev se calcula con la ecuación (4). Se le conoce también como la distancia del tablero de ajedrez porque es la distancia que recorrería la pieza del rey entre dos puntos del tablero y se define como la mayor de las diferencias entre sus dimensiones.

Tabla 2. Contabilización de las modalidades de los datos categóricos.

Variable Categórica	Modalidad	Cantidad
Género	1. Mujer	59
	2. Hombre	61
	3. Prefiero no decirlo	0
¿Cuál es la comida chatarra que más consumes?	1. Sabritas/Frituras	24
	2. Golosinas (paletas, chicles, chocolate, etc.)	26
	3. Galletas.	20
	4. Comida rápida (hamburguesas, hot-dog, pizza, etc.)	36
	5. Pasteles empaquetados (mantecadas, nito, bigote, panqué)	4
	6. Refrescos y bebidas embotelladas.	10
¿Estás acostumbrado al alcohol y otras drogas?	1. Sólo drogas.	2
	2. Sólo alcohol.	26
	3. Ambas.	2
	4. Ninguna.	90
¿Qué tan saludable te consideras?	1. Poco saludable.	32
	2. Saludable.	77
	3. Muy saludable.	11

Fuente: Elaboración propia.

$$D_{Chebyshev}(\bar{x}, \bar{y}) = \max_i (|x_i - y_i|) \quad (4)$$

Para los datos bidimensionales de la Figura 2, $d = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) = \max(2, 3) = 3$.

La distancia Manhattan, conocida como la distancia con ángulos rectos, por definición, contempla el camino más corto de un punto a otro considerando una curva en ángulo recto. La distancia Manhattan se calcula con la ecuación (5), la cual nos dice que la distancia entre dos puntos es la suma de las diferencias absolutas de sus coordenadas.

$$D(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{i=1}^p |x_i - y_i| \quad (5)$$

Para los puntos en dimensión 2 de la Figura 2, $d = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| = |2 - 4| + |1 - 4| = 5$.

La distancia Minkowsky puede considerarse una generalización de las distancias Euclideana y Manhattan y está definida por la ecuación (6).

$$D(\bar{x}, \bar{y}) = \left(\sum_{i=1}^p |x_i - y_i|^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (6)$$

Obsérvese que para $r=1$, la expresión coincide con la distancia Manhattan y para $r=2$, coincide con la distancia Euclidiana.

En términos generales, determinar cuál es la métrica de distancia más adecuada está en función tanto del conjunto de datos como la técnica de clusterizado que se utiliza. Normalmente se realiza experimentación con diversas métricas para obtener la más adecuada.

Para obtener el modelo del proceso se utilizó el algoritmo K-Prototypes, el cual es una combinación de los algoritmos K-Means y K-Modes. De acuerdo con Morissette y Chartier (2013) el algoritmo K-Means es una agrupación inicial para algoritmos más complejos. K-Means es un algoritmo de clasificación no supervisada que agrupa objetos en “ k ” grupos basándose en sus características. Se realiza minimizando la suma de distancias entre cada objeto y el prototipo de su grupo o centroide. Es necesario definir el número de clúster (agrupaciones) desde un inicio. Para definir el número óptimo de k , se emplean diversas técnicas como el codo de Jambú, coeficiente de Silhouette, índice Davies-Bouldin o el criterio de la iner-

cia. El algoritmo puede tomar diferentes criterios de paro como son: los individuos ya no son reasignados a otro clúster, el valor de la inercia Intra-Clase es menor a un valor de tolerancia dado o el número máximo de iteraciones se cumple. Para llevar con éxito este algoritmo se tienen los siguientes pasos:

1. Definir el número de clústeres.
2. Establecer los K-Clúster en el espacio de datos.
3. Asignar datos al clúster más cercano.
4. Se actualizan los prototipos o centroides tomando el promedio de las coordenadas de los datos que pertenecen a cada clúster.
5. Se repiten los pasos 3 y 4 hasta que se cumpla algún criterio de paro.

Para Bonthu (2024) la técnica de K-Modes es un algoritmo de aprendizaje automático no supervisado utilizado para agrupar variables categóricas. El algoritmo se puede reducir en los siguientes pasos (Cerrón, 2018):

1. Deleccionar la cantidad K de clústeres, asignando un dato al azar como clúster.
2. Calcular las diferencias y asignar cada elemento a su grupo más cercano, comparando iterativamente los puntos de datos del conglomerado con cada una de los prototipos. Los puntos de datos similares dan el valor 0, los puntos diferentes dan un valor 1.

Dados dos elementos $x_i = (c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ip})$ y $x_j = (c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jp})$ diremos que entre ellos hay una discrepancia en la k -ésima variable si $i \neq j$ la cual se representa mediante la métrica discreta de la ecuación (7).

$$\delta(c_{ik}, c_{jk}) = \begin{cases} 0 & \text{si } i = j \\ 1 & \text{si } i \neq j \end{cases} \quad (7)$$

Para todo par de elementos x_i, x_j se define la disimilitud como lo indica la ecuación (8).

$$d_{ij} = d(\bar{x}_i, \bar{y}_j) = \sum_{r=1}^p \delta(c_{ir}, c_{jr}) \quad (8)$$

3. Se actualizan los clústeres de acuerdo a la moda en cada categoría.
4. Se repetirán los pasos 2 y 3 hasta que se cumpla algún criterio de paro.

El algoritmo K-Prototype propuesto por Huang (1998) es la integración de los algoritmos K-Means y K-Modes. K-Prototype es capaz de manejar datos de tipo mixto (numéricos y categóricos) de manera simultánea, los cuales predominan en las bases de datos del mundo real. La medida de disimilaridad que utiliza se obtiene tomando en cuenta las medidas de distancia del algoritmo de K-Means y la medida de disimilaridad del K-Modes unidos mediante la variable γ la cual se encarga de evitar alguna influencia por parte de algún tipo de dato (Zhezue, 1997).

$$d(X, Y) = \sum_{j=1}^p (x_j - y_j)^2 + \gamma \sum_{j=1}^p \delta(x_j, y_j) \quad (9)$$

El primer término de la ecuación (9) representa la distancia Euclidiana al cuadrado mientras que el segundo término representa la medida de coincidencia simple de los datos categóricos. El peso γ normalmente toma el valor de 1 cuando el rango de las variables categóricas y numéricas son muy cercanas entre sí. La elección de γ depende de la distribución de atributos numéricos. En términos generales, γ se relaciona con la desviación estándar promedio σ de los atributos numéricos. En la práctica, σ puede usarse como una guía para determinar γ . Según Huang (1998) un valor γ adecuado se encuentra entre $1/3\sigma$ y $2/3\sigma$ para los conjuntos de datos.

Los pasos para desarrollar el algoritmo son los siguientes:

Requiere: k (el número de clústeres)

1. Seleccionar k prototipos iniciales desde la base de datos, uno para cada clúster.
2. Asignar cada objeto de la base de datos a un clúster cuyo prototipo es el más cercano a él de acuerdo a la medida de disimilaridad.
3. Actualizar el prototipo del clúster después de cada asignación.

Repetir:

4. Volver a probar la similaridad entre cada objeto y el prototipo: si un objeto es encontrado que es más perteneciente a otro prototipo en lugar del actual, reasignar el objeto al clúster más cercano.
5. Actualizar el prototipo de ambos clústeres.
6. El algoritmo termina hasta que no haya más cambios en los clústeres.

Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación del algoritmo de clusterización K-Prototype a la base de datos mixta de la Tabla 1. Se realizó una comparación de los resultados de datos sin normalizar y con los datos normalizados para observar las diferencias e influencias entre ellas.

Aplicando el algoritmo K-Prototype a los datos sin normalizar, se obtuvieron los prototipos descritos en la Tabla 3. La distribución de la población en cada clúster se muestra en la Figura 3.

De la distribución de la población total se tienen 3 clústeres de interés, de los cuales se puede deducir lo siguiente:

1. En el clúster 2, se concentra el 35.5% de la población la cual posee un ingreso medio de \$1861 y cuya edad promedio se sitúa en los 21 años. En este clúster se concentra la población femenina cuya percepción de salud considera saludable sin consumo de drogas o alcohol cumpliendo con 3 comidas al día, sin embargo, el consumo de la comida chatarra se centra más en la comida rápida.
2. El clúster 6 concentra el 18.7% de la población de 21 años de media, femenina, sin consumo de drogas o alcohol y con una percepción de salud alimenticia considerada como saludable. El único problema que presenta los miembros de este clúster es de índole económico, pues presenta la menor percepción económica lo que es un causante de la baja cantidad de comidas al día que presenta.
3. El clúster 4 presenta la mayor cantidad percibida mensual con una media de \$5500 y una edad media de 23 años. La percepción de salud alimenticia de este clúster también es considerada como saludable, sin embargo, presenta consumo de alcohol en la población masculina y una preferencia a la comida chatarra.

Los prototipos obtenidos en la aplicación del algoritmo para los datos normalizados se presentan en la Tabla 4, dando una distribución de la población como se muestra en la Figura 4.

En comparación al análisis con los datos sin normalizar, existe una distribución un tanto más homogénea de los datos en todos los clústeres. Normalizando los datos, podemos determinar lo siguiente:

Tabla 3. Prototipos finales de la base de datos sin normalizar (Ver Tabla 2 para identificar la modalidad).

Número de clúster	Cantidad de comidas al día	Género	Consumo de comida chatarra	Consumo de alcohol o drogas	Percepción de salud	Edad promedio	Cantidad percibida mensual (MXN)
1	3	2	2	4	2	23.64	4000
2	3	1	4	4	2	21.34	1861.6
3	2	1	1	4	2	21.31	3062.5
4	3	2	4	2	2	23.5	5500
5	3	1	4	4	2	22.4	2446.7
6	2	1	2	4	2	21.1	860

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Prototipos finales de la base de datos normalizados.

Número de clúster	Cantidad de comidas al día	Género	Consumo de comida chatarra	Consumo de alcohol o drogas	Percepción de salud	Edad promedio	Cantidad percibida mensual (MXN)
1	2	2	4	4	2	0.509	0.27054
2	3	2	4	2	2	0.611	0.41228
3	3	1	3	4	1	0.363	0.2386
4	3	2	4	4	2	0.5	0.66374
5	2	1	2	4	2	0.378	0.33474
6	3	1	1	4	2	0.167	0.25185

Fuente: Elaboración propia.

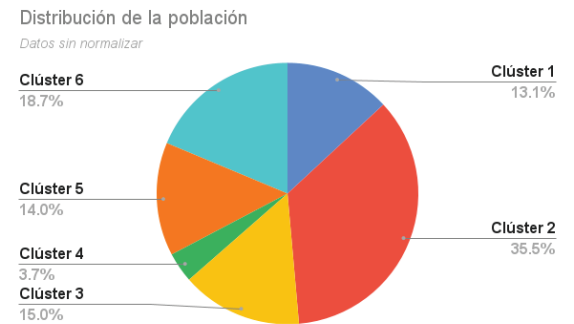


Figura 3. Distribución de la población por clúster de los datos sin normalizar. Fuente: Elaboración propia.

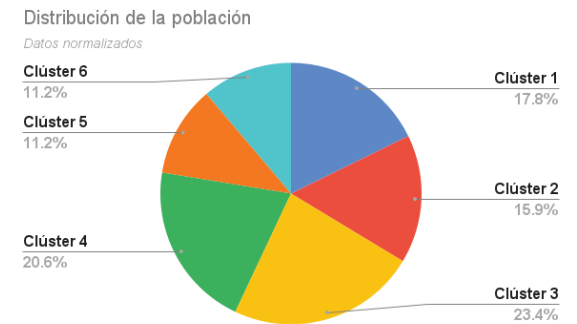


Figura 4. Distribución de la población por clúster de los datos normalizados. Fuente: Elaboración propia.

1. El clúster 3 presenta el porcentaje de población más grande con una media de edad de 21 años y género femenino. Presentan ingresos medios de \$1660 y una cantidad de alimentos al día de 3 veces y cuyo consumo de comida chatarra se centra en galletas, aunque su percepción de salud alimenticia se encuentra como poco saludable.
2. El clúster 4 posee la percepción económica más alta con una media de \$4083 con una población masculina de 22 años en promedio. Este clúster considera su salud alimenticia como saludable presentando un consumo de comida chatarra centrada en la comida rápida y con 3 alimentos al día.

3. En el clúster 2 se centra la población masculina de 23 años con una percepción mensual media de \$2650. Esta población considera su salud alimenticia como saludable, pero presenta un consumo de alcohol, así como una preferencia a la comida chatarra.

Como puede observarse, existe una diferencia marcada entre los clústeres formados de los datos normalizados con respecto a los datos no normalizados, pues existe una alta influencia en los datos sin normalizar del rango de valores de las variables.

Conclusiones

El análisis de datos por medio de algoritmos de clusterización permite observar resultados agrupados por características similares, en este caso de aplicación, permite comparar las respuestas de los alumnos con respecto a su definición de vida saludable y lo que reflejan sus hábitos alimenticios.

En los resultados se observó que la gran mayoría de clústeres presentan una negación en el consumo de alcohol, de igual forma existe una discrepancia entre la percepción de su salud y sus hábitos alimenticios, debido a que la mayoría de los encuestados consideran que su alimentación es saludable, sin embargo, tienen hábitos como comer 2 veces al día, el consumo de alcohol y comida rápida, demostrando con ello, que existe una falsa percepción en cuanto a la alimentación saludable.

Al generar agrupaciones los factores como la edad, el género e ingresos económicos, se pueden analizar como un conjunto, sin necesidad de realizar gráficas independientes, los datos categóricos no necesitan ser evaluados independientemente, por el contrario, se consideran características de los grupos permitiendo caracterizarlos ya que, por ejemplo, un grupo de hombres de 22 años puede dividirse de acuerdo a la cantidad de veces que comen al día y su consumo de alcohol, por lo que la aplicación del algoritmo K-Prototype permite unificar de manera exitosa el análisis de datos categóricos y numéricos.

Respecto a la comparación realizada entre datos normalizados y no normalizados, se observaron cambios en cuanto a los prototipos, pues existe una desviación debido a la magnitud de los datos y la forma de tratar dichos datos. Al realizar una comparación de los prototipos uno a uno, se observó mayor uniformidad en la repartición de los clústeres utilizando los datos normalizados, contrario a los datos sin normalizar que presentan una distribución menos homogénea y menos significativa de las características en cada grupo dando como resultado una mala interpretación de la clasificación.

Referencias

- Bonthu, H. (2024). *KModes Clustering Algorithm for Categorical data*. Analytics Vidhya. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/kmodes-clustering-algorithm-for-categorical-data/>.
- Cerón, F. (2018). *Análisis de algoritmos de clustering para datos categóricos* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/39125?show=full>.
- Da Vila, S. (2020). *Detección de outliers en grandes bases de datos*. [Tesis de maestría, Universidad de Santiago de Compostela]. Recuperado de: http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/Proyectos-FinMaster/Proyecto_1780.pdf.
- Guojun, G., Chaoqun, M. & Jianhong, W. (2007). *Data clustering Theory, Algorithms, and Applications*. Philadelphia, Pennsylvania. Siam.
- Huang, Z. (1998). Extensions to the K-Means Algorithm for Clustering Large Data Sets with Categorical Values. *Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 2, 283–304.
- Huang, Z. (1997). *Clustering large data sets with mixed numeric and Categorical values*. CSIRO Mathematical and Information Sciences GPO Box 664 Canberra ACT 2601, AUSTRALIA.
- Huber, S., Wiemer, H., Schneider, D., & Ihlenfeldt, S. (2019). DMME: Data mining methodology for engineering applications a holistic extension to the CRISP-DM model. *ELSEVIER*. Vol. 79, 403-408. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119302239>
- Morante, S. (2018). *Precauciones a la hora de normalizar datos en Data Science - Think Big Empresas*. Think Big. <https://empresas.blogthinkbig.com/precauciones-la-hora-de-normalizar/>
- Morissette, L., y Chartier, S. (2013). The k-means clustering technique: General considerations and implementation in Mathematica. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, vol. 9(1), 15-24.
- Ordoñez, C., Ordoñez, J., Méndez C. & Ordoñez, H. (2020). Evaluación e implementación de técnicas de clustering para un sistema de recuperación de documentos judiciales. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*. E33, 141–151.

Atrapando la luz: micro-dunas plateadas sobre vidrio por implantación iónica

Catching the light: silver micro-dunes on glass by ion implantation

Cristian Felipe Cruz-García^{1*}

¹Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

*Autor de correspondencia:
cris-106-fis@ciencias.unam.mx

Recibido: 16-06-2025 Aceptado: 29-04-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La formación de patrones superficiales es un fenómeno bastante habitual en el mundo natural. ¿Es posible imitar a la naturaleza y formar, de manera artificial, nanopatrones sobre la superficie de los materiales? Entre las diferentes técnicas para lograr esto se encuentra la implantación iónica, que consiste básicamente en la irradiación iónica de la superficie de los materiales. En este artículo presentamos el estudio de la formación de patrones sobre una superficie de vidrio de sílice implantada con iones de plata de 1.2 MeV. Se observa, mediante microscopía electrónica y de fuerza atómica, la formación de un patrón ondulado (parecido a las dunas del desierto) sobre la superficie del vidrio implantado. Sin embargo, un análisis más cuidadoso mediante microscopía electrónica, junto con estudios de absorción óptica, revela la síntesis de nanopartículas con propiedades plasmónicas sobre las crestas de las ondas. Por lo tanto, la implantación iónica puede utilizarse para la formación de nanoestructuras periódicas superficiales plasmónicas con aplicaciones en fotónica.

Palabras clave: Implantación iónica, patrones superficiales, resonancia de plasmón superficial localizada, nanopartículas de plata, rejilla de nanopartículas.

Abstract

The formation of surface patterns is a common phenomenon in the natural world. Is it possible to imitate nature and artificially form nanopatterns on the surfaces of materials? Among the different techniques to achieve this is ion implantation, which basically consists of ionic irradiation of the surface of materials. In this article, we present the study of pattern formation on the surface of silica glass implanted with 1.2 MeV silver ions. Using electronic and atomic force microscopy, the formation of a ripple pattern (like to desert dunes) is observed on the surface of the implanted glass. However, a more careful analysis using electron microscopy, together with optical absorption studies, reveals the synthesis of nanoparticles with plasmonic properties along the ripple crests. Therefore, ion implantation can be used to form periodic plasmonic surface nanostructures with applications in photonics.

Keywords: Ion implantation, surface patterns, localized surface plasmon resonance, silver nanoparticles, nanoparticle grating.

Introducción

La formación de patrones superficiales es un fenómeno bastante habitual en el mundo natural. Piénsese, por ejemplo, en la formación de dunas sobre el desierto, las manchas en la piel de ciertos animales, como gatos o cebras, o la formación de colmenas con estructura hexagonal por parte de las abejas. ¿Es posible imitar a la naturaleza y formar, de manera artificial, nanopatrones sobre la superficie de los materiales? La respuesta corta es sí. Entre

las diferentes técnicas para lograr esto, se encuentra la implantación iónica, la cual consiste básicamente en la irradiación con iones energéticos sobre la superficie de los materiales. En comparación con otras técnicas afines, de las cuales podemos mencionar aquellas que se basan en el uso de láseres potentes o máscaras litográficas, la implantación iónica tiene las siguientes ventajas. Primero, su gran versatilidad. En efecto, esta técnica puede formar nanopatrones de

ondas, rayas, puntos u hoyos sobre la superficie de una amplia variedad de materiales, como metales, aislantes, semiconductores y polímeros. Segundo, la implantación iónica es una técnica con un alto grado de control y reproducibilidad. Tercero, esta técnica puede formar patrones sobre áreas superficiales relativamente largas (unos cuantos cm^2). Y, cuarto, las muestras del material a implantar no necesitan una preparación especial anterior, lo cual ahorra tiempo y recursos valiosos. Gracias a estas ventajas, actualmente, la formación de patrones superficiales por implantación iónica ha encontrado aplicaciones en células solares, nanofotónica y sensores SERS (Cuerno et al., 2020), ya que la presencia de un patrón superficial puede mejorar la respuesta de ciertas propiedades optoelectrónicas de la superficie, como veremos más adelante.

Desde el punto de vista de la investigación básica, la mayoría de los estudios en este campo se han enfocado en la formación de patrones superficiales usando iones de baja-media energía (0.1-200 KeV) (Chan et al., 2007). Esto ha proporcionado una comprensión casi completa de los procesos físicos fundamentales que rigen la formación de los patrones superficiales, y se entiende bien la dependencia de las características de estos (como su altura o amplitud, su longitud de onda, la rugosidad superficial) con los parámetros de la implantación iónica (tipo y energía de iones, flujo de iones, dosis de iones, etc.). En cambio, los estudios en este campo con iones de alta energía (200 keV - varios MeV) son relativamente escasos (C. F. Cruz-García et al., 2023). Por lo tanto, la formación de patrones superficiales y su evolución se entienden poco para este caso.

Este breve ensayo tiene como objetivo explorar el terreno poco conocido de la formación de patrones superficiales por implantación con iones de alta energía. Para esto, presentamos los resultados de un estudio donde una superficie de vidrio de sílice (SiO_2 en estado amorfo) se implantó con un haz de iones de plata de 1.2 MeV (1 MeV es igual a un millón de eV). Sin embargo, antes se habla con más detalle del proceso de implantación iónica en general. Veremos, además, como los resultados obtenidos podrían tener alguna aplicación en el campo de la nanofotónica plasmónica.

Haciendo ondas superficiales: el proceso de implantación iónica

La formación de nanopatrones superficiales por implantación iónica consta de los siguientes pasos. El primer paso consiste en el proceso mismo de la implantación iónica, el cual consiste (como mencionamos arriba) en la irradiación con iones energéticos de la superficie sobre la cual queremos formar el nanopatrón. Los iones (que recordemos son átomos ionizados, es decir, cargados eléctricamente) son producidos habitualmente por máquinas relativamente complejas llamadas aceleradores. Estos utilizan fuertes campos eléctricos en su interior para acelerar los iones producidos en una fuente externa a ellos. Cuando los iones alcanzan la energía deseada, los aceleradores utilizan los campos magnéticos provenientes de potentes imanes para dirigir estos hacia la superficie a irradiar. La muestra que está siendo irradiada se encuentra dentro de una cámara de implantación que está a una presión muy baja, lo cual significa que hay pocos o nulos contaminantes. Los parámetros de la implantación, como son el tipo y energía de los iones, el flujo iónico (número de iones por unidad de área y tiempo), dosis iónica (número total de iones que llegan a la superficie) y el ángulo de incidencia de los iones, son controlados de manera precisa desde el panel de control del acelerador.

Después de la implantación iónica, el siguiente paso consiste en verificar la formación del patrón superficial. En otras palabras, tenemos que *ver*, en efecto, la formación del patrón sobre la superficie implantada. Para lograr esto no basta con usar microscopios ópticos comunes, sino que es necesario usar microscopios mucho más potentes, con resoluciones de hasta el orden de pocos nanómetros. Los microscopios más usados para este fin son el microscopio de fuerza atómica y el microscopio electrónico. En el primero de estos, la información de la forma superficial se obtiene de las interacciones entre los átomos de la superficie y los átomos de una sonda (en forma de punta) que barre la superficie a analizar. Estas interacciones, que resultan en fuerzas sonda-superficie, se transforman en señales eléctricas que, después de ser analizadas por una computadora, recrean una imagen tridimensional de la superficie analizada. Una analogía con el funcionamiento del microscopio de fuerza atómica es el caminar de una persona que usa

bastón. En este caso, el bastón es la sonda que barre la superficie y el cerebro de la persona es la computadora que recrea como es el suelo por dónde camina. Respecto al microscopio electrónico, este utiliza un haz de electrones, en vez de un haz de luz (fotones), para observar la superficie de los materiales. Debido a que la longitud de onda de los electrones es mucho menor que la de la luz visible, el microscopio electrónico permite alcanzar ampliaciones mayores que el óptico. Finalmente, las imágenes de la superficie obtenidas mediante microscopía de fuerza atómica o microscopía electrónica pueden ser analizadas por un software adecuado para obtener información importante de los nanopatrones superficiales, como su altura desde el sustrato plano, la longitud de onda de estos o la rugosidad superficial.

Nano-ondas de plata sobre la superficie de vidrio

Ya que hemos hablado del proceso de implantación para la formación de nanopatrones superficiales de manera general, vamos ahora a mostrar los resultados del estudio mencionado arriba donde una superficie de vidrio de sílice fue implantada con iones de plata. Los parámetros de la implantación iónica fueron los siguientes. La energía de los iones de plata fue igual a 1.2 MeV, el ángulo de incidencia de los iones sobre la superficie fue 60° , el flujo iónico fue igual a 10^{16} iones sobre centímetro cuadrado por unidad de tiempo y la dosis fue 10^{17} iones sobre centímetro cuadrado. Como podrán notar, es una cantidad muy grande de iones los que llegaron por cada centímetro cuadrado de la superficie, lo cual requiere largos tiempos (hasta 10 horas) de implantación. Finalizada la implantación, la superficie implantada fue observada mediante microscopía electrónica y de fuerza atómica. Las imágenes obtenidas se muestran en la Figura 1.

Se puede observar que sobre la superficie implantada se ha formado un patrón de ondas cuyo parecido a las dunas del desierto es innegable. Sin embargo, en comparación en el caso de bajas-medias energías, donde los patrones tienen dimensiones nanométricas (Chan et al., 2007), las ondas observadas en la Figura 1 tienen dimensiones micrométricas (1 micrómetro es igual a 1000 nanómetros). En efecto, la altura o amplitud de las ondas es de alrededor de 1 micrómetro, mientras que su longitud de onda (distancia de cresta a cresta) es de alrededor de 2.5 micrómetros. Por lo tanto, las dimensiones físicas de los patrones superficiales incrementan junto con la energía de los iones implantados.

La física detrás de los patrones superficiales por implantación iónica

Cuando los iones llegan a la superficie estos chocan con los átomos del blanco como bolas de billar. En el choque, los iones transfieren parte de su energía a los átomos de los blancos pudiendo suceder dos casos. Si los átomos chocados están cerca de la superficie y reciben suficiente energía por parte de los iones para escapar de esta se dice que fueron erosionados. También es posible que los átomos chocados no escapen de la superficie, sino que se muevan a lo largo de la superficie creando así un transporte de masa superficial. Por otro lado, los iones al chocar sucesivamente con los átomos del material van agotando su energía hasta detenerse completamente a cierta distancia de la superficie. Lo cual produce, al aumentar significativamente el número de iones irradiados, una capa de materia en el interior de la muestra que obliga a la superficie a expandirse hacia arriba, es decir, a hincharse. Durante la implantación iónica, estos tres mecanismos de erosión iónica, transporte masa superficial y de implantación de iones se hacen presentes dentro de la dinámica super-

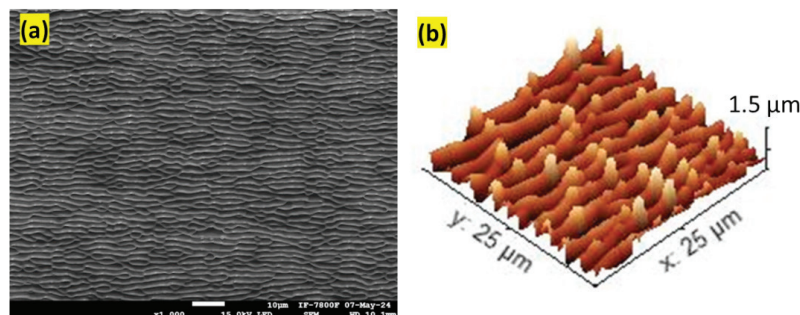


Figura 1. (a) Imagen electrónica y (b) de fuerza atómica (3-D) de la superficie de vidrio sílice implantada con iones de plata.

Fuente: Elaboración propia.

ficial, y compiten entre de si hasta alcanzar un estado de equilibrio, es decir, un estado de mínima energía. La formación de los patrones superficiales son el resultado de este estado de equilibrio, de este estado de armonía entre mecanismos disímiles, donde cada uno actúa por su propio peso.

Actualmente, los anteriores mecanismos han sido incorporados con éxito dentro de un modelo que considera a la superficie como un medio continuo. En este modelo, llamado de Bradley-Harper en honor a sus creadores, la altura de la superficie viene dada por la siguiente función escalar $h(r, t)$, donde $r=(x,y)$ es la posición en un punto de la superficie desde un adecuado sistema de referencia y t es el tiempo de la implantación. De acuerdo con el modelo de Bradley-Harper, la altura h sigue la ecuación diferencial lineal (C. F. Cruz-Garcia et al., 2025) (ver la ecuación (1)).

$$\frac{1}{J} \frac{\partial h}{\partial t} = C_{11} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + C_{22} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad (1)$$

Donde J es el flujo iónico y C_{ii} son los llamados coeficientes de curvatura ($i=x,y$) que incorporan el peso de los mecanismos de erosión iónica (ero.), transporte de masa (trans.) e implantación de iones (imp.) como se muestra en la ecuación (2).

$$C_{ii} = C_{ii}^{ero} + C_{ii}^{trans} + C_{ii}^{impl} \quad (2)$$

De este modo, la ecuación (2) integra matemáticamente el peso relativo de estos tres mecanismos en la descripción física del sistema. Dependiendo de cuál de ellos predomine durante el proceso, los coeficientes de curvatura C_{ii} de la ecuación (2) adoptarán valores positivos o negativos en las direcciones x o y .

Cuando alguno de estos coeficientes tome un valor negativo en una dirección específica, se produce una inestabilidad superficial en dicha dirección que da origen a los patrones observados, cuya evolución morfológica estará dictaminada por la ecuación (1).

Ondas plasmónicas

Las ondas superficiales observadas sobre la superficie del vidrio de sílice implantado con iones de plata son de entrada visualmente atractivas (ver Figura 1). Sin embargo, una inspección más cuidadosa nos revela un resultado inesperado. Tal como se puede ver en la Figura 2 (a), a lo largo de las crestas de las ondas, se produce la síntesis de nanopartículas de plata (puntos blancos). Lo cual significa, en términos prácticos, la formación de una rejilla de nanopartículas de plata. El tamaño de las nanopartículas está en el rango de entre 20 y 80 nm.

La relevancia de estas nanopartículas radica en su capacidad de mejorar las propiedades optoelectrónicas de la superficie. Específicamente, las nanopartículas de plata (y realmente de cualquier otro tipo de metal) cerca de la superficie pueden otorgar a esta la capacidad de absorber fuertemente la luz, a través de la llamada resonancia plasmónica superficial localizada (LSPR, por sus siglas en ingles). Cuando la luz incide sobre las nanopartículas de plata, el campo eléctrico de esta induce un movimiento oscilatorio sobre los electrones libres de aquellas. En el caso de que la frecuencia de oscilación de los electrones libres coincide con la de la luz incidente, se produce la LSPR. En una gráfica de absorbancia óptica contra la longitud de onda de la luz incidente, la LSPR se observa como un pico posicionado en la longitud de onda de resonancia. En general, tanto forma del pico LSPR (si es ancho o estrecho) como su posición (lon-

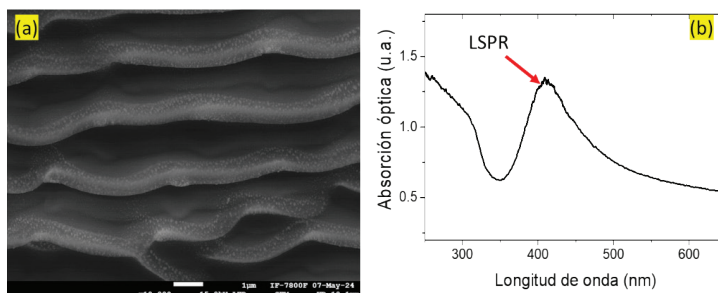


Figura 2. (a) La síntesis de nanopartículas de plata (puntos blancos) se produce a lo largo de las crestas de las ondas, formando una rejilla de nanopartículas. (b) El espectro de absorción de esta rejilla muestra LSPR alrededor de 410 nm.

Fuente: Elaboración propia.

gitud de onda de resonancia) nos dan información sobre el tamaño de las nanopartículas y su composición elemental, respectivamente. Para el caso de nanopartículas con composición de plata, el LSPR se posiciona en la longitud de onda de alrededor de 410 nm (Hao et al., 2004). La Figura 2(b) muestra el espectro de absorción óptica de la rejilla de nanopartículas mostrada en la Figura 2(a). Se puede observar una LSPR posicionada alrededor de 410 nm, lo cual verifica la composición elemental de plata de las nanopartículas. También podemos observar que el pico es relativamente ancho, lo cual está relacionado principalmente con la síntesis de nanopartículas de plata relativamente grandes (tamaño de 80 nm).

Cabe decir, por último, que el análisis de la LSPR es importante pues permite dilucidar las posibles aplicaciones ópticas de nuestra rejilla de nanopartículas. Por ejemplo, un LSPR estrecho podría ser usado en dispositivos optoelectrónicos seleccionadores de determinada longitud de onda. Mientras que un LSPR ancho podría ser utilizado en dispositivos donde se desee absorber la luz en un espectro más amplio de longitud de onda.

Conclusiones

Hemos mostrado, pues, que la implantación con iones de plata de 1.2 MeV sobre vidrio de sílice produce una rejilla superficial de nanopartículas con propiedades plasmónicas. Sin embargo, todavía quedan interrogantes abiertas. Por ejemplo, ¿cuál es la relación de la dosis de irradiación con el tamaño de las nanopartículas de plata? Creemos que si reducimos la dosis de irradiación las nanopartículas serán más pequeñas y con tamaños más uniformes. Si este es el caso, ¿cómo afectará esto a la LSPR de la rejilla de nanopartículas?, ¿el pico LSPR será más estrecho? Etc. Como se puede ya entrever, todavía quedan preguntas abiertas en este campo de investigación. Y si se quiere consolidar a la implantación iónica como una técnica para formar nanopatrones superficiales plasmónicos se debe continuar con el trabajo de investigación básica.

Referencias

- Chan W. L. and Chason E. (2007). Making waves: Kinetic processes controlling surface evolution during low energy ion sputtering. *J. Appl. Phys.* 101 121301.
- Cruz-García C. F., García M. A., Flores-Romero E., Rickards J., de la Vega L. R., Cañetas-Ortega J., Morales-Morales J. G., and Rodríguez-Fernández L. (2025). Self-organized gold nanoparticles on SiO₂ surface nanopatterns induced by MeV ion implantation. (2025). *Superficies Y Vacío*, 38, 250101.
- Cruz-García C. F., Rickards J., García M. A., de la Vega L. R., Cañetas-Ortega J., Morales-Morales J. G., and Rodríguez-Fernández L. (2023). Surface morphology and topography evolution of soda-lime silica glass after 1.0 MeV Si ion bombardment. *Phys. Scr.* 98 105956.
- Cuerno R. and Kim J. S. (2020). A perspective on nanoscale pattern formation at surfaces by ion-beam irradiation. *J. Appl. Phys.* 128 180902.
- Encai Hao, George C. Schatz and Joseph T. Hupp (2004). Synthesis and Optical Properties of Anisotropic Metal Nanoparticles. *Journal of Fluorescence* 14 331.



Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (RI-UTM)

<http://repositorio.utm.mx/>



El **RI-UTM** es una plataforma que emplea estándares internacionales y mecanismos de acceso abierto para albergar y difundir publicaciones e información académica, científica y tecnológica generada en nuestra institución siempre y cuando haya pasado por un proceso de revisión. La visibilidad de esta producción se logra a través de la conexión con el Repositorio Nacional (RN) de CONACYT.

¿Qué se puede publicar en el RI-UTM?

Publicaciones científicas que hayan pasado por un proceso de revisión por pares y que a su vez hayan sido aceptados para su publicación.

¿Se puede difundir en el repositorio información publicada en revistas y congresos?

Sí, la mayoría de los acuerdos de derechos de autor permiten que el investigador difunda sus publicaciones (ya sea la versión publicada o el preprint/borrador) en el repositorio institucional que le corresponde.

¿Porque publicar en el RI-UTM?

- Esta incorporado al Repositorio Nacional. Actualmente se tienen 296 recursos cosechados, principalmente tesis de posgrado.
- Difundir y preservar la producción científica de manera libre, inmediata, gratuita y protegida.
- Acelerar el desarrollo del conocimiento.

¿Cómo depositar?

<http://repositorio.utm.mx/Files/informacionDepositarios.pdf>



Licencia de publicación



Colecciones del repositorio



Artículos



Revista TEMAS



Libros

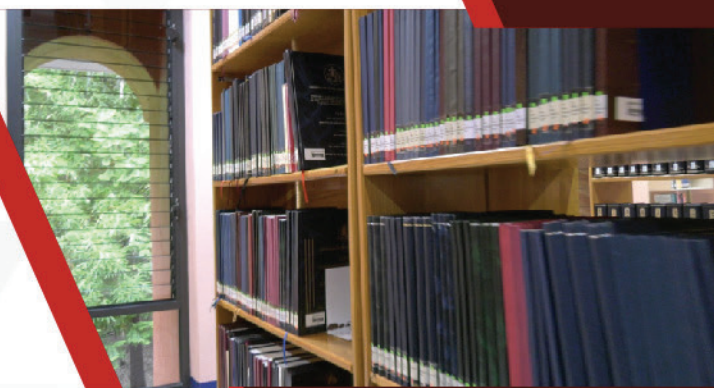


Tesis de posgrado

Contacto

repositorio@mixteco.utm.mx

Extensión: 312



Nota Científica

¿El pastoreo afecta la acumulación y asimilación del almidón en *Neltuma laevigata* (Fabales: Fabaceae)?

Does grazing affect the accumulation and assimilation of starch in *Neltuma laevigata* (Fabales: Fabaceae)?

Martha Gabriela Armijo-Nájera¹, Luis Manuel Valenzuela-Núñez^{2*}, Dalia Ivette Carrillo-Moreno¹, Francisco Gerardo Veliz-Deras¹, Edwin Amir Briceño-Contreras³

¹Postgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria.
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna

²Laboratorio de Biología y Ecología Forestal.
Facultad de Ciencias Biológicas.

Universidad Juárez del Estado de Durango

³Instituto Tecnológico Superior de Lerdo – TecNM

*Autor de correspondencia:
luisvn70@hotmail.com

Recibido: 15-02-2023 Aceptado: 29-04-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar si existe efecto del pastoreo sobre la concentración de almidón en árboles de mezquite. La investigación se realizó en dos rodales naturales en Durango, México, uno de ellos sometido a pastoreo y el otro sin presencia de ganado. Se tomaron muestras de raíz y tallo en cuatro árboles adultos (50 años de edad), en cada uno de los sitios, posteriormente se liofilizaron, se molieron hasta obtener un polvo fino y se determinó la concentración de almidón por el método de Ebell, Haising y Dickson. Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, posteriormente un ANOVA y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados mostraron que en el sitio libre de pastoreo la raíz presentó mayor concentración de almidón. En la comparación entre órganos perennes, la raíz presentó la mayor concentración de almidón en ambos sitios y la etapa fenológica de crecimiento vegetativo resultó ser la que presentó menor concentración de almidón en relación a las otras etapas fenológicas en ambos sitios. El pastoreo influye en la acumulación del almidón en las raíces de manera negativa, aumentando la concentración en los tallos.

Palabras clave: Pastoreo, *Neltuma*, almidón, fisiología, carbohidratos.

Abstract

The purpose of this research was to determine the effect of grazing on the concentration of starch in mesquite trees. The research was carried out in two natural stands, one of them subjected to grazing in Durango, Mexico. Root and stem samples were taken from four adult trees (50 years old), in each of the sites, they were subsequently freeze-dried, ground to a fine powder and the starch concentration was determined by the Ebell, Haising and Dickson method. The Shapiro-Wilks normality test was performed, followed by an ANOVA and a Tukey mean comparison test ($p \leq 0.05$). The results showed that in the grazing-free site the root had a higher concentration of starch. In the comparison between perennial organs, the root presented the highest concentration of starch in both sites and the phenological stage of vegetative growth turned out to be the one with the lowest concentration of starch in relation to the other phenological stages in both sites. Grazing influences the accumulation of starch in the roots in a negative way, increasing the concentration in the stems.

Keywords: Grazing, *Neltuma*, starch, physiology, carbohydrates.

Introducción

La eliminación del follaje por el pastoreo disminuye el área fotosintética de los árboles y afecta tanto el vigor de la raíz, las concentraciones de nutrientes, metabolitos secundarios y el contenido de carbohidratos (Eyles et al., 2013a; 2013b; Wiley et al., 2013) como el almidón (Valenzuela-Núñez et al., 2014). El

proceso de recuperación y la fisiología de los carbohidratos en árboles sometidos a defoliación por ramoneo son temas de investigación importantes en el estudio de la ecología vegetal para desarrollar mejores estrategias de manejo de los ecosistemas sometidos a pastoreo (Wiley et al., 2017). Este traba-

jo pretende determinar si los rodales de mezquite se ven afectados en la acumulación de almidón a causa del pastoreo extensivo, debido a que en las zonas semiáridas de México el mezquite constituye una fuente de forraje, principalmente para el ganado vacuno y caprino.

Desarrollo

El estudio se llevó a cabo en el ejido Emiliano Zapata, Durango, México. Se obtuvieron muestras de tallo y raíz en cuatro árboles en dos rodales naturales de mezquite (ocho árboles en total), uno de ellos (El Saladillo) sometido a pastoreo extensivo y el otro (Los Peñoles) sin presencia de pastoreo. El muestreo se llevó a cabo en tres etapas de crecimiento de *Neltuma laevigata* (marzo = floración, junio = fructificación y octubre = caída de hojas). Las muestras se congelaron en nitrógeno líquido y se liofilizaron. Posteriormente se molieron y se pesaron 10 mg de materia seca en microtubos. La concentración de almidón fue determinada según la metodología de Van Handel (1968) por espectrofotometría a 625 nm utilizando almidón de arroz como estándar. El análisis estadístico consistió en una prueba de comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico IBM-SSPS 20.0 (2018).

Discusión y análisis de resultados

Los resultados obtenidos en concentración de almidón en la raíz y tallo mostraron diferencias significativas en las tres etapas de desarrollo en el caso del sitio con pastoreo presente, sin embargo en el sitio sin pastoreo no presentó diferencia en las etapas de floración y caída de hojas para ambos órganos, presentando diferencias con respecto a la etapa de floración, siendo la etapa de caída de hojas (octubre) en la que se presentaron las mayores concentraciones de acuerdo a lo reportado por Valenzuela-Núñez et al. (2011), Janeček et al. (2015), Briceño-Contreras et al. (2021) (ver las Figuras 1 y 2).

La raíz fue la parte del árbol que tuvo la concentración mayor de almidón de acuerdo con los resultados de Valenzuela-Núñez et al., (2011) y Briceño-Contreras et al. (2021) en ambos sitios. En la etapa de mayor crecimiento vegetativo (junio = floración) en los dos sitios se presentó la menor concentración de almidón en raíz y tallo, esto coincide con lo reportado por Janeček & Klimešová (2014) y Briceño-Contreras et al., (2021).

En el caso del tallo, el sitio sometido a pastoreo presentó concentraciones de almidón mayores en comparación con el sitio sin pastoreo, presentándose un comportamiento opuesto en la raíz (Tabla 1).

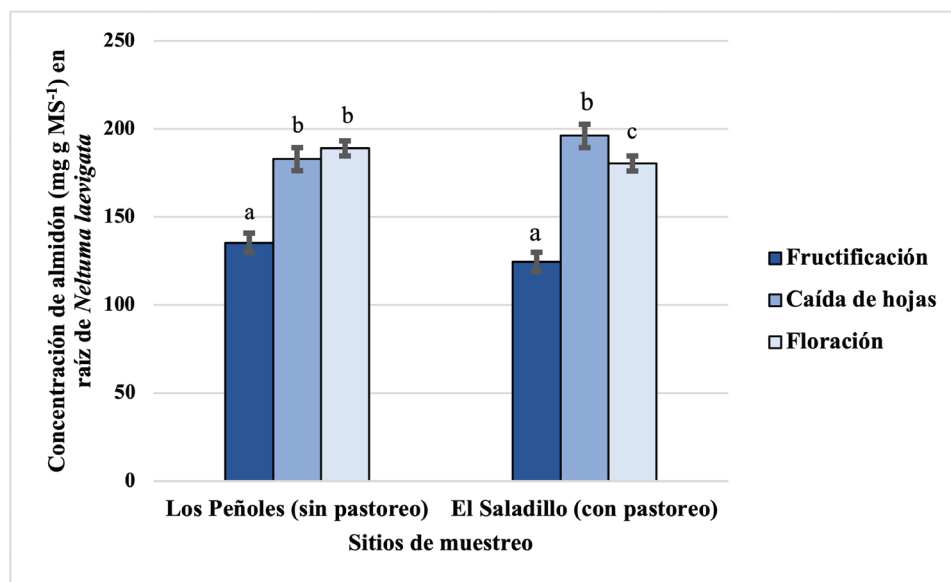


Figura 1. Concentración de almidón en raíz de *Neltuma laevigata* en dos sitios en Durango, México, uno en condiciones de pastoreo (El Saladillo) y otro libre de pastoreo (Los Peñoles) en tres meses de estudio. a,b,c. Literales diferentes indican diferencia significativa entre meses por órgano en cada sitio (Tukey $p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados concuerdan con lo observado por Ward (2016), quien concluyó que herbivoría resultó disminuyó la concentración de carbohidratos en la raíz, mientras que hubo un aumento en el tallo. En el sitio libre de pastoreo se observó una acumulación mayor en el tallo y la raíz en octubre al momento de la caída de las hojas, lo que coincide con lo observado por Valenzuela-Núñez et al. (2011) y Baptist et al. (2013), sin embargo, se observó una disminución en la concentración de almidón entre la etapa de caída de hojas y la floración en el sitio con pastoreo presente (Figuras 1 y 2), lo que coincide con los resultados

obtenidos por Kirschbaum (2021), quienes concluyeron que la particularidad de sobrevivencia de los árboles en sitios con pastoreo presente no se basa únicamente en la producción de follaje nuevo, sino también en la removilización de reservas de carbohidratos, principalmente almidón para la formación de yemas vegetativas y florales en primavera.

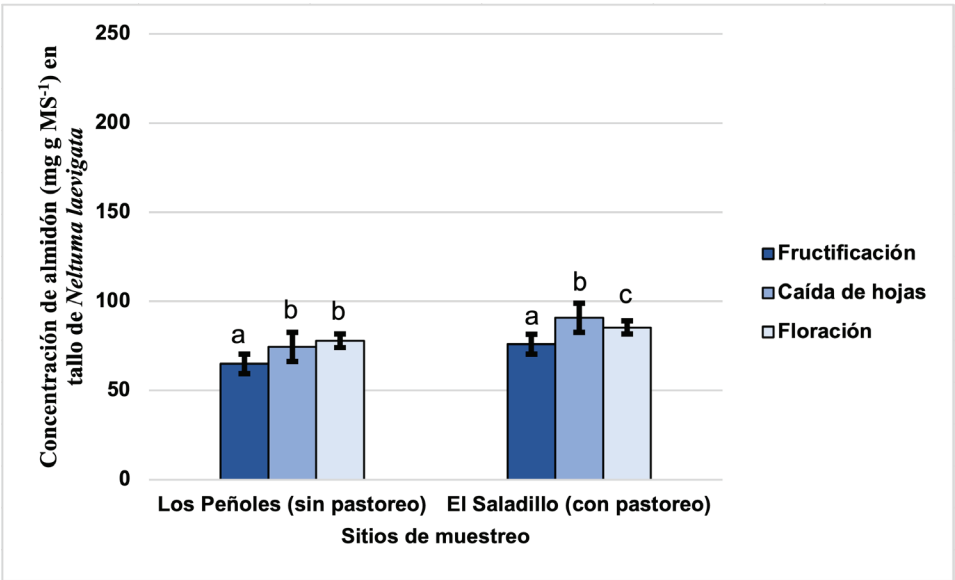


Figura 2. Concentración de almidón en tallo de *Neltuma laevigata* en dos sitios en Durango, México, uno en condiciones de pastoreo (El Saladillo) y otro libre de pastoreo (Los Peñoles) en tres meses de estudio. a,b,c. Literales diferentes indican diferencia significativa entre meses por órgano en cada sitio (Tukey $p \leq 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Concentración de almidón en raíz y tallo de *Neltuma laevigata* en dos sitios en Durango, México, uno en condiciones de pastoreo (El Saladillo) y otro libre de pastoreo (Los Peñoles) en raíz y tallo.

Etapa fenológica	Sin pastoreo	Con pastoreo
Raíz		
Floración	188.98 ± 4.68 ^{a,A}	180.42 ± 6.49 ^{b,A}
Fructificación	135.32 ± 4.03 ^{a,A}	124.49 ± 5.71 ^{b,A}
Caída de hojas	182.93 ± 3.69 ^{a,A}	196.11 ± 4.78 ^{b,A}
Tallo		
Floración	77.87 ± 5.04 ^{a,B}	85.37 ± 6.67 ^{b,B}
Fructificación	64.95 ± 4.27 ^{a,B}	75.95 ± 6.75 ^{b,B}
Caída de hojas	74.39 ± 5.76 ^{a,B}	90.76 ± 5.56 ^{b,B}

a,b Literales minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre meses por órgano.
A, B Literales mayúsculas diferentes indican diferencia significativa entre meses por sitio ($p \leq 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El pastoreo influye de manera negativa en la concentración de almidón en las raíces de los árboles de mezquite, debido principalmente a los efectos del ramoneo del ganado, afectando con ello el vigor de la raíz y a su vez, de los árboles. La raíz resultó ser el órgano con mayor acumulación de almidón en ambos sitios. La etapa de mayor desarrollo vegetativo es donde se tiene la menor concentración de almidón. Es importante tomar en cuenta el balance de carbohidratos en cada etapa fenológica con el fin de establecer programas de pastoreo con mayor control en los bosques naturales de mezquite.

Referencias

- Briceño-Contreras, E. A., Moreno-Reséndez, A., Valenzuela-Núñez, L. M., García De la Peña, C., Rodríguez-Martínez, R. & Esparza Rivera, J. R. (2021). Starch balance in perennial organs of *Carya illinoensis* Koch in a production cycle. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43(5): e017. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021017>
- Eyles, A., Barry, K. M., Quentin, A. G. & Pinkard, E. A. (2013a) Impact of defoliation in temperate eucalypt plantations: physiological perspectives and management implications. *Forest Ecol. Manag.* 304:49–64. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.033>
- Eyles, A., Pinkard, E. A., Davies, N. W., Corkrey, R., Churchill, K., O'Grady, A. P., Sands, P. & Mohammed, C. (2013b) Whole-plant versus leaf-level regulation of photosynthetic responses after partial defoliation in *Eucalyptus globulus* saplings. *J. Exp. Bot.* 64:1625–1636. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert017>
- Janeček, Š. & Klimešová, J. (2014). Carbohydrate storage in meadow plants and its depletion after disturbance: do roots and stem-derived organs differ in their roles?. *Oecologia*, 175, 51–61. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-2900-3>
- Janeček, Š., Bartušková, A., Bartoš, M., Altman, J., De Bello, F., Doležal, J., Latzel, V., Lanta, V., Lepš, J. & Klimešová, J. (2015). Effects of disturbance regime on carbohydrate reserves in meadow plants. *AoB Plants*, 7(2015): plv123, <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv123>
- Kirschbaum, A., Hoch, G., Bossdorf, O., & Scheepens, J. F. (2021). Genetic variation in non-structural carbohydrates in *Plantago lanceolata* is related to mowing intensity but not to regrowth ability. <https://doi.org/10.32942/osf.io/2q9aj>
- Valenzuela-Núñez, L. M., Gérant, D., Maillard, P., Bréda, N., González-Cervantes, G. & Sánchez-Cohen, I. (2011). Evidence for a 26kDA vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. *Interciencia*, 36(2):142-147. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33917765009>
- Valenzuela-Núñez, L. M., González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., & Maillard, P. (2014). Balance de carbohidratos en diferentes compartimentos vegetales de encino (*Quercus petraea*) y haya (*Fagus sylvatica*), sometidos a defoliación y sombra. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 13(1),33-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545054006>
- Ward, D. (2016). Clipping frequency but not nutrients affect the architecture and non-structural carbohydrates of a browsing lawn. *Plant. Ecol.* 217: 21–29. <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0555-8>
- Wiley, E., Huepenbecker, S., Casper, B. B., Helliker, B. R. (2013) The effects of defoliation on carbon allocation: can carbon limitation reduce growth in favour of storage? *Tree Physiol.* 33:1216–1228. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt093>
- Wiley, E., Casper, B. B., Helliker, B. R., Bonser, S. (2017) Recovery following defoliation involves shifts in allocation that favour storage and reproduction over radial growth in black oak. *J. Ecol.* 105:412–424. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12672>

Fronteras de la ciencia

Ciencia

Ciencia	53
Salud	54
Biodiversidad	55
Historia	55
Tecnología	56

Una sustitución atómica logra un 52% más de energía: la batería de sodio que podría desafiar al litio y durar 10,000 ciclos

Un equipo de científicos ha confirmado que una simple sustitución atómica puede aumentar en un 52 % la densidad energética de una batería de sodio, acercándola al rendimiento práctico de algunos de los mejores cátodos fosfatados basados en litio. El avance, publicado en *Nature Energy*, logra además una durabilidad extraordinaria superior a los 10,000 ciclos de carga y descarga.

La investigación aborda uno de los principales obstáculos que han limitado durante años el desarrollo de

las baterías de sodio: la existencia de iones atrapados dentro de la estructura del material que, aunque están presentes, no participan realmente en el almacenamiento de energía. Resolver ese problema equivale a desbloquear una reserva oculta de capacidad.

Esos iones “inactivos” representan energía potencial desperdiciada. Aunque forman parte de la estructura química del material, no participan en los procesos electroquímicos que permiten almacenar electricidad.

Los investigadores de la Universidad de Zhejiang, la Universidad Sun Yat-sen y otros centros decidieron examinar en detalle un compuesto conocido como $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$, un cátodo de fosfato basado en hierro que

destaca por su estabilidad y seguridad. Su objetivo era entender por qué parte del sodio permanecía inaccesible durante la carga y descarga.

Los científicos descubrieron que la coordinación atómica condicionaba directamente la capacidad de movimiento de estos iones. En otras palabras, el problema no era la cantidad de sodio, sino la arquitectura microscópica que lo encerraba.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/ciencia/bateria-sodio-52-por-ciento-mas-energia-10000-ciclos-alternativa-litio.html>

Descubren un metal cuántico con electrones que se derriten a 298 °C y podrían cambiar los chips

Un equipo de científicos ha confirmado que los “cristales” de electrones pueden deformarse y derretirse dentro de un metal sólido a unos 298 °C, sin que el material se funda por completo. El hallazgo, publicado en *Matter*, muestra que las llamadas ondas de densidad de carga no son estructuras rígidas, sino redes cuánticas capaces de acumular defectos, cambiar su orden interno y desaparecer gradualmente.

La clave reside en que los electrones no siempre se comportan como

una nube uniforme. En ciertos metales se agrupan en patrones periódicos, casi como una ciudad microscópica de cargas eléctricas. Cuando esa ciudad se calienta, sus avenidas se tuercen, sus distancias se vuelven irregulares y el orden empieza a resquebrajarse.

El resultado apunta a una idea poderosa: una “metalurgia cuántica”. Igual que los metalúrgicos manipulan defectos en los metales para hacerlos más duros, flexibles o resistentes, los ingenieros podrían algún día controlar defectos electrónicos para diseñar superconductores, memorias ultrarrápidas o materiales que imiten la señalización eléctrica del cerebro.

Al final, este hallazgo deja una imagen poderosa: dentro de un metal aparentemente inmóvil, los electrones pueden construir, doblar y derribar sus propias catedrales invisibles. La próxima revolución de los chips quizá no empiece con un nuevo transistor, sino con la capacidad de esculpir el desorden.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/ciencia/descubren-un-metal-cuantico-con-electrones-que-se-derriten-a-298-oc-y-podrian-cambiar-los-chips.html>

Un nuevo gel inteligente libera insulina automáticamente y podría evitar las inyecciones a los diabéticos

A lo largo de más de un siglo, la insulina transformó la diabetes de una enfermedad mortal en una condición controlable. Sin embargo, millones de personas continúan dependiendo de pinchazos diarios, cálculos permanentes y vigilancia metabólica constante para mantener estable su glucosa. El verdadero problema nunca fue únicamente disponer de insulina. La dificultad siempre consistió en administrarla en el instante adecuado y en la cantidad exacta.

Ahora, un equipo científico de la Universidad de Ginebra acaba de acercarse a una idea que durante bastante tiempo pareció casi imposible fuera del cuerpo humano. Los investigadores desarrollan un hidrogel capaz de detectar

glucosa y liberar insulina por sí solo, imitando parte del comportamiento dinámico de un páncreas sano sin necesidad de bombas electrónicas ni inyecciones continuas. El avance, descrito en *Trends in Biotechnology*, plantea un cambio profundo en la forma de entender los tratamientos para la diabetes: materiales capaces de reaccionar químicamente al estado metabólico del paciente en tiempo real.

El sistema desarrollado por los científicos pertenece a una categoría conocida como hidrogeles inteligentes. Se trata de materiales blandos, ricos en agua y capaces de modificar su comportamiento dependiendo de cambios químicos del entorno. En este caso, el hidrogel incorpora mecanismos moleculares sensibles a la glucosa. Cuando los niveles de azúcar aumentan, la estructura interna del material cambia y comienza a liberar

insulina almacenada en su interior. Después, cuando la glucosa desciende, el proceso se ralentiza.

El hidrogel libera insulina únicamente cuando la glucosa supera ciertos umbrales, reduciendo así el riesgo de administrar hormona en momentos innecesarios.

La idea resulta difícil de ignorar. Durante décadas, millones de personas adaptaron su vida al ritmo de la insulina. Tecnologías como este hidrogel apuntan hacia un escenario distinto.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/salud/el-material-que-podria-acabar-con-los-pinchazos-diarios-por-diabetes.html>

La depresión postvideojuego existe, y los datos ya revelan qué tipo de jugador la sufre con mayor intensidad

Acaban de confirmar lo que muchos jugadores sentían, pero no podían nombrar: ese vacío es real. Kamil Janowicz, investigador del Center for Research on Personality Development de la SWPS University de Poznan, ha publicado junto a Piotr Klimczyk un estudio en *Current Psychology* que establece, por primera vez, que la tristeza que aparece al terminar un videojuego muy absorbente es un fenómeno psicológico medible y cualitativamente distinto de una simple decepción pasajera. Le han dado nombre: depresión postvideojuego.

Para demostrarlo, el equipo reclutó a 373 jugadores adultos en dos estudios separados, con edades medias de

veintiocho y treinta años. En el primero construyeron una escala provisional de veinte ítems que, tras la validación, quedó en diecisiete preguntas agrupadas en cuatro dimensiones. El resultado es el primer instrumento de medición específico para este fenómeno, y lo que los datos revelan cambia bastante el panorama de cómo la psicología comprende la relación entre ficción interactiva y bienestar emocional.

Los datos señalan también quiénes experimentan el fenómeno con mayor intensidad. Los jugadores de rol (RPG), el género en el que el jugador habita durante decenas o cientos de horas un mundo con personajes, historia y decisiones morales propias, son los que puntúan más alto en la escala.

La psicología del apego lleva décadas documentando que los vínculos narrativos, incluso con personajes ficticios, activan mecanismos emociona-

les equivalentes a los vínculos reales. El cerebro que termina un RPG largo ha estado procesando pérdidas, victorias y relaciones durante meses. No es extraño que lo cierre como cierra otras cosas.

Janowicz y Klimczyk han validado que el fenómeno existe y es medible, no que los videojuegos causen ningún trastorno. Los propios autores lo reconocen y piden estudios longitudinales para aclararlo.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/salud/depresion-post-videojuego.html>

Dos ballenas jorobadas de récord: Documentan por primera vez una travesía de más de 14,000 kilómetros entre Brasil y Australia

El análisis de 20,000 fotos de una plataforma científico-ciudadana ha permitido documentar el excepcional viaje de dos ballenas a lo largo de varios años: una de ellas recorrió al menos 14,200 km y la otra, 15,100. Es imposible determinar la ruta exacta que siguieron por lo que se cree que la cifra de kilómetros que recorrieron fue mucho mayor

Las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) recorren largas distancias, pero la extraordinaria travesía documentada en dos ejemplares ha dejado perplejos a los científicos.

Un estudio publicado este miércoles revela que dos ballenas nadaron

más de 14,000 kilómetros durante su viaje entre zonas de reproducción de Brasil y Australia, estableciendo un récord de distancia recorrida confirmada por avistamientos de estos animales.

“El récord anterior era de aproximadamente 13,000 kilómetros, según un estudio publicado en 2024. En ambos de nuestros casos, hemos superado esa distancia”, detalla a este diario Stephanie Stack, investigadora de la Universidad Griffith de Australia y coautora del estudio.

¿Cómo pudieron determinar estos investigadores los kilómetros que habían nadado? Fue gracias a una plataforma de ciencia ciudadana llamada Happywhale que recopila fotografías de ballenas en diferentes partes del mundo. En concreto, esta investigación se basó en 19,283 imágenes de

ballenas de alta calidad tomadas entre 1984 y 2025 en el este de Australia y América Latina tanto por científicos como por ciudadanos a través de esta plataforma.

El rasgo determinante para diferenciarlas es la cola de ballena o aleta caudal. Cada ballena jorobada posee un patrón único en la parte inferior de su cola.

Al procesar estas fotografías de la plataforma Happywhale, el equipo encontró dos ballenas jorobadas que habían sido fotografiadas tanto en el este de Australia como en Brasil. Las imágenes se tomaron con décadas de diferencia.

Fuente: <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2026/05/20/6a0d4f8e21efa097278b4583.html>

Arqueólogos reconstruyen con satélites espía una red de más de 130 kilómetros de posibles canales y revelan cómo un rey convirtió una llanura seca en el corazón de su reino

Un grupo internacional de investigadores ha reconstruido un inmenso paisaje hidráulico alrededor de la antigua fortaleza de Argishtikhinili, uno de los principales centros del reino de Urartu. El trabajo, publicado en la revista *Antiquity*, no ha sacado a la luz un canal monumental ni una obra única comparable a un acueducto romano. Lo que ha revelado es algo más complejo y más sugerente: las huellas dispersas de un territorio entero organizado para conducir agua.

Tal y como indica el estudio dirigido por Nazarij Buławka, Krzysztof Jakubiak e Inessa Karapetyan, el aná-

lisis del terreno permitió identificar 1019 kilómetros de estructuras relacionadas con la gestión del agua. Dentro de ese enorme conjunto aparecen 134.6 kilómetros de trazados que podrían corresponder a canales antiguos vinculados al periodo urartio.

La cifra impresiona, pero requiere contexto. No significa que haya aparecido una red continua de más de mil kilómetros construida por una sola civilización. En ese mapa conviven canales modernos, antiguos cauces fluviales abandonados, paleocanales y elementos del relieve moldeados por el agua durante siglos. Lo verdaderamente relevante es que parte de ese entramado parece concentrarse en torno a una ciudad fundada hace casi 2800 años. Y esa coincidencia obliga a volver a mirar a Urartu.

Urartu fue uno de los grandes poderes del primer milenio antes de nuestra era. Durante varios siglos compitió

con Asiria por el control de amplias regiones entre Anatolia oriental, el Cáucaso y áreas próximas al actual Irán. Sin embargo, su historia sigue siendo mucho menos conocida que la de otros estados contemporáneos.

Lo más llamativo del trabajo no es solo lo que se ha encontrado, sino cómo lo han hecho. En lugar de abrir zanjas durante kilómetros o excavar enormes extensiones agrícolas, los investigadores recurrieron a técnicas de teledetección y análisis del paisaje mediante imágenes satelitales y modelos digitales del terreno.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/historia/arqueologos-encuentran-canales-ocultos-urartu-argishtikhinili-armenia.html>

Un avance tecnológico pionero utiliza la WiFi para crear un sistema de posicionamiento exacto donde el GPS no puede llegar

Caminar por el centro de una metrópoli moderna es, para un receptor de señales satelitales, una experiencia de ceguera intermitente. El sistema de posicionamiento global (GPS), a pesar de su casi omnipresencia, presenta una limitación física insalvable: depende de una línea de visión directa con los satélites situados a más de 20,000 kilómetros de altura. Cuando entramos en un edificio, bajamos al metro o nos rodeamos de estructuras de hormigón, esa conexión se debilita hasta desaparecer. Durante años, la tecnología ha buscado un sustituto capaz de orientarnos en los espacios cerrados con la misma fidelidad con la que nos guiamos en carretera abierta.

Un equipo de investigadores del Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea (KAIST) parece haber dado con la solución definitiva para iluminar estos puntos ciegos. Han de-

sarrollado una infraestructura de posicionamiento nacional basada en Wi-Fi de ultraprecisión que permite una navegación fluida en interiores. Esta tecnología, que coloquialmente podríamos llamar un GPS interior, aprovecha la infraestructura inalámbrica ya existente para ofrecer una ubicación exacta sin depender de la señal del espacio. Aunque el término comercial nos resulte familiar, técnicamente nos encontramos ante una infraestructura de posicionamiento basada en Wi-Fi, o WPI, que redefine cómo interactuamos con nuestro entorno inmediato.

Para entender por qué el WPI es necesario, debemos analizar el entorno donde el GPS fracasa de forma estrepitosa. Los ingenieros suelen referirse a las calles rodeadas de edificios altos como cañones urbanos. En estos parajes de acero y cristal, las señales de los satélites rebotan en las fachadas, creando un efecto de eco que confunde a los receptores de nuestros teléfonos. Este fenómeno, conocido técnicamente como *multicamino* o *multipath*, provoca que nuestra ubicación en el mapa salte de una acera a otra o se pierda por completo.

El sistema desarrollado por el KAIST no intenta luchar contra estos rebotes, sino que los utiliza a su favor. A diferencia de la navegación tradicional que calcula la distancia a un satélite, este nuevo sistema de posicionamiento analiza la firma única de las ondas de radio en cada rincón de un edificio. El Wi-Fi se convierte en un radar de precisión que interpreta el entorno mediante algoritmos de aprendizaje profundo entrenados para reconocer las huellas dactilares de radiofrecuencia. Esta metodología permite que el dispositivo sepa dónde está simplemente "escuchando" cómo se comportan las señales inalámbricas del edificio, logrando una resolución que supera con creces cualquier intento previo de navegación interna.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/tecnologia/conquista-espacio-interior-tecnologia-wifi-kaist.html>

Recopilación

Revista TEMAS de Ciencia y Tecnología

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades Universidad Tecnológica de la Mixteca

Antecedentes, historia, evolución y hacia donde se dirige el Instituto

Con el inicio de operaciones de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) en febrero de 1990, y su posterior inauguración en 1991, comenzó el proceso de creación y consolidación de los institutos académicos que actualmente integran la institución. En este contexto, 1994 estableció el entonces Centro de Ciencias Sociales y Humanidades, cuya labor se orientó además de las actividades académicas a realizar investigación en relación con aspectos socioeconómico y humanistas. Posteriormente, el 3 de agosto de 2003, dicho centro adquirió formalmente la categoría de Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades, fortaleciendo sus funciones de investigación, vinculación y servicio a la sociedad.

A través del tiempo el Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades (ICSyH) ha contribuido al incremento de la competitividad empresarial mediante la formación de profesionales con habilidades y competencias necesarias para emprender proyectos de negocios y/o dirigir organizaciones; capaces de aplicar con ética, conocimientos administrativos, contables, financieros y de mercadotecnia, que contribuyan al desarrollo sustentable de la región, del estado y del país.

Entre las principales contribuciones del ICSyH destaca el impulso a la investigación científica en diversas áreas de las ciencias sociales, generando conocimiento relevante para la comprensión y atención de problemáticas económicas, sociales y organizacionales. Asimismo, participa activamente en actividades de difusión y aplicación del conocimiento fortaleciendo los vínculos entre la universidad y las comunidades de la región.

Esta labor de vinculación principalmente es través del área de Promoción del Desarrollo, instancia encargada de atender las solicitudes de personas, organizaciones y empresas interesadas en recibir asesoría especializada. Mediante este mecanismo se canalizan proyectos y servicios orientados al fortalecimiento de las capacidades productivas y empresariales, entre los que destacan la realización de estudios de mercado, programas de capacitación en administración de recursos humanos, servicio al cliente, estrategias de mercadotecnia y desarrollo de campañas publicitarias, así como la formulación y evaluación de proyectos de inversión, entre otros.

De esta manera, como parte del modelo Triple Hélice el Instituto contribuye no solo a la generación de conocimiento científico, sino también a su aplicación práctica en beneficio de los sectores productivos y sociales, promoviendo el desarrollo económico y el fortalecimiento de las capacidades locales.

El Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Tecnológica de la Mixteca busca constituirse como la opción académica más importante en el ámbito de la docencia e investigación en las ciencias sociales y humanidades a nivel regional y estatal.

Objetivos, alcances y perspectivas del Instituto

El ICSyH tiene dos programas educativos impartidos por sus profesores adscritos; la Licenciatura en Ciencias Empresariales y la Maestría en Administración de Negocios. El objetivo del ICSyH es contribuir a la formación de profesionistas altamente calificados, competitivos, visionarios con sólidos valores, sensibles de las necesidades sociales y de su entorno, comprometidos a contribuir con su conocimiento al

desarrollo de la región y del estado. Su alcance es la investigación y la formación académica de nuestros estudiantes. La perspectiva es que se sigan generando proyectos de investigación con impacto regional y que los profesores del ICSyH sigan siendo parte del Sistema Nacional de Investigadores y que sigan colaborando con otras instituciones u organismo como es la ONU, el INPLAN, Asociaciones Civiles, Cooperativas, entre otros.

Estadísticas

A junio del año 2026 el ICSyH cuenta con una planta académica integrada por 28 profesores-investigadores de tiempo completo. La mayoría posee estudios de posgrado y experiencia especializada en distintas disciplinas de las ciencias sociales, tales como finanzas, filosofía, literatura, administración, mercadotecnia, contabilidad, derecho y economía. Tal diversidad en estas áreas de conocimiento ha permitido consolidar los recursos académicos especializados requeridos para el análisis e interpretación de las necesidades y problemáticas propias de las Ciencias Sociales en el contexto social y cultural de influencia de la universidad, contribuyendo a una mayor pertinencia de las actividades académicas frente a

las demandas del entorno. En la Figura 1 se muestran los porcentajes de los profesores investigadores y su grado de estudios.

Los profesores adscritos al ICSyH participan en la impartición de cursos en los diversos programas de estudios con los que cuenta la Universidad (véase la Figura 2).

En la Licenciatura de Ciencias Empresariales la matrícula que se mantuvo del año 2025 al 2026 fue en promedio de 300 alumnos.

Logros alcanzados en la Lic. en Ciencias Empresariales

Plan de estudios acreditado

Comprometidos con la calidad en la enseñanza y la formación integral de las y los estudiantes, el programa educativo ha participado en procesos de auto-evaluación y evaluación que le han permitido alcanzar las siguientes acreditaciones.

- En 2002 el PE fue reconocido por el Consejo de acreditación en la enseñanza de la contaduría y administración A. C. (CACECA), por haber cumplido con los estándares académicos y se le otorgo la acreditación por cinco años.

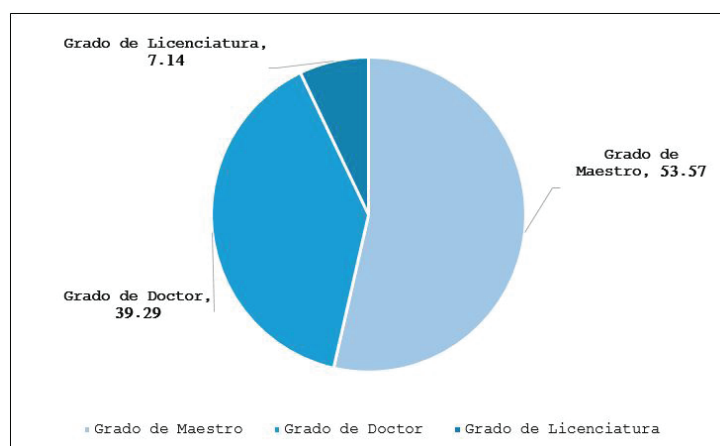


Figura 1. Profesores-Investigadores del ICSyH por grado académico en porcentajes.

Fuente: Elaboración propia.

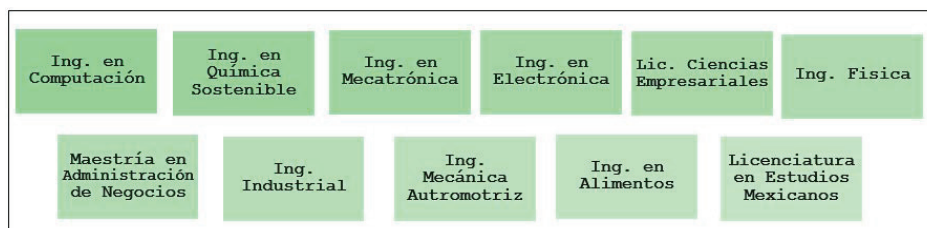


Figura 2. Programas a los que corresponden las materias impartidas por profesores del ICSyH.

Fuente: Elaboración propia.

- En 2009 se realizó la autoevaluación para obtener la acreditación de los Comités interinstitucionales de evaluación de la educación superior (CIEES) que avala la pertinencia y calidad educativa. Se otorgó el Nivel 1 por cinco años.
- En 2018 se realizó nuevamente el proceso de autoevaluación ante los Comités interinstitucionales de evaluación de la educación superior (CIEES) para acreditar continuidad de la pertinencia y calidad en los contenidos del PE y se obtuvo el Nivel 1 por cinco años.

Desempeño Académico

En las últimas 10 generaciones a partir de que se implementó el examen de EGEL CENEVAL, se ha elevado el índice eficiencia terminal y de titulación, el 90 % de egresados se ha titulado a través del examen de EGEL CENEVAL con los siguientes resultados:

- Ubicarse entre los primeros 10 lugares a nivel nacional.
- Lograr una tasa promedio de aprobación de 95 %.
- El 15% de los sustentantes en promedio, han obtenido testimonio sobresaliente y con ello candidato al desempeño de excelencia.

Participación en concurso y competencias

- Segundo y tercer lugar en el concurso Oaxaca-Emprende 2026.
- Segundo y tercer lugar en el concurso Oaxaca-Emprende 2024.

Empleabilidad

Por su formación integral, los egresados tienen la capacidad, las herramientas y el perfil para trabajar en el sector privado, el sector público o sector social,

crear su propio negocio o realizar estudios de posgrado. En la actualidad, a los egresados, en promedio les toma de 3 a 6 meses emplearse y se encuentran laborando en:

- Emprendimientos propios que se han consolidado y crecido.
- Instituciones Educativas de nivel medio superior y superior, ocupando puestos a nivel directivo.
- En empresas privadas a nivel gerencial.
- En empresas de su familia.
- En el sector social.
- En el ámbito educativo, como docentes
- Realizando estudios de posgrado.

Participación de profesores y alumnos

Dentro de las últimas actividades en las que han participado profesores y estudiantes se tienen las siguientes:

Participación en Oaxaca-Emprende 2026, la UTM participó activamente como una de las 14 instituciones de educación superior. La representación institucional estuvo a cargo del Mtro. Luis Eduardo Angoa Caballero, con un equipo de cinco evaluadores de alto nivel para calificar los proyectos participantes: Dra. María del Rosario Barradas Martínez, Dr. José Rodríguez Lázaro., Mtra. Iliana Herrera Arellano, Mtro. Ulises Pérez Salmorán, Dr. Onésimo Chávez López, todos profesores del ICSyH. Los estudiantes de la UTM seleccionados para las etapas finales participaron en un riguroso programa de Talleres de Coaching Empresarial desarrollados entre febrero y marzo de 2026 en diversas sedes. De los proyectos en los que participaron estudiantes de la Lic. En Ciencias empresariales son los que se muestran en la Figura 3.



Encuentranos: Logró el segundo lugar en la categoría de Desarrollo de Turismo Sostenible Económico, Social y Cultural.

EmoviChair: Se adjudicó el tercer lugar en la categoría de Desarrollo e Innovación, Tecnología y Finanzas.

Figura 3. Proyectos ganadores Oaxaca-Emprende
Fuente: Elaboración propia.

La participación de la UTM en Oaxaca-Emprende 2026 reafirma su liderazgo regional en la promoción de la cultura emprendedora y el compromiso de su comunidad académica en el desarrollo de proyectos tecnológicos y sostenibles que impactan positivamente en el estado de Oaxaca.

Por otro parte, una de las iniciativas de mayor relevancia en las que participan tanto estudiantes como profesores, es ENACTUS, una red nacional e internacional que integra a jóvenes universitarios, académicos y líderes empresariales comprometidos con la solución de problemáticas económicas, sociales y ambientales mediante modelos de negocios sostenibles. En el ICSyH, la Mtra. Iliana Herrera Arellano coordina las actividades relacionadas con ENACTUS a nivel institucional, promoviendo la participación de la comunidad universitaria en proyectos de emprendimiento social con impacto en el entorno. El 25 de

septiembre de 2025 en Bangkok, Tailandia celebró el Congreso Enactus Global Research Network Conference 2025 (EGRNC 2025), en la cual participo la Mtra. Iliana con la presentación titulada “Empowering youth through cross-sector social entrepreneurship in Oaxaca´s Mixtec Region”. (ver Figura 4).

Otra actividad por parte de ENACTUS es la Celebración del Día del Niño y la Niña, como parte de las celebraciones anuales que lleva a cabo el Equipo Enactus UTM desde el 2009. En esta 17ª Edición la celebración tuvo lugar en la agencia Núcleo Rural Universitario de Acatlima el viernes 1 de mayo de 2026; se tuvo la participación de más de 400 niños y niñas y el apoyo invaluable de los padres y madres de familia de la comunidad, así como del Agente de la Colonia, de la empresa Jumex, del Consejo Ciudadano Juvenil y de la casa del Cubrebocas, (ver Figura 5).



Figura 4. Participación de representante ENACTUS en Congreso Internacional.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Actividad ENACTUS con impacto social.
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo otra actividad de gran relevancia se desarrolla bajo la coordinación de la Dra. Olivia Allende Hernández, mediante la participación de estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Empresariales. A través de esta iniciativa, los estudiantes ponen en práctica los conocimientos adquiridos durante su formación académica, fortalecen sus habilidades de liderazgo, empatía y generan un impacto social real, al impulsar el programa “Alfabetización para el Bienestar” en co-

laboración con el Instituto Estatal de Educación para Adultos (IEEA), contribuyendo a reducir el analfabetismo en personas mayores de los municipios con mayor marginación de la Región Mixteca. (ver Figura 6).

Algunos títulos de proyectos de investigación vigentes durante el 2025 y 2026 son Análisis de la sostenibilidad empresarial como estrategia de gestión en las organizaciones, (ver la Figura 7).



Figura 6. Programa de alfabetización con la participación de estudiantes de la LCEI.
Fuente: Elaboración propia.

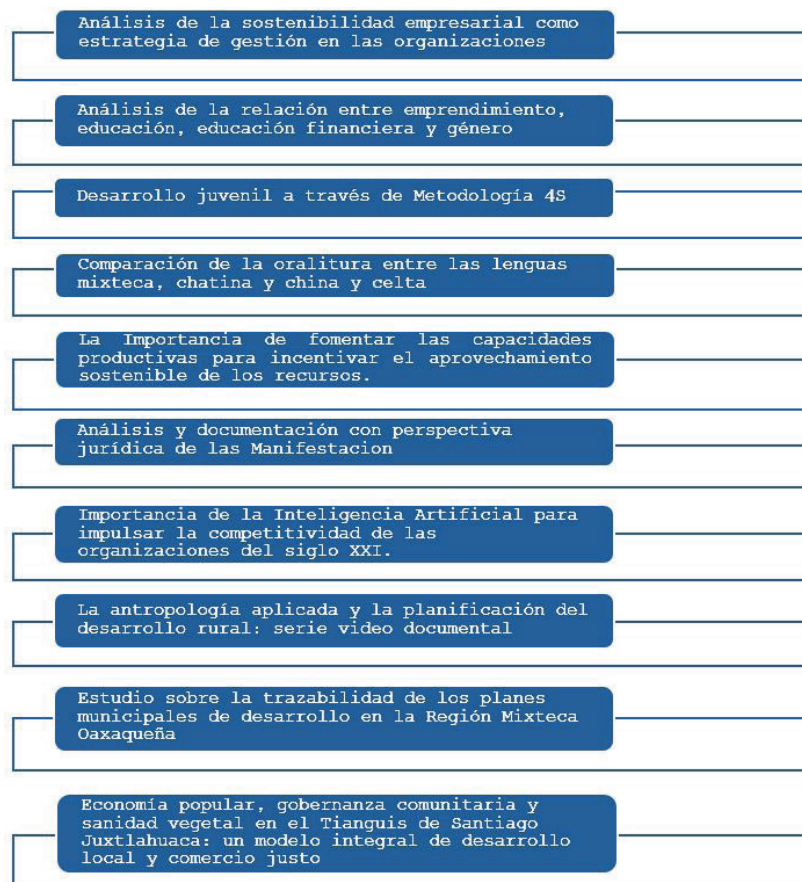


Figura 7. Proyectos registrados en el ICyH.
Fuente: Elaboración propia.

Un ejemplo de investigación aplicada en beneficio de los sectores productivos y sociales es el proyecto realizado en la comunidad de Rosario Nuevo, Tezoatlán de Segura y Luna, Oaxaca, Coordinado por el Mtro. Martín Reyes García. El objetivo de este proyecto fue la creación de una granja acuícola comunitaria para favorecer la seguridad alimentaria de la población local. Dicho proyecto abarcó un periodo de 2015 a 2017, dando como resultado, el fortalecimiento del marco teórico del valor agregado comunitario (ver Figura 8).

Bajo esta lógica, en el año 2019, se participó en la categoría JOVEN ES-COMPROMISO: PROYECTOS SOCIALES COMUNITARIOS, por parte del Instituto Mexicano de la Juventud (IMJUVE). Siendo ganador el proyecto “Horticultura a través de sistemas hidropónicos y microtúneles”. El objetivo del proyecto fue fomentar las capacidades productivas de 10 familias de la comunidad de Acatlima, Oaxaca a fin de favorecer la seguridad alimentaria (ver Figura 9).



Figura 8. Rehabilitación de estanques rústicos.
Fuente: Elaboración propia.

imjuve
Instituto Mexicano de la Juventud

#Jovenescompromiso
#ImjuveMx

Taller de horticultura a través de sistemas hidropónicos y microtúneles.

Fecha: 29 y 30 de Septiembre
Lugar: Agencia municipal de Acatlima
Hora: 6:00 pm
Informes: 953 174 09 90
995 103 57 35

“Ayudar a otros es como ayudarte a ti mismo.”

Figura 9. Desarrollo del proyecto: Horticultura a través de sistemas hidropónicos y micro-túneles.
Fuente: Elaboración propia.

De manera complementaria, durante 2023 se desarrollaron talleres dirigidos a estudiantes de educación básica con el objetivo de fomentar la valoración de los recursos naturales y fomentar el desarrollo de capacidades productivas. Dicho objetivo fue logrado a través de la recreación de la técnica tradicional de pintura a la cal, destacando el potencial de los recursos locales para la elaboración de productos orgánicos (ver Figura 10).

Otra aportación importante es el desarrollo del proyecto ICSH-F008: “Estudio sobre la trazabilidad de los planes municipales de desarrollo en la Región Mixteca Oaxaqueña, México” coordinado por el Dr. Conrado Aguilar Cruz y en colaboración de seis investigadores del ICSyH. Se presentó como uno de sus resultados, el conversatorio “Gobernanza territorial y

planeación participativa: desafíos y aprendizajes en la construcción colectiva del desarrollo de San Agustín Atenango, Silacayoapan, Oaxaca”. Los trabajos de este conversatorio se han centrado principalmente en difundir los resultados de la colaboración interinstitucional entre la Universidad Tecnológica de la Mixteca, las autoridades de los municipios de la región mixteca y el Instituto de Planeación para el Bienestar del estado de Oaxaca (INPLAN). La C. Martina López Avila hizo entrega de un documento en el que hace constar el servicio de asesoría técnica, acompañamiento metodológico y revisión especializada que la Universidad Tecnológica de la Mixteca brindó para la elaboración del Plan Municipal de Desarrollo 2025-2027 de San Agustín Atenango, Distrito de Silacayoapan, Oaxaca (ver Figura 11).



Figura 10. Taller sobre la elaboración de pintura orgánica.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Conversatorio UTM-INPLAN.
Fuente: Elaboración propia.

Cuerpos Académicos

En ICsYH se tienen dos cuerpos académicos 1) Administración, Cultura y Desarrollo Económico (CAACYDE) (UTMIX-CA-28, Consolidado), 2) Gestión estratégica en las organizaciones (UTMIX-CA-46, En consolidación).

Respecto a las actividades del UTMIX-CA-28, los días 26 y 27 de febrero de 2024, la Dra. Mónica Teresa Espinosa Espíndola, la Dra. Lilia Alejandra Flores Castillo y el Dr. Adolfo Maceda Méndez, profesores investigadores del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades y del Instituto de Física y Matemáticas, impartieron el curso taller Educación Financiera para Niños y Niñas, en la Escuela Primaria José María Morelos, ubicada en Santiago Huajolotitlán, Oaxaca, mediante actividades lúdicas y materiales audiovisuales de fácil comprensión, con el objetivo de que los niños y niñas conozcan conceptos financieros básicos como presupuesto, inversión o gastos hormiga y desarrollen el hábito del ahorro, (ver Figura 12).

También sus integrantes Dra. Yannet Paz Calderón, Dra. Mónica Teresa Espinosa Espíndola, Dr. Adolfo Maceda Méndez en colaboración con la Mtra. Zulma Janet Hernández Paxtián participaron como autores del capítulo “Entre el apoyo didáctico y la distracción:

el uso de dispositivos electrónicos en el aula en el marco de las Agendas de Desarrollo”, publicado en el libro Investigación estratégica para el desarrollo sostenible y la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (ISBN: 978-628-97388-1-0), editado por Corporación Universitaria Americana (CUA) y Knowledge & Sciences Editorial, obra sometida a evaluación por pares doble ciego (ver Figura 13).

Del Cuerpo Académico UTMIX-CA-31, “Modelización y Análisis de Sistemas Sociales, Urbanos y Culturales”, al que pertenece la Dra. Olivia Allende Hernández, dicho cuerpo gestiona el Proyecto Integral de Vinculación Universidad-Emprendimientos que ofrece una experiencia académica pertinente para los estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Empresariales. Los estudiantes han trabajado con emprendimientos y empresas de distintos sectores, integrando herramientas de análisis empresarial y mercadotecnia digital. Las actividades incluyen diagnóstico del emprendimiento, análisis de identidad corporativa, identificación del público objetivo, construcción de buyer persona, análisis FODA y CAME, diseño de planes de marketing digital, propuestas de contenido para redes sociales, diseño de landing page, análisis de viabilidad de web hosting y dominio, propuestas



Figura 12. Taller Educación financiera.
Fuente: Elaboración propia.

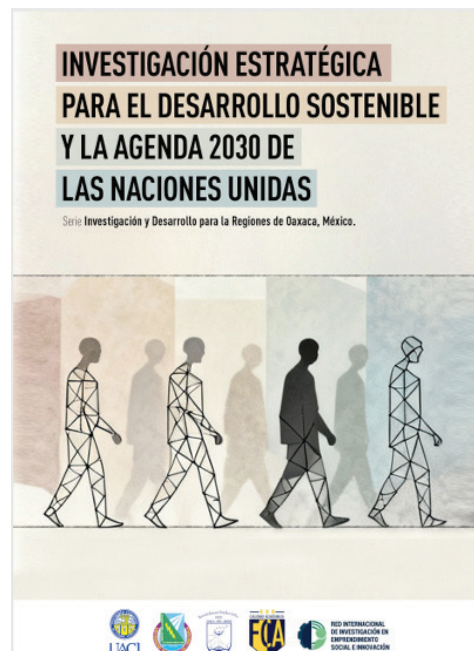


Figura 13. Publicación de capítulo de libro.
Fuente: Elaboración propia.

de eCommerce, análisis de implementación de dropshipping y elaboración de materiales de promoción digital, (ver Figura 14).

Conclusiones

No es posible enumerar la gran cantidad de actividades académicas y de investigación que se desarrollan en el Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades. Sin embargo, es importantes destacar que los profesores que lo integran mantienen un firme compromiso con la Universidad Tecnológica de la Mixteca, contribuyendo de manera permanente al fortalecimiento de la educación en las aulas y a la generación de investigación de calidad.

Prueba de ello es el incremento en el número de académicos que se han incorporado al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), lo

que refleja reconocimiento de su labor científica. Asimismo, es evidente el esfuerzo constante que realizan para obtener y mantener el perfil PRODEP, fortaleciendo con ello su desarrollo profesional y académico.

Por su parte los estudiantes de Licenciatura en Ciencias Empresariales y de la Maestría en Administración de Negocios también generan un impacto significativo mediante sus trabajos académicos y su proceso de formación. A través de sus proyectos, plantean propuestas de mejora ante problemáticas identificadas en su entorno y relacionadas con sus respectivas líneas de acción.

El Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades continuará contribuyendo en los años venideros mediante su labor académica, de investigación y de gestión administrativa, reafirmando su compromiso con el desarrollo de la educación superior y la generación de conocimiento.



Figura 14. Proyecto Integral de Vinculación Universidad–Emprendimientos.
Fuente: Elaboración propia.

Autor de la Vida Académica

Dra. Lilia Alejandra Flores Castillo

Directora del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades
Universidad Tecnológica de la Mixteca
floresaly22@mixteco.utm.mx

Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM)



Infraestructura

104 Ha. de dimensión

118 Edificios

55 Laboratorios

9 Talleres

Parque Tecnológico

Parque Solar Fotovoltaico

Planta de Tratamiento de Agua

Planta Potabilizadora de Agua

Agavetum



9 Institutos de Investigación

Centro de Modelación Matemática,
Vinculación y Consultoría

Instituto de Agroindustrias

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

Instituto de Computación

Instituto de Diseño

Instituto de Física y Matemáticas

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz

Instituto de Hidrología

Instituto de Minería

División de Estudios de Posgrado

Oferta Educativa



Licenciaturas

Ingeniería Civil

Ingeniería Industrial

Ingeniería en Diseño

Ingeniería en Alimentos

Ingeniería en Electrónica

Ingeniería en Mecatrónica

Ingeniería en Computación

Ingeniería en Física Aplicada

Ingeniería en Mecánica Automotriz

Ingeniería Química en Procesos Sostenibles

Licenciatura en Ciencias Empresariales

Licenciatura en Matemáticas Aplicadas

Licenciatura en Estudios Mexicanos

(modalidad virtual)



INFORMES

Consulta las bases y requisitos en
www.utm.mx

Posgrado

Maestría en Robótica

Maestría en Ciencia de Datos

Maestría en Diseño de Muebles

Maestría en Medios Interactivos

Maestría en Inteligencia Artificial

Maestría en Ciencia de Materiales

Maestría en Ingeniería de Software

Maestría en Modelación Matemática

Maestría en Administración de Negocios

Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura

Maestría en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos

Maestría en Electrónica, opción: Sistemas Inteligentes Aplicados

Doctorado en Robótica

Doctorado en Inteligencia Artificial

Doctorado en Modelación matemática

Doctorado en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos

Doctorado en Electrónica, opción sistemas Inteligentes Aplicados



Reseña de Libro

Docencia universitaria en transformación: metodologías activas, inteligencia artificial y nuevas competencias

Susana Álvarez Álvarez, Ruth Pinedo González (coords.)

Primera edición digital, Octaedro, 2026, 210 páginas.



La educación superior enfrenta actualmente una transformación impulsada por la acelerada digitalización, la irrupción de herramientas de inteligencia artificial generativa como ChatGPT, Copilot y Gemini, así como por una economía cada vez más basada en el conocimiento, entendida como aquella que impulsa la innovación, la productividad y la competitividad, en la producción, difusión y uso de información y saberes.

En este escenario, las universidades han dejado de ser espacios dedicados exclusivamente a la transmisión de conocimientos disciplinares.

La formación de competencias digitales, el desarrollo del pensamiento crítico, la incorporación de metodologías activas, la evaluación centrada en el aprendizaje y el uso ético de tecnologías emergentes constituyen hoy algunos de los principales desafíos para las instituciones de educación superior. Precisamente estos temas articulan la obra *Docencia universitaria en transformación: metodologías activas, inteligencia artificial y nuevas competencias*. Si bien esta obra no pretende ser un manual para afrontar estos desafíos, recopila dieciséis experiencias desarrolladas en universidades españolas entre 2023 y 2025 que invitan a reflexionar sobre cómo la universidad contemporánea está obligada a repensar cómo se enseña y cómo se aprende en el siglo XXI.

Este libro recientemente publicado por la editorial Octaedro en Barcelona, pertenece a la Serie: Innovación educativa en enseñanzas universitarias de la Colección Horizontes Universidad. La coordinación estuvo a cargo de la Doctora en Traducción e Interpretación Susana Álvarez Álvarez y la Doctora en Psicología Ruth Pinedo González, ambas docentes de la Universidad de Valladolid. Si bien el título menciona tres elementos: metodologías activas, inteligencia artificial y nuevas competencias, a lo largo de sus dieciséis capítulos pueden identificarse siete ejes conceptuales principales: inteligencia artificial (IA), aprendizaje-servicio (ApS), gamificación, enseñanza

invertida (Flipped Learning), evaluación formativa, comprensión y pensamiento crítico, así como compromiso social e inclusión.

La inteligencia artificial ocupa un lugar central en la obra. Diversos capítulos analizan tanto sus oportunidades como sus riesgos. En el Capítulo 1 se estudia un problema emergente: el ciberplagio académico y la necesidad de preservar la integridad de los trabajos universitarios de fin de grado mediante el uso de herramientas como *Turnitin*. Por su parte, el Capítulo 4 presenta experiencias innovadoras basadas en la creación de asistentes GPT personalizados que actúan como tutores virtuales disponibles en cualquier momento para apoyar la formación docente y el aprendizaje autónomo. Mientras que en el Capítulo 12 dentro de la materia de Historia, se utiliza para que los alumnos evalúen críticamente si la IA puede “pensar históricamente”. Finalmente, en el Capítulo 16 se estudia su impacto en el diseño de exámenes en Lingüística, advirtiéndole que la IA tiende a simplificar en exceso los contenidos y requiere supervisión y adecuación por parte del docente. En general, se presenta a la IA no como una amenaza inevitable ni como una solución mágica, sino como una herramienta cuya integración en la educación superior debe realizarse mediante una integración crítica, ética y responsable.

Uno de los ejes más relevantes del libro es el aprendizaje-servicio (ApS), entendido como una metodología que combina la formación académica con la prestación de un servicio real a la comunidad. Entre las experiencias descritas destaca la divulgación científica sobre genética dirigida a estudiantes de Formación Profesional, presentada en el Capítulo 3. También destacan las traducciones solidarias para organizaciones no gubernamentales en África realizadas por estudiantes de lenguas dentro del proyecto TradAction, descrito en el Capítulo 6, así como el modelo de patrimonio colaborativo abordado en el Capítulo 14, donde universitarios y personas mayores de 65 años aprenden conjuntamente en museos. Estos trabajos muestran cómo los estudiantes aprenden de manera más profunda cuando aplican sus conocimientos para responder a necesidades sociales concretas.

Otro eje relevante es la gamificación, que consiste en aplicar dinámicas de juego (puntos, retos, compe-

tición) en entornos educativos para incrementar la motivación, la participación y el aprendizaje significativo. Las experiencias desarrolladas en Arquitectura, Filosofía y Biología evidencian que los retos, las misiones y las dinámicas competitivas pueden utilizarse para abordar contenidos complejos sin sacrificar el rigor académico. Lejos de reducir la educación al entretenimiento, los Capítulos 5, 13 y 15 muestran que el juego puede convertirse en una poderosa herramienta para estimular la curiosidad, la colaboración y la resolución de problemas.

Asociada al eje anterior, la enseñanza invertida (Flipped Learning) representa una de las metodologías activas que propone trasladar fuera del aula la adquisición inicial de conocimientos para dedicar el tiempo presencial en clase a actividades prácticas, debates y resolución de problemas. La experiencia descrita en el Capítulo 5 demuestra que esta reorganización favorece una participación más activa por parte de los alumnos y permite aprovechar mejor la interacción con el profesor. Su integración con estrategias de gamificación genera entornos de aprendizaje especialmente dinámicos y participativos.

De manera complementaria, la evaluación formativa aparece como tema transversal de los dos ejes anteriores. A diferencia de los modelos tradicionales centrados exclusivamente en la calificación (evaluaciones sumativas), la evaluación formativa busca proporcionar retroalimentación constante al alumno para que mejore durante el proceso de aprendizaje. En el Capítulo 2 se cuestiona la inadecuada interpretación entre evaluación continua y formativa, proponiendo las siguientes estrategias específicas para fortalecer la retroalimentación del alumno: prácticas no evaluables en vivo, clases de ejercicios interactivos y anónimos mediante la herramienta *Wooclap* para la corrección de errores en tiempo real, y simulacros voluntarios de examen. Por su parte, el Capítulo 10 hace uso de un organizador gráfico llamado “La escalera de la metacognición”. La metacognición es, sencillamente, la capacidad de “pensar sobre cómo pensamos”. Con esta herramienta se busca que el estudiante haga explícitos sus procesos de razonamiento, permitiendo al profesor “ver” cómo está aprendiendo. El Capítulo 11 aborda la tutorización de trabajos de fin de grado, en donde se rompe el modelo tradicional de tutoría individual (profesor-

alumno), y se introduce el aprendizaje cooperativo (profesor-alumno-iguales), así como el uso de IA para la simulación de preguntas formuladas por un jurado evaluador y así anticiparse a posibles fallos y errores. Estas experiencias muestran que herramientas como la autoevaluación, la coevaluación y la retroalimentación inmediata favorecen un aprendizaje más profundo y reducen la visión punitiva asociada al error. Asimismo, evidencian que el éxito académico no depende de la cantidad de exámenes, sino de la calidad y la rapidez de la retroalimentación.

Otro eje fundamental es la comprensión profunda y el desarrollo del pensamiento crítico. Varias contribuciones cuestionan los modelos educativos basados en la simple memorización y defienden una enseñanza orientada a comprender, analizar, argumentar y transferir conocimientos a nuevas situaciones. Las propuestas relacionadas con la divulgación científica del Capítulo 3, el uso de libros ilustrados de no ficción del Capítulo 7, el uso con planificación y pensamiento crítico de TikTok en el aula abordado en el Capítulo 8 y las destrezas de pensamiento para la evaluación del aprendizaje del Capítulo 10, muestran que comprender implica construir significado, establecer relaciones y reflexionar críticamente sobre la información disponible. Estas experiencias también favorecen el desarrollo de habilidades blandas (soft skills), tales como la empatía, la paciencia, la resiliencia, la comunicación oral y la capacidad de sintetizar y transmitir información de manera clara.

Finalmente, la obra aborda dentro del Capítulo 9 el compromiso social y la inclusión del estudiantado con discapacidad. Los autores examinaron las guías de atención a la diversidad de 91 universidades españolas y si bien señalan avances importantes, también identifican carencias institucionales que limitan la plena participación de estudiantes con discapacidad y otros colectivos vulnerables. Se enfatiza la falta de uniformidad en las guías de atención a la discapacidad en España, exigiendo la importancia de la colaboración interinstitucional para estandarizar las medidas de inclusión y fortalecer la cohesión entre instituciones, a fin de garantizar que la universidad sea, verdaderamente, un espacio para todos.

En conclusión, el libro constituye una obra pertinente y oportuna para comprender algunos de los desafíos que enfrenta actualmente la educación

superior. Su principal fortaleza radica en reunir experiencias reales que evidencian cómo la innovación educativa puede materializarse en contextos universitarios diversos y que, al mismo tiempo, invitan a reflexionar sobre los retos actuales de la enseñanza superior. Aunque algunas experiencias se desarrollan en contextos específicos, las ideas y metodologías presentadas poseen un alto potencial de transferencia a otras disciplinas e instituciones. Por ello, la obra resulta especialmente recomendable para docentes universitarios, investigadores educativos, responsables académicos y estudiantes de posgrado interesados en comprender cómo la innovación pedagógica, la inteligencia artificial y el compromiso social están redefiniendo la enseñanza universitaria del siglo XXI.

Autor de la reseña:

M.R. Rafael Adrián García García

Maestro en Robótica
Instituto de Electrónica y Mecatrónica
Universidad Tecnológica de la Mixteca
rafagarcia@mixteco.utm.mx

Red de Universidades Estatales para la Transformación (UNIRT)

**7 Universidades
y 12 Campus**

**Universidad Tecnológica
de la Mixteca
(UTM)**
Huajuapán

**Universidad del Mar
(UMAR)**
Campus Puerto Escondido,
Puerto Ángel, Huatulco
y Oaxaca

**Universidad del Istmo
(UNISTMO)**
Campus Tehuantepec,
Ixtepec y Juchitán

**Universidad del
Papaloapan
(UNPA)**
Campus Loma Bonita
y Tuxtepec

**Universidad de la
Sierra Sur
(UNSI)**
Miahuatlán

**Universidad de la Sierra
Juárez (UNSIJ)**
Ixtlán de Juárez

**Universidad de la
Cañada
(UNCA)**
Teotitlán de Flores Magón

**257
edificios**

**31 Institutos
de
Investigación**



**202 Laboratorios
24 Talleres**

Universidades ecológicas:
Los campus universitarios
son bosques con
la flora y fauna endémicas

82 carreras,
de las cuales la mayoría
son **de áreas STEM**

46 posgrados:
**12 Doctorados
y 34 Maestrías**



**Más de
11,000 alumnos
Más de
1,000 profesores
de tiempo completo**

Revista de divulgación "Temas de Ciencia y Tecnología"

Instrucciones para las Colaboraciones a la revista TEMAS de Ciencia y Tecnología de la UTM

Información General

La revista "TEMAS de Ciencia y Tecnología" es un órgano de divulgación y difusión científico-tecnológico de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Es un espacio que apoya y brinda la oportunidad de publicar a todos aquellos interesados, sus trabajos y producciones científicas como avances de investigación personales e institucionales de las diferentes universidades y centros de investigación del país y más allá de nuestras fronteras, con el sólo propósito de promover la tarea de la investigación científica.

La revista "TEMAS de Ciencia y Tecnología" busca la oportunidad de servir a la población estudiantil y a la comunidad intelectual con las últimas novedades de vanguardia tecno-científica de manera ágil, oportuna y veraz. Temas tiene una publicación cuatrimestral, contando con las siguientes secciones:

- Ensayos
- Notas
- Fronteras de la Ciencia
- Vida Académica de la UTM
- Reseña de Libros

La Revista de Divulgación "TEMAS de Ciencia y Tecnología" es multidisciplinaria, cuenta con ISSN 2007-0977 y pertenece al Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT.

Colaboraciones

Ensayo. Artículo con una aportación analítica, crítica y documentada sobre un tema, con una interpretación personal claramente identificada, y que contiene: Resumen en español y en inglés (abstract), Palabras clave, Introducción, Desarrollo del tema (con los subtítulos que se estimen convenientes), Discusión y análisis de resultados, Conclusiones y Bibliografía.

La elaboración de un ensayo es una tarea a la cual nos enfrentamos, cuando informamos a la comunidad sobre los resultados parciales de la investigación que estamos realizando. El carácter didáctico pedagógico que posee el ensayo científico radica en poner lo complicado en términos sencillos y no limitar el conocimiento solamente para un grupo de especialistas.

Nota Científica. Artículo con hallazgos y aportaciones breves, basados en resultados de investigación reciente que aún podrían requerir verificación. Puede ser el resultado de modificación o perfeccionamiento de algún método, técnica o análisis, o resultados de inves-

tigación preliminares pero importantes y novedosos. Debe contener Introducción, Desarrollo, Conclusiones y Bibliografía.

Reseñas. Comentario sobre libros de reciente edición, que contenga un juicio crítico y descripción del mismo. Normalmente y dependiendo del estilo del reseñador, consta de tres partes, ya sea separadas o entrelazadas en el texto: la identificación del autor y de la obra en tiempo y espacio; el resumen, que muestra las hipótesis o ideas principales y aportaciones de la obra; y la crítica, que resume la importancia de la obra desde contextos como social, científico, técnico, artístico, pudiendo incluir una recomendación final de la obra.

Debido a que "Temas de Ciencia y Tecnología" es una revista de divulgación, es importante la claridad y sencillez en el lenguaje y la exposición, explicando los términos o conceptos menos usuales. Es necesario que los autores procuren que los títulos, la introducción y el resumen sean comprensibles para la mayoría de los lectores no especializados en el tema desarrollado.

Presentación del artículo

1. Los autores deben integrar sus tabajos utilizando el procesador de textos Microsoft® Word.
2. Se envía al correo electrónico temas@mixteco.utm.mx dos archivos con extensión .doc. Uno es la colaboración y otro es una hoja de datos.
3. Un archivo es la colaboración (Ensayo o Nota) en forma adecuada para la revisión ciega en su versión original; se omite el nombre del autor para guardar su anonimato en el proceso de dictaminación.
4. El otro archivo es una hoja de datos la cual debe contener la siguiente información.

- Título del trabajo
- Tipo de colaboración (Ensayo, Nota o reseña)
- Nombres de los autores con un conciso currículum académico o profesional
- Afiliación institucional
- Domicilio del lugar de trabajo
- Teléfonos
- Correo electrónico de los autores
- Correo electrónico de correspondencia

Proceso editorial

1. Los trabajos enviados a la revista deben ser inéditos y sus autores se comprometen a no someterlos simultáneamente a la consideración de otras publicaciones.
2. La revista "TEMAS de Ciencia y Tecnología" acusará recibo a los autores de los trabajos que reciba.
3. El manuscrito será revisado por el Consejo Editorial antes de proceder con la revisión externa.
4. Después de aprobado por el consejo editorial el Ensayo o Nota será enviado a revisión (doble ciego) por al menos dos expertos en la disciplina correspondiente.
5. El artículo será aceptado sin cambios, con cambios menores, con cambios mayores o rechazado de acuerdo a los informes del arbitraje externo.
6. El resultado de la evaluación será comunicado al autor de correspondencia. El fallo será inapelable.
7. Los artículos aceptados recibirán las pruebas de galera para su corrección, así como, los autores deberán de firmar la carta de sesión de derechos.
8. Los artículos aceptados serán publicados en la página de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
9. Cada uno de los autores tiene derecho a recibir sin costo alguno la revista en la cual se haya publicado su colaboración.

Formato del manuscrito

Manuscrito

1. Los trabajos deben ser, preferentemente, resultados o avances de investigaciones de alto nivel sobre cuestiones relacionadas con el desarrollo tecnológico y científico.
2. Los ensayos tienen como máximo 20 cuartillas a doble espacio, con letra Times New Roman de tamaño 12.
3. Las Notas y Reseñas tienen como máximo 10 cuartillas a espacio doble, con letra Times New Roman de tamaño 12.
4. Las secciones no deben numerarse.
5. Evitar las notas al pie de página, por razones de diagramación de la revista. Cualquier información que el autor considere necesario incorporar, deberá hacerlo dentro del texto.
6. En la medida de lo posible, se debe evitar un lenguaje excesivamente especializado y el uso recargado de funciones matemáticas, para el beneficio de una exposición clara correspondiente a revistas de divulgación.
7. No hacer citas excesivas de un mismo autor. Evitar también un número excesivo de citas para que la lectura resulte más amena.
8. Las oraciones utilizadas en su trabajo no deben ser tan largas que dificulten la lectura.
9. Evitar el uso de abreviaturas no convencionales, si son necesarias entonces describirlas al usarlas por primera vez. Mantener el uso de abreviaturas al mínimo.
10. Hacer un uso adecuado de las mayúsculas y minúsculas, acentuando las mayúsculas. Verificar que el trabajo no tenga errores de redacción.

Tablas

1. Las tablas se deben colocar en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo.
2. El texto que describe a una tabla se coloca arriba de la misma y será de tamaño 10 con el siguiente formato: Tabla 1. Tabla 2.
3. El texto de la tabla será de tamaño 9.
4. Las tablas deben estar en Word. No se aceptan como imágenes.

Tablas reproducidas de otra fuente

1. Las tablas reproducidas de otra fuente deben presentar, debajo de la tabla, la referencia del autor original, aunque se trate de una adaptación.

Por ejemplo:

Fuente: Sabadini, A. A. Z., Sampaio, M. I. C., & Koller, S. H. (2009). *Publicar em psicologia: um enfoque para revista científica* (p. 175) Sao paulo: Associação Brasileira de Editores Científicos de Psicologia/Instituto de Psicologia de la Universidad de Sao Paulo.

Figuras

1. Las figuras se deben colocar en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo.
2. Se consideran figuras a todo tipo de fotografías, gráficas o dibujos.
3. El texto que describe a una figura se coloca debajo de la misma y será de tamaño 10 con el siguiente formato: Figura 1. Figura 2.
4. Las figuras deben enviarse de forma adicional en un archivo único comprimido, identificando con claridad el número de la figura.
5. Las figuras utilizadas en la versión impresa estarán en escala de grises con una resolución adecuada para impresión.
6. Las figuras deben ocupar el ancho completo del documento. No se admitirá alinear más de una figura por renglón. Si requiere hacer un comparativo entre varias figuras, deberá realizar la composición de las imágenes en una sola imagen agrupada.
7. El ajuste de las imágenes en el documento deberá ser "En línea con el texto". No se admitirán figuras dentro de cuadros de texto.
8. No se admitirán fotografías de personas. Las fotografías en ningún caso deben permitir la identificación de los autores del manuscrito.
9. Las figuras deben ser propiedad de los autores. No utilizar figuras, tablas o gráficas obtenidas de otras publicaciones o a través de internet sin el permiso correspondiente. Es necesario citar la fuente.

Figuras reproducidas de otra fuente

Las figuras reproducidas de otra fuente deben presentar, debajo de la figura, la referencia del autor original, aunque se trate de una adaptación.

Por ejemplo:

Fuente: Sabadini, A. A. Z., Sampaio, M. I. C., & Koller, S. H. (2009). *Publicar em psicologia: um enfoque para revista científica* (p. 175) Sao paulo: Associação Brasileira de Editores Científicos de Psicologia/Instituto de Psicologia de la Universidad de Sao Paulo.

Ecuaciones

1. Las expresiones matemáticas deben estar escritas de preferencia en el editor de ecuaciones de Word y adoptando el sistema de notación internacional.
2. No escribir ecuaciones dentro del texto.
3. Para agregar símbolos dentro del texto, utilizar Insertar Símbolo del procesador de textos y no el editor de ecuaciones.

Estructura de los manuscritos

1. **El título** de los trabajos debe ser atractivo tanto para lectores expertos como para amplias audiencias que desconozcan del tema, en cumplimiento del espíritu de divulgación de la revista. Debe ser breve y descriptivo del contenido del manuscrito que se presenta, con una longitud máxima de 150 caracteres considerando los espacios. Evitar el uso de símbolos, fórmulas, abreviaturas o acrónimos, tecnicismos desconocidos, ni demasiadas preposiciones.

2. **El resumen** debe describir breve y claramente el objetivo de estudio, la justificación, importancia, metodología, los resultados más destacados y las principales conclusiones, con una extensión entre 150 a 200 palabras como máximo. Se deben enfatizar los aspectos relevantes del trabajo. El resumen debe ser informativo, pero sin ser demasiado detallado.

3. Usar un máximo de cinco **palabras clave** en orden alfabético, que no se encuentren en el título y que identifiquen los principales temas tratados.

4. **Introducción.** Describir los objetivos y fundamentos del trabajo, utilizando las citas bibliográficas estrictamente necesarias. No incluir datos experimentales, pruebas ni las conclusiones del trabajo que presenta.

5. **Desarrollo.** Los métodos y pruebas realizadas, cálculos y modelos matemáticos deben presentarse de forma conveniente para que el lector comprenda el desarrollo de la investigación. Todas las siglas deben aclararse desde su primera aparición en el texto. Evitar el uso de nombres comerciales o del lugar, institución o dependencia donde se realizó la investigación, salvo cuando sea estrictamente necesario.

6. **Discusión y análisis de resultados.** Deben tener una secuencia lógica y describir los resultados de las pruebas o de los modelos aplicados, utilizando tablas o figuras.

7. **Conclusiones.** Deben definir la contribución o innovación de la investigación realizada. Enlazar las conclusiones con el objetivo del estudio, evitando conclusiones no apoyadas por los datos del trabajo. No repetir con detalle los resultados obtenidos en el trabajo.

8. **Bibliografía.** El estilo será acorde a las normas APA. El listado de referencias al final del documento se ordena por apellido del primer autor.

Ejemplos de citas y referencias bibliográficas

Citas Bibliográficas

Las citas biblio-hemerográficas en el texto deben escribirse con el nombre del autor y año de publicación entre paréntesis y separados por una coma, por ejemplo: ...la oferta y la demanda de la mano de obra en expansión (Muñoz, 1979). Si se menciona el nombre del autor, solo se indicará el año entre paréntesis, por ejemplo: ...capital de producción, como sostiene Muñoz (1979).

Si existen dos autores se citan ambos, por ejemplo: ...(Muñoz y Oliveira, 1979) o ...Muñoz y Oliveira (1979). Para más de tres autores se citan todos la primera vez: ...(Muñoz, Oliveira, Tapia, Reyes, 1979) y después solo el apellido del primer autor seguido de la abreviatura et al: ...(Muñoz et al., 1979). Si en un texto existen diversos trabajos de un autor con igual fecha, después del apellido del autor, se agrega el año de la publicación seguido de una letra minúscula para distinguir cada una de sus obras, por ejemplo ...en lo que se ha insistido (Huxley, 1947a) ...es la importancia del desarrollo (Huxley, 1947b).

Referencias Bibliográficas

El formato será acorde al estilo APA (American Psychological Association). El listado de referencias al final del documento se ordena por orden alfabético. Las referencias de libros incluyen apellido del autor y sus iniciales, año de publicación entre paréntesis, título del libro en letra cursiva, lugar de publicación (ciudad, estado, provincia, país), seguido de dos puntos y casa editorial. Ejemplo: Vedeyen, J.T. (1995). *Laser Electronics*. New jersey: Prentice Hall.

Las referencias de artículos publicados en revistas se escriben con el apellido del autor y sus iniciales, año de publicación entre paréntesis, título del artículo, nombre de la revista en letra cursiva, volumen en cursiva, pudiendo incluirse el número de revista en paréntesis y páginas. Ejemplo: Ruiz, C. (1992). Las empresas micro, pequeñas y medianas; crecimiento con innovación tecnológica. *Comercio Exterior*. Vol. 42(2). 163-168.

Para trabajos publicados el mismo año por un solo autor, se usa una letra minúscula (a,b,c) después del año.

Los trabajos deben enviarse a:

temas@mixteco.utm.mx

Alberto Antonio García

Director de la Revista

Revista TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

temas@mixteco.utm.mx

Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Huajuapán de León, Oaxaca. C.P. 69000.

Tels. y Fax: (+52) 953 53 203 99 y 953 53 202 14 Ext. 782



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

latindex