



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Bio-Pots: Innovación de macetas biodegradables, basado en un modelo de negocio en economía circular

Bio-Pots: Innovation in biodegradable pots, based on a business model in a circular economy

Suárez-Colores, Z.P.^a, Barrios-Reyes, I.^a, Alaniz-Lara, G.Y.^a, Dolores-Ruiz, E.^{b*}, Salazar-Gómez, J.F.^c

^a Residentes de la carrera de Ingeniería en Administración. Tecnológico Nacional de México, Campus Tierra Blanca (<https://orcid.org/0009-0005-1600-4545>, <https://orcid.org/0009-0002-7284-7270>, <https://orcid.org/0009-0006-5279-705X>).

^{b*} Docente investigador de la carrera de Ingeniería en Administración. Tecnológico Nacional de México, Campus Tierra Blanca (<https://orcid.org/0000-0003-1089-1284>).

^c Docente investigador de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Tecnológico Nacional de México, Campus Tierra Blanca (<https://orcid.org/0000-0003-0597-7163>).

228n0495@itstb.edu.mx; 228n0456@itstb.edu.mx; 228n0452@itstb.edu.mx; erika.dr@tierrablanca.tecnm.mx*; julio.sg@tierrablanca.tecnm.mx

Innovación tecnológica: Tecnologías de economía circular.

Área de aplicación industrial: Industria de Gestión de Residuos y Compostaje.

Recibido: 24 noviembre 2025

Aceptado: 27 enero 2026

Abstract

The growing environmental problems arising from the use of plastics in horticulture and the proliferation of water hyacinth in bodies of water demand sustainable and innovative alternatives. The aim of this study is to design and assess the feasibility of biodegradable pots made from plant waste such as banana rhizome (*Musa paradisiaca*), cuajilote bark (*Parmentiera aculeata*) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), under the project called Bio-Pots. The research was conducted using an experimental-descriptive approach, which included the collection, processing and mixing of raw materials, as well as tests of mechanical resistance, permeability and degradation time under controlled soil conditions. Preliminary results showed that pots made with a balanced proportion of 40% banana rhizome, 35% water hyacinth, and 25% cuajilote bark achieved a degradation time of 6 to 8 months, which represents an efficient alternative to the 500-year persistence of polypropylene pots. Likewise, resistance tests indicated that the product can support up to 1 kg of weight, sufficient for ornamental crops and agricultural transplants. In terms of permeability, improved substrate drainage was observed without compromising moisture retention. These characteristics make Bio-Pots a product with high potential for application in the nursery,

agricultural, and ornamental industries, offering a solution that combines sustainability, social and solidarity-based circular economy, and the use of invasive species. It is concluded that this innovation not only reduces plastic pollution and the impact of invasive plants, but may also generate economic opportunities for rural communities through the management of plant waste.

Keywords: Biodegradable, Sustainability, Circular economy, Social and solidarity economy, Innovation.

Resumen

La creciente problemática ambiental derivada del uso de plásticos en la horticultura y la proliferación del lirio acuático en cuerpos de agua demanda alternativas sostenibles e innovadoras. El presente estudio tiene como objetivo diseñar y evaluar la viabilidad de macetas degradables elaboradas a partir de residuos vegetales como rizoma de plátano (*Musa paradisiaca*), corteza de cuajilote (*Parmentiera aculeata*) y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), bajo el proyecto denominado Bio-Pots. La investigación se desarrolló mediante un enfoque experimental-descriptivo, que incluyó la recolección, procesamiento y mezcla de las materias primas, así como pruebas de resistencia mecánica, permeabilidad y tiempo de degradación en suelo controlado. Los resultados preliminares mostraron que las macetas elaboradas con una proporción equilibrada de 40% rizoma de plátano, 35% lirio acuático y 25% corteza de cuajilote alcanzaron un tiempo de degradación de 6 a 8 meses, lo que representa una alternativa eficiente frente a los 500 años de persistencia de las macetas de polipropileno. Asimismo, las pruebas de resistencia indicaron que el producto soporta hasta 1 kg de peso, suficiente para cultivos ornamentales y de trasplante agrícola. En términos de permeabilidad, se observó un mejor drenaje del sustrato sin comprometer la retención de humedad. Estas características convierten a Bio-Pots en un producto con alto potencial de aplicación en la industria viverista, agrícola y ornamental, ofreciendo una solución que une sostenibilidad, economía circular social y solidaria, aprovechamiento de especies invasoras. Se concluye que la innovación no solo reduce la contaminación plástica y el impacto de plantas invasoras, sino que también puede generar oportunidades económicas para comunidades rurales mediante la gestión de residuos vegetales.

Palabras clave: Degradables, Economía circular, Economía social y solidaria, Innovación, Sostenibilidad.

Introducción

La contaminación ambiental es uno de los desafíos más urgentes a escala global, con repercusiones directas sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Palacios y Moreno, 2022). Dentro de sus múltiples expresiones, la contaminación por plásticos sobresale por su persistencia, acumulación y capacidad de generar impactos prolongados en el tiempo.

En los ambientes marinos, la magnitud del problema se ha documentado con claridad: ejemplo de ello, en la Isla de Cozumel (Caribe mexicano), se ha reportado que el 94% de los desechos superficiales y el 97.8% de los enterrados en playas, corresponden a plásticos (Manzilla et al., 2024). Situación que se agrava con la presencia de micro plásticos (MP), considerados contaminantes emergentes cuyos efectos en los suelos, el

agua y la biodiversidad aún se encuentran en fase de exploración científica (Casso et al., 2022).

En el ámbito agrícola y hortícola, la dependencia del uso de macetas plásticas desechables amplifica la crisis ambiental. Estos productos, diseñados para un ciclo de vida breve, persisten en el medio ambiente durante décadas, fragmentándose en microplásticos que alteran las propiedades del suelo y afectan la microbiota edáfica (Wang et al., 2023). Frente a este panorama, la búsqueda de alternativas biodegradables elaboradas a partir de recursos renovables se perfila como una línea prioritaria de innovación y sostenibilidad (Teixeira et al., 2023).

En los desafíos ambientales actuales, dos crisis aparentemente desconectadas convergen de manera silenciosa pero devastadora. Por un lado, la horticultura global depende en gran medida de un producto aparentemente inocuo: la maceta de plástico. Fabricadas con polipropileno, estas pueden tardar hasta 500 años en descomponerse, fragmentándose en microplásticos que contaminan suelos y alcanzan los acuíferos (Wang et al., 2023).

Cada temporada de siembra, millones de estas macetas se descartan, generando una montaña de desechos que el planeta no puede digerir. Este modelo lineal de “usar y tirar” choca frontalmente con los principios de la sostenibilidad, exigiendo una transición urgente hacia materiales que completen su ciclo de vida en armonía con la naturaleza (Hofmann et al., 2023).

Los cuerpos de agua sufren una asfixia progresiva, por la eutrofización, resultado del exceso de nutrientes provenientes de la agricultura y las aguas residuales, ha convertido ríos y lagos en incubadoras de biomasa (Yanez et al., 2022). Aquí, el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) encuentra su

oportunidad. Que forma tapetes tan densos que impiden el paso de la luz solar y al descomponerse, consumen el oxígeno disuelto hasta generar zonas muertas donde la vida acuática no puede prosperar (Lakane et al., 2023). Que es un colapso ecológico que afecta la biodiversidad, el acceso al agua y los medios de vida de las comunidades ribereñas (Drexler et al., 2024).

La gestión convencional de esta masa por métodos como el retiro mecánico es costosa y de eficacia limitada, además de que la disposición inadecuada del material extraído genera nuevos impactos ambientales (Macêdo et al., 2024). Ante esta problemática, la biorrefinería ofrece un marco estratégico para convertir pasivos ambientales en recursos valiosos, al integrar dimensiones técnicas, sociales y económicas en soluciones sostenibles (Peña y López., 2020).

En diversos estudios hay evidencia del potencial de las fibras naturales para el desarrollo de materiales biodegradables. Por ejemplo, Iglesias et al. (2023) evaluaron especies invasoras en la fabricación de productos celulósicos, mientras que Yamini et al. (2023) caracterizaron propiedades mecánicas de fibras naturales en las composites. El lirio acuático es una materia prima atractiva por su alto contenido de celulosa y hemicelulosa (Öztep et al., 2023). Propiedades que se complementan con otros residuos agrícolas de la región, como el rizoma de plátano, con alta capacidad de retención hídrica, y la corteza de cuajilote (*Parmentiera aculeata*), reconocida por sus compuestos de carácter adhesivo (Serna et al., 2023).

En este contexto surge Bio-Pots, un proyecto experimental que propone la elaboración de macetas degradables a partir de una mezcla de estos materiales. La investigación integra metodologías de evaluación de

biodegradabilidad. Asimismo, se incorporan técnicas gravimétricas para analizar la absorción de agua y estudios de cinética de degradación, con el fin de evaluar el desempeño estático y dinámico de las macetas a lo largo de un ciclo de cultivo completo.

No solo se trata de la creación de macetas, sino de la integración de dos recursos naturales abundantes, más allá de ser una solución ecológica, Bio-Pots representa una nueva opción de entender la relación entre el diseño sustentable y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, fomentando la economía circular.

Las fibras de lirio, a menudo consideradas maleza invasora y los rizomas de plátano, subproducto agrícola comúnmente desaprovechado, se integran como materias primas, dándoles un nuevo valor dentro de una cadena de producción amigable con el entorno.

No solo busca reducir el impacto ambiental negativo que se asocia al uso de plásticos, sino también aportar beneficios directos al crecimiento de las plantas. Las macetas Bio-Pots) están diseñadas para ser sembradas directamente en la tierra sin necesidad de trasplante, ya que, al entrar en contacto con el suelo, comienzan su proceso de descomposición natural. Durante este proceso, liberan nutrientes que enriquecen la tierra, actuando como abono orgánico y favoreciendo el desarrollo saludable de las plantas.

La trascendencia de este trabajo va más allá del plano técnico, pues se inserta en un modelo de economía circular que transforma problemáticas ambientales en oportunidades de desarrollo local. De este modo, Bio-Pots busca ofrecer una alternativa real a las macetas plásticas, al mismo tiempo que promueve la valorización de biomásas

acuáticas y agrícolas subutilizadas, que contribuye tanto a la reducción de la contaminación plástica como al manejo sostenible de especies invasoras.

Metodología

La metodología que se utilizó es cuantitativa (Kotronoulas y Papadopoulou, 2023), de tipo experimental (Pérez et al., 2025), longitudinal (Daza et al., 2003). El procedimiento tiene las siguientes fases que asegura una ejecución sistemática y organizada del proyecto:

Fase 1: Acopio y preparación de materiales para el desarrollo del producto.

Se realizó la recolección de rizomas de plátano (*Musa paradisiaca*), cuajilote (*Parmentiera aculeata*) y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la localidad. Concluida esta actividad, los materiales fueron sometidos a limpieza manual y mecánica con la finalidad de eliminar impurezas. El secado se efectuó de manera natural (exposición solar) o asistida (horno de convección) según condiciones climáticas. Al fin, se efectuó el triturado hasta obtener partículas finas y homogéneas.

Fase 2: Formulación y pruebas de mezcla.

Se desarrollaron tres formulaciones experimentales de los materiales seleccionados, incorporando aglutinantes naturales. Cada mezcla fue evaluada en cuanto a textura, cohesión y moldeabilidad, con la finalidad de comprobar su idoneidad para el moldeo y la resistencia estructural del producto final.

Fase 3: Fabricación de prototipos.

Para el desarrollo de los prototipos de macetas, pasaron por un proceso de moldeo manual y mediante presión ejercida en moldes reutilizables. Subsiguientemente, se sometieron a un proceso de secado y curado durante varios días bajo condiciones ambientales controladas, con la finalidad de

garantizar su estabilidad física y evitar deformaciones para obtener un producto competitivo.

Fase 4: Evaluación de prototipos.

Una vez concluida la fase 3, se procedió a realizar pruebas de resistencia física (peso, presión y caída), aunado a pruebas de biodegradabilidad, a través del entierro parcial en tierra húmeda durante un período específico. Además de evaluar su impacto en el crecimiento de plantas en paralelo con macetas plásticas convencionales. Adicionalmente, se realizaron encuestas de aceptación a consumidores y viveristas locales para medir la percepción de funcionalidad, estética y sostenibilidad del producto.

Fase 5: Análisis y documentación.

Con base en las etapas anteriores, los resultados se sistematizaron mediante registros fotográficos, tablas comparativas y análisis estadísticos descriptivos e inferenciales. Con base en ello, se definieron las mezclas y procesos con mayor viabilidad técnica y económica.

Fase 6. Evaluación económica del producto.

Se realizó un análisis de costos de producción, contemplando materiales, procesos, mano de obra y durabilidad, para estimar la rentabilidad y factibilidad comercial de la propuesta como alternativa sostenible frente a productos plásticos tradicionales.

Resultados.

Durante la fase experimental se prepararon tres formulaciones distintas de macetas biodegradables con materiales vegetales locales: rizoma de plátano, corteza de cuajilote y lirio acuático. Cada materia prima fue secada en horno entre 100 y 150 °C durante 2 horas con 11 minutos, asegurando la eliminación de humedad y mejorando la molienda posterior. Después del secado, los materiales fueron triturados hasta obtener una harina vegetal uniforme. Inicialmente se consideró utilizar el jugo del rizoma como adhesivo natural, pero al no poseer las características de viscosidad necesarias, se decidió complementar con goma xantana, un polímero natural que mejora la cohesión y plasticidad de la mezcla. Las proporciones utilizadas se definieron con base en el diseño preliminar, considerando las propiedades de las fibras y la viabilidad de las mezclas, estas se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de las formulaciones.

Fórmula	Harina de Rizoma (g)	Harina de Cuajilote (g)	Harina de Lirio (g)	Agua de Rizoma (mL)	Goma Xantana (g)
F1	30	15	5	130	5
F2	35	10	5	90	4
F3	40	5	5	120	4

Fuente: Elaboración propia.

Cada mezcla se homogeneizó durante al menos 10 minutos para asegurar una distribución uniforme de las partículas y del aglutinante. Se buscó obtener una masa firme, maleable y libre de aire. Posteriormente, se evaluó la moldeabilidad, cohesión y

apariencia tras el secado, determinando cuál presentaba mejor comportamiento estructural y estético (Figura 1). La fórmula F1, con una relación equilibrada entre los tres componentes, mostró ser la más estable y funcional.



Figura 1. Mezclado de las diferentes formulaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Moldeo y secado de prototipos

Las mezclas se vertieron en moldes reutilizables de diámetros 6, 10 y 15 cm. Se aplicó presión manual uniforme para eliminar burbujas de aire y garantizar una compactación adecuada (figura 3). Los moldes se recubrieron con una película plástica para evitar la adherencia de las piezas al desmoldear. El secado se realizó en dos etapas: inicialmente las macetas permanecieron 4 a 5 días a temperatura ambiente (25–30 °C), permitiendo la evaporación gradual del exceso de agua, sin

presentar deformaciones, grietas o contracciones bruscas, este período de tiempo se determinó con base en pruebas preliminares. Posteriormente las macetas fueron sometidas en horno de convección a 60 °C por 24 horas para obtener una estructura firme y estable, esto permitió la eliminación de la humedad residual teniendo como resultado una estructura firme y estable. Este proceso combidado de tiempo y temperatura obedece a la necesidad de equilibrio en la reducción controlada de la humedad, estabilidad estructural y eficiencia operativa del proceso.



Figura 2. Secado y desmolde las macetas.

Fuente: propia. Imágenes obtenidas del proceso de elaboración.

Una vez obtenidos los prototipos, se sometieron a una serie de pruebas para evaluar su comportamiento físico, mecánico y biológico. Las pruebas incluyeron resistencia a la compresión, absorción de

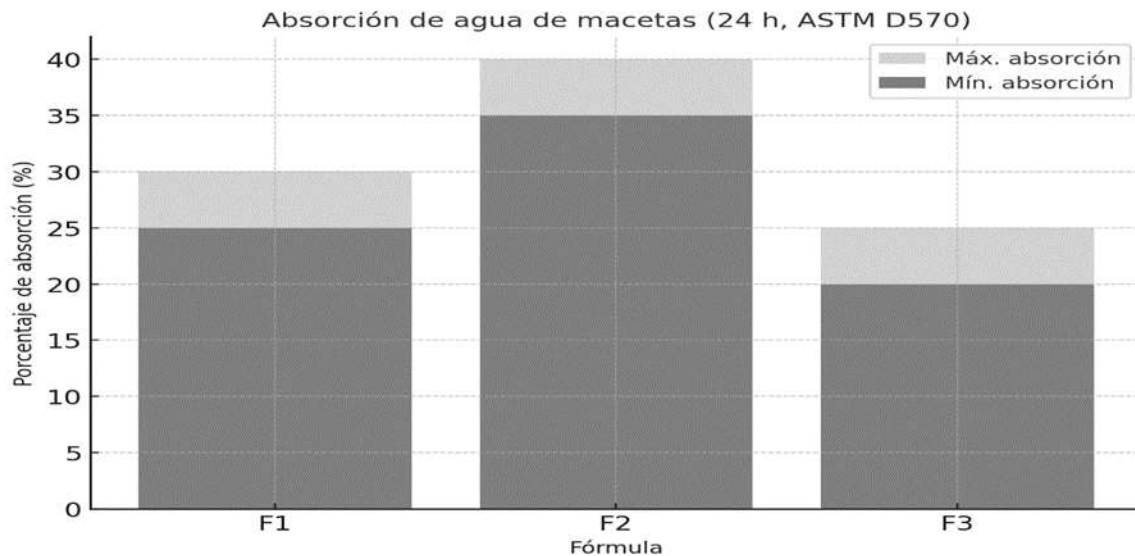
agua, biodegradación en suelo, desempeño vegetal y compatibilidad con sistemas de riego por goteo. Cada prueba se realizó tres veces ($n = 3$) expresándose los resultados como promedio \pm desviación estándar.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de resistencia mecánica/ compresión.

Fórmula	Descripción del resultado	Rango de resistencia (kg)	Observación
F1	La maceta soportó una carga progresiva entre 0.9 y 1.1 kg antes de presentar deformación.	0.9 – 1.1	Muestra una excelente cohesión estructural y alta rigidez.
F2	Resistió entre 0.7 y 0.8 kg; se observó ligera flexibilidad, atribuida al mayor contenido de rizoma.	0.7 – 0.8	Presenta buena resistencia, sin embargo presentó menor rigidez que F1.
F3	Soportó entre 0.6 y 0.7 kg, con una estructura más porosa y ligera.	0.6 – 0.7	Muestra menor resistencia mecánica en comparación con las otras formulaciones.

Con base en las pruebas de carga progresiva aplicada en la parte superior de las macetas consistió observar diferencias significativas en la resistencia entre las formulaciones (tabla 2). Esto significa que la presencia del

cuajilote en la mezcla incrementa la rigidez y cohesión estructural del material, debido a su alto contenido de fibras lignocelulósicas, las cuales mejoran la integridad mecánica del prototipo.

**Figura 3.** Comparativa de absorción de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo una metodología similar a la norma ASTM D570, la cual describe el método estándar para determinar la absorción de agua en materiales. Por lo tanto, las macetas se sumergieron completamente en agua durante 24 horas a temperatura ambiente. La fórmula F1 presentó una absorción del 25–30 %, manteniendo su forma y estructura. F2 alcanzó un 35–40 %,

lo que indica una mayor capacidad de retención de agua, pero también mayor riesgo de deformación. F3 absorbió entre 20–25 %, demostrando menor retención hídrica pero mejor drenaje (figura 3). El comportamiento equilibrado de F1 la convierte en la más adecuada para el uso agrícola, permitiendo humedad estable sin ablandamiento.

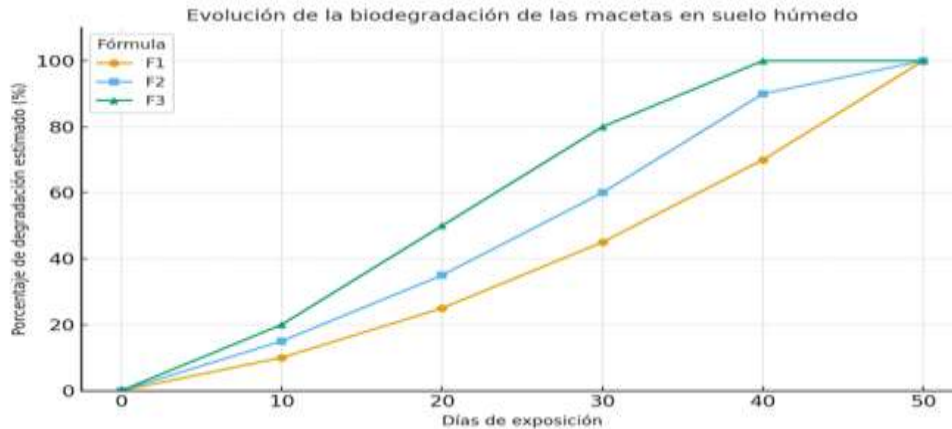


Figura 4. Evolución de la biodegradación de las 3 formulaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la degradación natural, las macetas se enterraron parcialmente en suelo húmedo con humedad controlada (60–70 % de capacidad de campo). Durante las primeras dos semanas se observó ablandamiento superficial; a los 20–25 días comenzó la desintegración parcial de las paredes. Alrededor del día 40, las macetas F3 mostraron una pérdida estructural casi

completa, mientras que F1 conservó integridad suficiente hasta los 50 días (figura 4). Estos resultados demuestran que la biodegradación ocurre de manera progresiva, permitiendo que la maceta cumpla su función durante el ciclo de cultivo y luego se integre completamente al suelo sin dejar residuos contaminantes manteniendo un equilibrio entre la resistencia y biodegradabilidad.

Tabla 3. Comparativa de crecimiento de las plántulas de acuerdo con el tipo de maceta.

Formulación	Observaciones durante el crecimiento	Condición del sustrato	Resultado final (30 días)
F1	Crecimiento continuo, raíces blancas y saludables.	Humedad adecuada.	Altura promedio equivalente al 95% del control plástico. Existe alta compatibilidad con el desarrollo vegetal.
F2	Crecimiento normal con leves signos de exceso de humedad en la base.	Leve exceso de humedad.	Existe un desarrollo ligeramente inferior al control; posible ajuste de drenaje recomendado.
F3	Crecimiento estable, con tendencia del sustrato a secarse más rápido.	Sustrato seco con mayor frecuencia.	Existe un desarrollo menor al control debido a rápida pérdida de humedad.
Control (maceta plástica)	Crecimiento óptimo, sin alteraciones visibles.	Humedad controlada y estable.	Referencia del 100% del crecimiento promedio.

Fuente: Elaboración propia.

Se sembraron plántulas en cada formulación y se comparó su desarrollo con un control en maceta plástica. Las plántulas en F1 mostraron un crecimiento constante, raíces blancas y saludables, y una humedad adecuada en el sustrato. En F2 se observó un leve exceso de humedad cerca de la base,

mientras que en F3 el sustrato tendía a secarse más rápido. Después de 30 días de observación, las plantas en F1 alcanzaron una altura promedio equivalente al 95% del control plástico, demostrando que las Bio-Pots son compatibles con el desarrollo vegetal (Tabla 3).

Tabla 4. Tabla comparativa de las macetas aplicando riego por goteo.

Formulación	Comportamiento estructural durante el riego por goteo	Drenaje y retención hídrica	Conclusión específica
F1	Mantuvo su forma estructural durante los 14 días; ligera suavización superficial.	Buena retención de humedad con drenaje equilibrado.	Muestra el mejor equilibrio entre retención hídrica y estabilidad estructural.
F2	Ablandamiento en la base tras varios días de riego continuo.	Retención de agua ligeramente excesiva.	Requiere ajustes: mejorar la resistencia en condiciones de humedad prolongada.
F3	Conservó excelente drenaje sin fisuras ni deformaciones.	Drenaje rápido, menor retención hídrica.	Ofrece alta permeabilidad, pero puede secarse más rápido.
Conclusión general	Todas las formulaciones resistieron el sistema de riego por goteo.	—	Las tres son compatibles con riego por goteo, destacando F1 como la más balanceada.

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de simular condiciones reales de vivero, las macetas se sometieron a riego por goteo continuo durante 14 días, con una tasa de 4 L/h por 30 minutos diarios (tabla 4). La fórmula F1 mantuvo su forma estructural durante todo el ensayo, presentando únicamente una ligera suavización superficial. F2 mostró ablandamiento en la

base tras varios días de riego constante, mientras que F3 conservó excelente drenaje sin fisuras. Se concluye que las tres formulaciones son compatibles con sistemas de riego por goteo, siendo F1 la que ofrece el mejor equilibrio entre retención hídrica y estabilidad.

Tabla 5. Análisis estadístico ANOVA.

Variable	Suma de cuadrados	GL	F	Significancia (p)
Resistencia mecánica	0.042	2	5.87	0.03
Absorción de agua	68.4	2	7.91	0.02
Biodegradación	14.1	2	4.23	0.04

+ Los resultados fueron estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Cada prueba se realizó por triplicado ($n = 3$) para garantizar la confiabilidad de los resultados. Los datos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA con un nivel de significancia del 5%, confirmando diferencias significativas entre las

formulaciones en resistencia mecánica y absorción de agua. El promedio y la desviación estándar de cada ensayo permitieron establecer conclusiones precisas sobre el comportamiento de las mezclas (tabla 5).

Tabla 6. Resultados experimentales y análisis comparativo de Bio-Pots.

Sección / Aspecto evaluado	Descripción de resultados principales	Interpretación técnica
Propiedades físicas y mecánicas	F1 presentó una resistencia promedio de 1.0 kg y absorción de agua de 25–30 %, adecuada para viveros. F2 y F3 mostraron valores menores.	El equilibrio entre rizoma, cuajilote y lirio determina la resistencia estructural del biocompuesto.
Biodegradabilidad en suelo	La descomposición inició a los 14 días; pérdida de forma y color al día 25; desintegración casi completa entre 40 y 50 días.	La biodegradación controlada permite mantener funcionalidad durante el cultivo y posterior incorporación al suelo.
Desempeño vegetal	Plántulas en Bio-Pots F1 mostraron crecimiento uniforme y vigoroso, similar al control plástico. Las raíces atravesaron las paredes sin dificultad.	La aireación y retención hídrica equilibradas favorecen el desarrollo vegetal y el trasplante directo sin daño radicular.

Fuente: Elaboración propia.

Las macetas elaboradas con la fórmula F1 mostraron una resistencia promedio de 1.0 kg y una absorción de agua de 25–30 %, lo cual las hace adecuadas para el manejo en viveros y trasplantes. F2 y F3 mostraron propiedades ligeramente inferiores, confirmando que el equilibrio entre rizoma, cuajilote y lirio influye directamente en la resistencia. Los resultados concuerdan con estudios de Elashry et al., (2025), quienes reportaron mejoras similares en biocompuestos vegetales reforzados. La descomposición inició a partir de la segunda semana de entierro parcial, con pérdida de forma y color visible al día 25. Entre los días 40 y 50 se observó la desintegración casi completa de las paredes (tabla 6). La biodegradación

controlada garantiza que las macetas mantengan funcionalidad durante el cultivo y luego se integren al suelo, aportando materia orgánica. Este comportamiento es comparable con los resultados obtenidos por Harahap et al. (2025) en biocompuestos agrícolas biodegradables.

Las plántulas cultivadas en Bio-Pots F1 mostraron desarrollo uniforme y vigoroso, con tasas de crecimiento y masa equivalentes a las observadas en macetas plásticas. Las raíces atravesaron las paredes sin dificultad, lo que facilita el trasplante directo sin daño radicular. La adecuada aireación y retención de humedad permitieron un entorno favorable para el crecimiento vegetal.

Tabla 6. Evaluación de mercado, económica y sostenibilidad artesanal del proyecto.

Aspecto / Categoría	Detalle / Descripción	Indicador / Dato	Valor / Resultado	Interpretación / Valoración
Tipo y modelo de empresa	MIPYME artesanal ecológica / Economía circular y solidaria	-	Producción local y manual / Reutiliza residuos vegetales	Sostenible / Circular
Producto segmento	Macetas biodegradables (Bio-Pots) / Mercado objetivo	Especies: lirio, cuajilote, rizoma, goma xatan / % estimado	Producción natural / 70 % viveros, 30 % retail	Natural / En crecimiento
Costos producción	Materias primas + mano de obra + energía / Producción anual	MXN / unidades	\$75,700 mensuales, \$908,400 anuales / 200,000 unidades	Controlado / Eficiente
Costos y precios unitarios	Costo y precio por unidad / Utilidad unitaria	MXN	\$4.50 costo / \$6.50 precio / \$2.00 utilidad	Competitivo / Aceptado / Rentable

Aspecto / Categoría	Detalle / Descripción	Indicador / Dato	Valor / Resultado	Interpretación / Valoración
Rentabilidad anual y margen	Utilidad anual / Margen de rentabilidad	MXN / %	\$400,000 / 30–35 %	Positiva / Alto
Punto de equilibrio retorno	Volumen para cubrir costos / Recuperación inversión	unidades / meses	136,000 / 20	Alcanzable / Factible
Rentabilidad proyectada	TIR (3 años)	%	32%	Viable
Impacto ambiental social	Reducción de residuos plásticos / Empleos generados	t/año / personas	2 toneladas aprox. / 6 directos + 10 indirectos	Muy alto / Inclusivo
Impacto económico ODS	Mejora ingresos comunitarios / ODS vinculados	% / -	+25% / 8, 12, 13	Positivo / Alineado
Sostenibilidad escalabilidad	Ambiental / Viabilidad económica / Rentabilidad social / Escalabilidad	-	Alta / Alta / Alta / Media (cooperativa)	Excelente / Positiva / Solidaria / Adaptable
Riesgo financiero	Dependencia de insumos externos	-	Bajo	Controlado

Fuente: Elaboración propia.

Con base en el análisis financiero de Bio-Pots, una Micro, pequeña y mediana empresa (MiPyMe) ecológica, circular y solidaria, que opera bajo principios de sostenibilidad ambiental, economía circular priorizando la reutilización a través de un proceso artesanal dedicada a la producción de macetas biodegradables, muestra una rentabilidad sólida y sostenible. Esto se reflejó al presentar un margen neto del 30.8%, con una utilidad de \$2.00 MXN por cada maceta vendida. Este margen refleja una estructura de costos eficiente, que facilita que la operación sea competitiva en el mercado sin afectar la calidad del producto. Si se proyecta una rentabilidad anual de \$400,000 MXN con un margen del 30–35 %, se comprueba que el modelo de negocio es financieramente viable y capaz de generar beneficios constantes.

Con relación al punto de equilibrio se ubica en 136,000 unidades, mientras que la producción anual estimada es de 200,000 unidades, indica que la empresa supera con holgura el volumen necesario para cubrir costos, minimizando el riesgo financiero y

asegurando beneficios desde etapas anticipadas de operación. Se recupera la inversión en 20 meses, al proporcionar una eficiencia en la gestión del capital y liquidez del proyecto. Aunado a una tasa de retorno (TIR) del 32% estimada a tres años. Se visualiza una gestión de costos controlada, que sugiere vigilancia para hacer frente a posibles fluctuaciones, al demostrar un riesgo financiero mínimo.

En conjunto, los indicadores financieros de Bio-Pots evidencian que el modelo de negocio no solo es rentable, sino que se caracteriza por ser escalable y sostenible, alineando a los objetivos económicos con impactos sociales y ambientales positivos. La proyección demuestra que la integración de criterios de economía circular y producción artesanal puede generar beneficios financieros sólidos sin comprometer la sostenibilidad, ofreciendo un ejemplo de cómo las MiPyMes pueden combinar rentabilidad, responsabilidad social y cuidado ambiental.

Análisis y discusiones

El estudio muestra una innovación relevante con relación al uso de macetas convencionales, al proponer un producto totalmente sustentable, amigable con el medio ambiente y a un precio accesible, que permite generar un modelo de negocio sostenible.

El mercado nacional e internacional proporciona una amplia variedad de macetas y semilleros biodegradables elaborados a partir de diversas fibras naturales. En México destacan marcas como Agrorrganicos, Suculentas Dzityá, Agroguza y Hortaflor, con precios que oscilan entre los \$8 MXN por unidad (en productos de fibra de madera o turba) hasta paquetes más grandes de \$400–700 MXN, según volumen y tamaño. En el ámbito internacional dominan empresas como Fertil Pot, DocuPots, Biodegradable-Pots, Jiffy, Kokopelli, Compostify y Blüm, que utilizan materiales como fibra de coco, jute, celulosa, pulpa vegetal o turba. Según el fabricante, tamaño y cantidad, los precios importados pueden variar desde alrededor de \$39 MXN por maceta individual hasta \$600 MXN o más por paquetes de más de 100 piezas. Estas macetas tienen tiempos de biodegradación que oscilan entre 3 y 4 meses. En contraste, la propuesta desarrollada en este estudio incorpora fibras alternativas provenientes de lirio acuático, cuajilote y rizoma de plátano, alcanzando un costo aproximado de \$6.50 MXN por unidad, representando una alternativa accesible para el consumidor sin comprometer la funcionalidad del producto.

Autores como (Zwawi, 2021; Ahmed et al., 2025) probaron que la incorporación de fibras naturales contribuye a una mejor cohesión estructural, al aumentar la rigidez y la resistencia. Esto se logró comprobar con la formulación F1 que logró alcanzar una resistencia y compresión efectiva en el

desarrollo de macetas biodegradables. Se destaca el hallazgo que al incorporar de una mayor proporción de fibras naturales favorece la rigidez y resistencia mecánica en el producto propuesto.

Con relación a la absorción de agua, los hallazgos destacan que la formulación F1, logró un balance positivo entre retención hídrica y estabilidad estructural. Comparativamente los trabajos desarrollados por (Anirudh et al., 2021) y (Mohammed et al., 2023) y mostraron absorciones de ~41 % y ~15 - 17, respectivamente, De este modo, las formulaciones F1 y F3 de este estudio muestran valores de absorción menores, lo que indica buena impermeabilidad relativa.

La literatura científica también previene que altos niveles de absorción de agua pueden arriesgar las propiedades mecánicas con el tiempo, al considerar que las fibras naturales son hidrófilas y ocasionan hinchamiento, microfisuras o deterioro de la interfase fibra-matriz (Nurazzi et al., 2021; Ahmed et al., 2025). Por lo tanto, con base en los resultados de estos autores se visualiza la necesidad de desarrollar ensayos enfocados en la durabilidad bajo ciclos húmedo-seco y de envejecimiento hidrotérmico, con la meta de evaluar el comportamiento a futuro.

El ensayo de biodegradación de Bio-Pots indica que la formulación F3 se desintegró casi por completo alrededor del día 40. Mientras que F1 mantuvo integridad estructural hasta aproximadamente el día 50 bajo condiciones de enterramiento parcial en suelo húmedo (60-70 % de capacidad de campo). Bio-Pots es estable durante el cultivo, degradándose después de cumplir su labor con un equilibrio funcional.

Estudios comparables señalan que en residuos vegetales alcanzan degradaciones de 82% en 60 días (Elfaleh et al., 2023), lo cual depende de la composición, porosidad,

adhesión fibra-matriz y ambiente microbiológico (Syduzzaman et al., 2020). Además, se ha comprobado que la existencia de raíces activas y microbiota en la rizosfera acelera la biodegradación de materiales lignocelulósicos (Behera et al., 2021).

En este sentido, la formulación F1 sostiene un buen desempeño para usos de vivero, sin embargo para aplicaciones con ciclos de cultivo más largos podría requerirse una mayor vida útil antes de desintegrarse, o bien ajustar la formulación para prolongar la integridad. Por ello es necesario cuantificar la pérdida de masa residual y confrontarla con estándares de biodegradabilidad reconocidos (ASTM D5988 o ISO 14855) para lograr una medida cuantitativa estándar (Syduzzaman et al., 2020).

Con base en el ensayo de plántulas sembradas en la maceta (con la formulación F1) alcanzaron aproximadamente el 95% de la altura promedio de las macetas plásticas de control al cabo de 30 días, con raíces blancas y saludables y humedad adecuada. En contraste, F2 mostró exceso de humedad en la base y F3 presentó un sustrato que tendía a secarse con mayor rapidez, lo que afectó el crecimiento confirmando, para Bio-Pots, no solo se atribuyen propiedades mecánicas, sino también la retención hídrica/drenaje, permeabilidad, y que las raíces puedan atravesar la pared de la maceta sin complicaciones (Elfaleh et al., 2023).

Por lo tanto, el crecimiento en F1 al ser cercano al del control propone que la maceta biodegradable no inhibe el desarrollo inicial de la plántula y favorece potencialmente el trasplante directo sin impacto negativo radicular. Coincidiendo con Pratibha et al., (2024) quienes consideran que los criterios clave para estos contenedores son favorecer la transición al suelo sin generar barrera para las raíces.

Se considera que la formulación F1 muestra características de resistencia mecánica relevante, de absorción moderada de agua, degradabilidad controlada y compatibilidad vegetal (Zwawi et al., 2021; Manafi., 2022). Por lo que se propone como una opción viable frente a la competencia de macetas plásticas tradicionales, aunado a la tendencia hacia biocomposites sostenibles y economía circular en horticultura.

Dentro de las áreas de oportunidad que se atenderán en corto plazo por parte de Bio-Pots se encuentra la realización de pruebas en Kg de carga, con la finalidad de lograr comparaciones directas con estudios que reportan tensiones de 20-30 MPa o más (Behera et al., 2021; Syduzzaman et al., 2020).

Es necesario aplicar tratamientos de superficie de fibras (mercerización, salinización) para compararlos con estudios como los de (Akindoyo et al., 2019; Fuentes et al., 2023) que han demostrado mejoras significativamente la adhesión fibra-matriz, reduciendo la absorción de agua y aumentando la resistencia mecánica. Aunado a el ensayo de absorción de agua que se limitó a 24 h de inmersión; faltando evaluaciones de los efectos de envejecimiento o ciclos repetidos de humedad, siendo importante ya que pueden evolucionar mecánicamente bajo estas condiciones (Nurazzi et al., 2021).

Como parte de la sostenibilidad ambiental del producto se debe realizar un análisis de ciclo de vida (LCA) o huella ambiental para compararlo explícitamente con macetas plásticas u otras alternativas biodegradables (Volk et al., 2024). Además de escalar el estudio hacia producción piloto y ensayo de campo en viveros comerciales, con evaluación económica real, logística de producción, durabilidad en condiciones reales de vivero y trasplante al suelo, para

determinar el comportamiento del producto en campo y económicamente.

En general, al realizar la comparación con estudios de Anirudh et al. (2024) y Elashry et al. (2025), el uso de materiales locales como rizoma de plátano, lirio acuático y corteza de cuajilote ofrece una alternativa sustentable y de bajo costo frente a los biocompuestos industriales. El trabajo demuestra que es posible obtener macetas biodegradables con propiedades físicas adecuadas sin necesidad de polímeros sintéticos. Además, el aprovechamiento de residuos vegetales locales reduce la contaminación, promueve la economía circular y contribuye al manejo ambiental responsable.

Conclusión

La formulación F1 de macetas biodegradables, con base en harina de rizoma de plátano, harina de corteza de cuajilote y harina de lirio acuático, aglutinadas con goma xantana, mostró un desempeño sobresaliente en términos de resistencia estructural, absorción de agua moderada, degradabilidad controlada y compatibilidad vegetal. Al contrastarse con la literatura reciente sobre biocomposites para viveros y contenedores biodegradables (Behera et al., 2021; Darma et al., 2022; Zwawi et al., 2021), se observa que los valores obtenidos están en un rango competitivo y aportan evidencia de viabilidad técnica. Aun así, para alcanzar un desempeño mecánico más alto, reducir absorción de agua al nivel de los mejores estudios y asegurar una aplicación comercial escalable, es necesario avanzar en tratamiento de fibras, estandarización de métodos, durabilidad a largo plazo y análisis de ciclo de vida.

El estudio demuestra la viabilidad técnica, económica y ambiental de producir macetas biodegradables a través de la utilización de materiales vegetales locales —lirio acuático,

rizoma de plátano y corteza de cuajilote— presentándose como una alternativa sustentable y a un costo inferior con relación a los contenedores plásticos y las macetas biodegradables industriales que oferta el mercado.

Entre las formulaciones evaluadas, F1 se destacó por integrar un equilibrio sobresaliente entre resistencia mecánica, absorción moderada de agua, estabilidad estructural durante el ciclo de cultivo y una degradación controlada posterior a su uso. Coincidiendo con la literatura científica actual, que destaca el papel de las fibras naturales en la mejora de la cohesión y rigidez de biocompuestos hortícolas.

De igual manera, la coincidencia vegetal observada en F1, con un crecimiento del 95% respecto al control plástico, demuestra que el material no impide el desarrollo inicial de la plántula y posibilita el trasplante directo sin afectar la integridad radicular. Con relación a la parte económica, el costo de \$6.50 MXN por unidad coloca a Bio-Pots como una opción competitiva en comparación con productos nacionales e internacionales, con potencial dentro de los modelos de negocio con base en la economía circular y sostenibilidad.

Los hallazgos más importantes del estudio incluyen: la identificación de F1 como formulación óptima. La demostración de que fibras locales permiten fabricar macetas sin necesidad de polímeros sintéticos. Evidencia de un comportamiento de biodegradación comparable con biocompuestos lignocelulósicos reportados en la literatura. Valorización de residuos vegetales con potencial para reducir impactos ambientales. Por último, viabilidad económica del producto en mercados emergentes.

Se identifican áreas de oportunidad orientadas a fortalecer el desarrollo de Bio-

Pots, tales como la realización de ensayos mecánicos en kilogramos de carga, pruebas de envejecimiento bajo ciclos húmedo-seco, evaluación de tratamientos de superficie para mejorar la adhesión fibra-matriz y la ejecución de un análisis de ciclo de vida (LCA). En conjunto, los resultados consolidan a Bio-Pots como una innovación importante para la horticultura sostenible y como un insumo potencialmente escalable en contextos productivos reales.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México, campus Tierra Blanca, por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Referencias

- Agarwal, B., Bañares-Cañizares, R., Saliba, F., Ballester, M.P., Rodica-Tomescu, D., Martín, D., Stadlbauer, V., Wright, G., Sheikh, M., Morgan, C., Alzola, C., Lavin, P., Green, D., Kumar, R., Sacleux, S.C., Schlcher, G., Koball, S., Tudor, A, Minten, J., Domenech, G y Jalan, R. (2023). Randomized, controlled clinical trial of the DIALIVE liver dialysis device versus standard of care in patients with acute-on- chronic liver failure. *Journal of hepatology*. 79. 79-92.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37268222/>
- Akindoyo, J. O., Beg, M. D. H., Ghazali, S., Heim, H. P., Feldmann, M., & Mariatti, M. (2019). Oxidative induction and performance of oil palm fiber reinforced polypropylene composites — effects of coupling agent and UV stabilizer. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 125, 105577.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105577>
- Anirudh, M.K., Nandhu-Lal, A.M., Harikrishnan, M.P., Jose, J., Thasim, J., Warriar, A.s., Venkatesh, R., Prakash-Vaddevolu, U.B., Kothakota, A. (2024). Sustainable seedling pots: Development and characterisation of banana waste and natural fibre-reinforced composites for horticultural applications. *Revista international journal of biological macromolecules*. 270. 132070.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132070>
- Ahmed, R., Hasan-Manik, K., Nath, A., Rahman-Shohag, J., Jannat-Mim, J y Hossain, N. (2025). Recent advances in sustainable natural fiber composites: Environmental benefits, applications, and future prospects. *Materials today sustainability*. 32. 101220.
<https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2025.101220>
- Behera, A.K., Avancha, S., Das, N y Adhikari, B. (2021). Mechanical and biodegradation analysis of fully biodegradable eco-friendly natural fiber reinforced sapling pot. *Revista Inspiring plastics professionals*.
<https://doi.org/10.1002/pc.26024>
- Casso-Gaspar, J.M., Acevedo-Sandoval, O.A y Martinez-Hernández, S. (2022). Contaminación del suelo por microplásticos: panorama actual Soil contamination by microplastics: current panorama. *Revista Pádi Boletín científico de ciencias básicas e Ingenierías del ICBI*. 10 (19). 55-60.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.188>
- Darma-Jaya, J., Elma, M., Sunardi, S y Nugroho, A. (2022). Physical and Mechanical Properties of Biodegradable Pot Derived from Oil

- Palm Empty Fruit Bunch and Sodium Alginate. *Revista Environmental Sciences*. 65. e22210789. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210789>
- Daza, J.F., Mitani, A.A., Alibhai, S.M.H., Smith, P.M., Kennedy, E.G., Shulman, M.A, Myles, P.S y Wijeyesundera, D. N. (2024). Joint models inform the longitudinal assessment of patient-reported outcomes in clinical trials: a simulation study and secondary analysis of the restrictive Vs. liberal fluid therapy for major abdominal surgery (RELIEF) randomized controlled trial. *Journal of Clinical Epidemiol.* 176. 111553 <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2024.111553>.
- Drexler K, Boles E. Cultural Eutrophication Impacts on New River in Northern Belize: A Community Capitals Assessment. *Adv Environ Eng Res* 2024; 5(3): 017; <http://dx.doi.org/10.21926/aeer.2403017>
- Elashry, M.E., Khater. E.G y Ali, S.A. (2025). Biodegradable biocomposite pots reinforced with mercerized sugarcane bagasse for sustainable agriculture and plastic waste mitigation. *Revista scientific reports*. 17199. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01419-y>
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Narsi, M y Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Revista results in engineering*. 19. 101271. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101271>
- Fuentes, R.A., Berthe, J.A., Barbosa, S.E y Castillo, L.A. (2021). Development of biodegradable pots from different agroindustrial wastes and byproducts. *Revista Sustainable materials and technologies*. 30. E00338. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00338>
- Harahap, H., Nasution, H., Manurung, R., Yustira, A., & Rashid, A. A. (2025). Physical characteristics of biodegradable pots from empty fruit bunches (EFB) and sawdust waste as planting media. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jmcmw.2025.04.005>
- Hofmann, T., Ghoshal, S., Tufenkji, N. *et al*. Plastics can be used more sustainably in agriculture. *Commun Earth Environ* 4, 332 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00982-4>
- Iglesias, A., Cancela, A, Soler-Baena, A y Sánchez, A. (2023). Characterization of Cellulose Derived from Invasive Alien Species Plant Waste for Application in the Papermaking Industry: Physic-Mechanical, Optical, and Chemical Property Analysis. *Revista Appl. Sci*. 13(20), 11568; <https://doi.org/10.3390/app132011568>
- Kotronoulas, G y Papadopoulou, C. (2023). A Primer to Experimental and Nonexperimental Quantitative Research: The Example Case of Tobacco-Related Mouth Cancer. *Revista Seminars in Oncology Nursing* . 39. 151396. <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2023.151396>

- Lakane, C.P., Adams, J.B. & Lemley, D.A. Drivers of seasonal water hyacinth dynamics in permanently eutrophic estuarine waters. *Biol Invasions* 26, 2831–2849 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10530-024-03347-w>
- Macêdo, R.L., Haubrock, P.J., Klipper, G., Fernández, R.D., Leroy, B., Angulo, E., Carneiro, L., Musseau, C.L., Rocha, O y Cuthbert, R.N. (2024). The economic costs of invasive aquatic plants: A global perspective on ecology and management gaps. *Revista science of the total environment*. 908. 168217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168217>
- Mansilla-García, A. V., Cuarón, A. & Vázquez, L.-B. (2024). *Characterizing plastic pollution on beaches of Cozumel Island, Mexico: abundance, distribution, and influencing factors*. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 16(2), 51-69. <https://doi.org/10.15359/revmar.16-2.3>
- Manafi-Dastjerdi, M., Ebrahimi.Nik,M., Rohani, A y Lawson, S. (2022). Production of biodegradable pots from cattle manure and woodwaste: effects of natural binders on mechanical performances and biodegradability. *Environmental Science and Pollution Research*. 29. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17235-6>
- Mohammed, M., Mohamad-Jawad, A.J., Mohammed, A.M., oleiwi, JK., Adam, T., Osman, A.F., Dahham, O.S., Betar, B.O., Gopinath, S.C.B y Jaafar, M. (2023). Challenges and advancement in water absorption of natural fiber-reinforced polymer composites. *Revista Polymer Testing*. 124. 108083. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108083>
- Nurazzi, M. N., Asyraf, M. R. M., Norrrahim, M. N. F., et al. (2021). Hydrophilic behavior and degradation of natural fiber polymer composites: A review. *Polymers*, 13(5), 814. <https://doi.org/10.3390/polym13050814>
- Öztep, Ggüngören-Madenoglu, T., Özdemir, G., Isik, E., Serez, H., Kabay, N y Yüksel, M. (2023). Optimization and microbial community analysis for anaerobic digestion of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) with waste sludge at different solid contents and temperatures. *Environmental Technology & Innovation*. 32. 103395. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103395>
- Palacios Anzules, Ítalo del Carmen, & Moreno Castro, Denny William. (2022). *Contaminación ambiental*. *RECIMUNDO*, 6(2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Pérez-Moneo, B., Esparza Olcina, M. J., Flores Villard, S., Blanco Rodríguez, C., Martínez Rubio, M. V., & Molina Arias, M. (2025). Methodology for research and scientific publication in pediatrics. Main methodological designs. *Anales de Pediatría*, 103(3). <https://doi.org/10.1016/j.anpede.2025.503933>
- Pratibha, Saha, S y Hariprasad, P. (2022). Paddy straw-based biodegradable horticultural pots: An integrated greener approach to reduce plastic waste, valorize paddy straw and improve plant health. *Journal of cleaner*

- production. 337. 130588.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130588>
- Peña-Murillo, S.E., López Galán, J.E. (2020). Desarrollo sostenible y oportunidad de aprendizaje de las biorrefinerías: Una alternativa de la biomasa. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 26. 401-413.
<https://www.redalyc.org/journal/280/28064146026/html>
- Syduzzaman, M., Al Faruque, M. A., Bilisik, K., & Naebe, M. (2020). Plant-Based Natural Fibre Reinforced Composites: A Review on Fabrication, Properties and Applications. *Coatings*, 10 (10), 973.
<https://doi.org/10.3390/coatings10100973>
- Serna-Jiménez, J.A., Siles-López, J.A., Martín -Santos, A., Chica-Pérez, A.F. (2023). Exploiting waste derived from Musaspp. processing: Banana and plantain. Review: Exploiting waste derived from Musa spp. processing. 1046-1067.
<https://doi.org/10.1002/bbb.2475>
- Teixeira SC, de Oliveira TV, de Fátima Ferreira Soares N, Raymundo-Pereira PA. Sustainable and biodegradable polymer packaging: Perspectives, challenges, and opportunities. *Food Chem.* 2025 Apr 1;470:142652.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142652>
- Volk, R., Schröter, M., Saeidi, N., Steffl, S., Javadian, A., Hebel, D.E y Schultmann, F. (2024). Life cycle assessment of mycelium-based composite materials. *Resources, Conservation & Recycling*. 205. 107579.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107579>
- Wang, K., Wang, F., Yu, Y., Yang S., Han Y y Yao, H. (2025). Microplastics and soil microbiomes. *Revista BMC Biol.* 23, 273 (2025).
<https://doi.org/10.1186/s12915-025-02387-5>
- Yamini, P., Rokkala, S., Rishika, S., Rani, P.M y Kumar, R.A. (2023). Mechanical properties of natural fiber reinforced composite structure. *Materialstoday proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.547>
- Yanez-Montalvo A, Aguila B, Gómez-Acata ES, Guerrero-Jacinto M, Oseguera LA, Falcón LI, Alcocer J. (2022). Shifts in water column microbial composition associated to lakes with different trophic conditions: “Lagunas de Montebello” National Park, Chiapas, México. *PeerJ* 10:e13999
<http://doi.org/10.7717/peerj.13999>
- Zwawi. M. (2021). A Review on Natural Fiber Bio-Composites, Surface Modifications and Applications. *Molecules*. 26 (2), 404.
<https://doi.org/10.3390/molecules26020404>