

Año 13, Número 2, 2026

REAXXION

Ciencia y tecnología universitaria

XXXVIII

ISSN: 2007 - 7750

Bioestimulantes naturales promueven el crecimiento de lechuga, una alternativa sustentable

Estudio comparativo de tratamientos de luz en germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Diseño y análisis mecánico de mecanismo recolector de vainas de chícharo en sembradíos agrícolas a cielo abierto

Sistema de almacenamiento para el área de embarques en empresa de inyección de aluminio



REAXXION

comiterevista@utleon.edu.mx
reaxion.utleon.edu.mx



UTL

LEÓN

Directorio

Luis Ignacio Sánchez Gómez

*Secretario de Educación de
Guanajuato*

José Christian Padilla Navarro

*Rector de la Universidad Tecnológica
de León*

José Ernesto López Juárez

Secretario Académico

**Martha Betzabé Murillo
Hernández**

*Directora de Desarrollo Académico y
Docente*

José de Jesús Mendoza Rivas

Director de Económico Administrativo

Eduardo Pérez Gutiérrez

*Director de Tecnologías Emergentes
Industriales e Informáticas*

Ma. de Jesús Armenta Ortiz

*Subdirectora de Económico
Administrativo*

Jorge Andrés Ortega Contreras

*Subdirector de la Unidad Académica
del Sureste*

Héctor Mendiola Gómez

Subdirector de Tecnologías

Adolfo Israel Lomelí García

Subdirector de Industrial Sustentable

Comité Editorial

Liliana González Arredondo

Directora Editorial

Pedro Andrés Meza Torres

Aseguramiento de calidad

Daniel Israel Rodríguez Gante

Diseño web

Laura Elizabeth Martínez Olaz

Diseño gráfico y editorial

Laura Margarita Aguilar Cervantes

Corrección Editorial

Jorge Andrés Ortega Contreras

*Representante de la Unidad Académica del
Sureste*

Ma. Guadalupe Serrano Torres

*Representante de Área de la Dirección
Económico-Administrativa*

Anahí Torres Tinoco

*Representante de Área de la Dirección
de Tecnologías Emergentes Industriales
e Informáticas carreras Tecnologías de la
información*

Alan Daniel Villalobos Lara

*Representante de Área de la Dirección de
Tecnologías Emergentes Industriales e*

Informáticas carrera de Industrial Sustentable

Miguel Ángel Gil Ríos.

*Representante de Área de la Dirección de
Tecnologías Emergentes Industriales e
Informáticas carreras de Tecnologías de la
Información*

Roberto Gutiérrez Guerra

*Representante de Área de la Dirección de
Tecnologías Emergentes Industriales e*

Informáticas carrera de Química

J. Guadalupe Santos Gómez

*Representante de Área de la Dirección de
Tecnologías Emergentes Industriales e
Informáticas carreras de Electromecánica
Industrial*



Carta editorial

Reaxión Año 13, número 2

Es un placer presentar la trigésima octava publicación de la revista. Esta edición se integra con dos reportes de investigación y desarrollo tecnológico en el eje de conocimiento de la biotecnología y ciencias agropecuarias y dos artículos del área de las ingenierías.

En cuanto a las plantas comestibles, el equipo autoral de **Bioestimulantes naturales promueven el crecimiento de lechuga, una alternativa sustentable** desarrolló una serie de observaciones con el propósito de identificar una alternativa que, con un enfoque de cuidado ambiental, contribuyera al enraizamiento y desarrollo vegetativo. Encontraron que, en un entorno de invernadero, el tratamiento de frijol con lenteja tuvo un desempeño sobresaliente en todas las variables evaluadas: peso radicular y total, biomasa aérea, altura, número de foliolos; y plantean que este resultado podría deberse a la combinación equilibrada de nutrientes y metabolitos bioactivos propios de las leguminosas.

En la misma línea de mejorar la producción de alimentos al tiempo que se cuida el medio ambiente, las personas autoras de **Estudio comparativo de tratamientos de luz en germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.)**, se enfocan en el proceso vital que conduce al surgimiento de la plántula, pues este es fundamental para el éxito y la productividad de los cultivos. El experimento, que consistió en la creación de una cámara de germinación en la que se aplicaron luces de diferentes colores, y se comparó contra un testigo en un entorno natural, mostró que en el prototipo fue menor el tiempo de emergencia de los brotes y mayor la tasa de supervivencia.

En cuanto al eje de las Ingenierías, pero en el mismo sentido de mejorar la productividad de los cultivos, los autores de **Diseño y análisis de un mecanismo recolector de vainas de chícharo en sembradíos a cielo abierto**, usaron la reconocida metodología VDI 2221 para concebir y simular una máquina cosechadora de este tipo de legumbre, atendiendo a las características específicas de dichas plantaciones. El modelado del dispositivo agrícola incluyó cinco módulos clave: sistema de transmisión de potencia, estructura de recolección, proceso de transporte, sistema de separación de los granos y los residuos de rastrojo, y estructura (chasis donde están todos los elementos).

Por lo que se refiere al ámbito de la logística, en el artículo **Sistema de almacenamiento para el área de embarques en empresa de inyección de aluminio** se demuestra que la implementación de procesos de escaneo, combinado con herramientas de análisis y metodologías accesibles a prácticamente todo tipo de unidades económicas, constituye un

elemento que mejora la gestión de inventarios y la trazabilidad de los envíos, lo que aumenta la eficiencia, ya que disminuye los tiempos de búsqueda, previene incidencias, reduce los errores al gestionar las mercancías, mejora el flujo operativo de los productos terminados y garantiza niveles óptimos de servicio a la clientela.

Tenemos la seguridad de que este número de Reacción suscitará el interés de la comunidad académica y el público lector, y que generará expectativas para retomar y continuar la investigación y el desarrollo tecnológico acerca de los tópicos que aquí se presentan.

Atentamente.

Comité Editorial de Reacción

Índice

- 7.** Bioestimulantes naturales promueven el crecimiento de lechuga, una alternativa sustentable
- 16.** Estudio comparativo de tratamientos de luz en germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.)
- 28.** Diseño y análisis mecánico de mecanismo recolector de vainas de chícharo en sembradíos agrícolas a cielo abierto
- 42.** Sistema de almacenamiento para el área de embarques en empresa de inyección de aluminio

Bioestimulantes naturales promueven el crecimiento de lechuga, una alternativa sustentable

Natural biostimulants promote lettuce growth, a sustainable alternative

**Vania Valeria Castillo Osornio, Raúl Reyes Bautista y Luis Ángel Xoca Orozco /
Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón / Universidad De La Salle Bajío**

Resumen

Este estudio evaluó el efecto de enraizadores naturales elaborados con café, canela y té negro (CCT), frijol con lenteja (FL), y una micorriza comercial (MCRZ), sobre el desarrollo de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) en condiciones de invernadero. Se midieron peso radicular, biomasa aérea, altura y número de hojas. El análisis estadístico incluyó ANOVA y pruebas no paramétricas, según los supuestos de normalidad y homogeneidad. Los resultados indicaron que el tratamiento FL promovió un crecimiento significativamente superior en todas las variables evaluadas, superando a los demás tratamientos y al testigo. En particular, incrementó el peso radicular, biomasa total y altura, sugiriendo una asignación eficiente de recursos hacia estructuras vegetativas. Estos hallazgos resaltan el potencial del enraizador FL como bioestimulante orgánico eficaz, con aplicaciones prometedoras para reducir el uso de insumos sintéticos y fortalecer la sostenibilidad agrícola.

Palabras clave: enraizadores naturales, lechuga, micorriza, bioestimulantes, agricultura sostenible.

Abstract

This study evaluated the effect of natural rooting agents made from coffee, cinnamon, and black tea (CCT); beans and lentils (FL); and a commercial mycorrhiza (MCRZ) on the development of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) under greenhouse conditions. Variables such as root weight, shoot biomass, plant height, and leaf number were measured. Data were analyzed using ANOVA or non-parametric tests depending on normality and variance homogeneity assumptions. The CCT treatment significantly outperformed all other treatments, promoting the highest values in all evaluated growth parameters. Notably, it increased root mass, total biomass, and plant height, suggesting an efficient allocation of resources to both below- and above-ground structures. These findings demonstrate the potential of the CCT-based biostimulant as an effective organic alternative to enhance plant growth while reducing reliance on synthetic agro-inputs, offering promising prospects for sustainable horticultural practices.

Keywords: natural rooting agents, lettuce, mycorrhiza, biostimulants, sustainable agriculture.

Introducción

En México, la lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas más relevantes por su consumo y exportación. Se cultiva durante todo el año gracias a las condiciones favorables de regiones como Guanajuato, Zacatecas y Puebla, que abastecen el mercado nacional y exportan principalmente a Estados Unidos. Este dinamismo responde al creciente interés por alimentos frescos y saludables, consolidando a la lechuga como un producto clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola del país^{1,2}.

La lechuga, variedad longifolia, es una planta anual autógama que posee una raíz pivotante, relativamente gruesa en la corona y que se adelgaza gradualmente en profundidad, pudiendo alcanzar más de 60 cm en su desarrollo completo. La mayor densidad de raíces laterales se encuentra cerca de la superficie, lo que facilita la absorción de nutrientes y agua en los niveles superiores del suelo³.

El crecimiento óptimo de las plantas es esencial para maximizar la productividad agrícola y asegurar la sostenibilidad de los cultivos⁴. Entre los múltiples factores que influyen en el desarrollo de las plantas, el sistema radicular juega un papel crucial. Un sistema radicular robusto no solo facilita la absorción eficiente de agua y nutrientes, sino que también contribuye a la resistencia y salud general de la planta⁵. Por esta razón, el desarrollo y fortalecimiento de las raíces son aspectos clave en la agricultura.

Los enraizadores de síntesis química se han consolidado como herramientas valiosas para promover el crecimiento radicular,

especialmente en las etapas tempranas del desarrollo de las plantas. Estos productos están diseñados para mejorar la capacidad de las plantas para establecer un sistema de raíces vigoroso, lo que puede traducirse en un crecimiento más robusto y una mayor productividad⁶.

Por otro lado, en la agricultura orgánica, los enraizadores naturales han captado una atención creciente debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas sin depender de productos químicos sintéticos⁷. Los enraizadores a base de leguminosas, como el frijol y la lenteja, son particularmente notables por su capacidad para fijar nitrógeno en el suelo, lo que puede beneficiar significativamente el desarrollo radicular, así como la acumulación de fitohormonas que ayudan al crecimiento vegetativo⁸. Además, las micorrizas, hongos simbióticos que se asocian con las raíces, son conocidas por su habilidad para mejorar la absorción de nutrientes y la resistencia a enfermedades⁹.

A pesar del potencial de estas alternativas, existen pocas evaluaciones comparativas que determinen su efectividad en hortalizas de alta demanda como la lechuga. Por ello, surge la necesidad de generar evidencia que permita valorar su uso en sistemas productivos orgánicos. Por lo que nuestro objetivo es comparar la eficiencia de enraizadores orgánicos caseros (frijol-lenteja, café-canela-té negro) y una micorriza comercial en el desarrollo radicular y vegetativo de plántulas de lechuga orejona (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) bajo condiciones semicontroladas de invernadero.

Materiales y métodos

Lugar y condiciones del estudio. El ensayo se realizó en un invernadero de estructura metálica con cubierta de polietileno, ubicado en el municipio de Juventino Rosas, Guanajuato. Las condiciones fueron semicontroladas, manteniendo una temperatura promedio de 22–28 °C, humedad relativa entre 55–70 %, ventilación lateral manual y fotoperiodo natural (~12 h). El cultivo evaluado fue lechuga orejona (*Lactuca sativa* L., var. longifolia), sembrada en charolas de poliestireno con sustrato de *peat moss* (Turbo Paca 250 L).

Preparación de tratamientos. Se evaluaron cuatro tratamientos: (1) base de frijol y lenteja (FL), (2) café, canela y té negro (CCT) y (3) micorriza (MCRZ) (*Glomus Intraradices*, INIFAP)¹⁰ , además de un testigo (T) sin aplicación de tratamiento. Los enraizadores FL

y CCT se prepararon mediante un proceso de fermentación aeróbica. Los ingredientes sólidos se mezclaron con el volumen total de agua señalado en la Tabla 1. La mezcla se mantuvo en recipientes plásticos abiertos durante 3 días, agitando manualmente una vez por día para favorecer la actividad microbiana. Posteriormente, el fermentado se diluyó según las proporciones indicadas (1:10 para FL y 1:1 para CCT) antes de su aplicación. La micorriza comercial se aplicó directamente al sustrato durante la siembra, incorporando 500 g del inoculante por cada 620 L de *peat moss*¹¹, siguiendo las especificaciones del fabricante. Adicionalmente, se realizó una segunda aplicación al momento de la emergencia de las plántulas, colocando 0.5 g de micorriza por cavidad, asegurando el contacto directo del inóculo con la zona radicular.

Tabla 1. Preparación de enraizadores y dosis de aplicación (elaboración propia)

Material	Cantidad (g)	Preparación
Enraizador (FL)		
Lenteja	100	1 parte del fermentado por 10 partes de agua
Frijol	200	
Agua	1250	
Enraizador (CCT): Canela+Café+Té		
Canela	10	1 parte del fermentado por 1 parte de agua
Café	50	
Té Negro	2	
Agua	1000	
Micorriza (MCRZ)		
Micorriza	500	500 g de micorriza en 620 litros de sustrato

Siembra e inoculación de los enraizadores.

Las semillas de lechuga se sembraron en charolas de poliestireno, utilizando sustrato previamente hidratado. Cada tratamiento contó con 50 plantas, además de un grupo testigo sin enraizador. Durante la germinación se aplicaron 2 mL de cada enraizador una vez por semana en cada cavidad, repitiendo la aplicación semanalmente durante 30 días después de la germinación. En el caso de la micorriza, se aplicó en el sustrato durante y después de la germinación. Las plántulas se mantuvieron en invernadero con riego diario y aplicación de fertilizante orgánico (Biofrut, de la marca “Kari’s Bioinsumos Orgánicos™” a partir de que la plántula desarrolló dos hojas verdaderas) de acuerdo con las dosis recomendadas por el fabricante.

Variables evaluadas y análisis estadístico.

Se evaluaron cinco variables morfológicas: peso seco de raíz (Raíz), número de hojas (Hojas), altura total (Altura), peso total con capellón (Peso) y la suma de peso radicular y hojas (H+R). Para cada tratamiento (n=5), se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Bartlett). Cuando se cumplieron ambos, se aplicó ANOVA de una vía con prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). En caso contrario, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, seguida de Dunn con corrección de Bonferroni. Los análisis y gráficos se realizaron en RStudio (2025.05.1+513)¹².

Resultados

Se evaluó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Las variables Hojas, H+R y Altura cumplieron ambos supuestos ($p > 0.05$), por lo que se empleó un ANOVA de una vía seguido de la prueba de Tukey para comparaciones múltiples. Por el contrario, las variables Raíz y Peso presentaron heterogeneidad de varianzas ($p < 0.05$), por lo que se recurrió al análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y comparaciones *post-hoc* mediante Dunn (Tabla 2).

Tabla 2. Evaluación de los supuestos estadísticos de los datos analizados (elaboración propia)

Variable	Normalidad (p)	Homogeneidad (p)	Método	Vapor p	Prueba Post-hoc
Raíz	0.122	0.000	Kruskal-Wallis	0.00083	Dunn
Hojas	0.150	0.971	ANOVA	0.00010	Tukey
H+R	0.538	0.199	ANOVA	6.45e-09	Tukey
Peso	0.128	0.022	Kruskal-Wallis	0.00487	Dunn
Altura	0.774	0.052	ANOVA	9.25e-09	Tukey

Nota: Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas se satisfacen si el valor de $p > 0.05$.

La evaluación del peso total de la planta con cepellón y del peso seco de la raíz (Figura 1) mostró diferencias significativas entre tratamientos. Para el peso total, el análisis de Kruskal-Wallis indicó diferencias globales ($p = 0.0049$), donde el tratamiento FL presentó valores más altos que el testigo (T, $p = 0.0137$) y que CCT ($p = 0.0027$). En el caso del peso seco de raíz, también se encontraron diferencias ($p = 0.0008$), con el tratamiento FL superando significativamente al testigo ($p = 0.0001$).

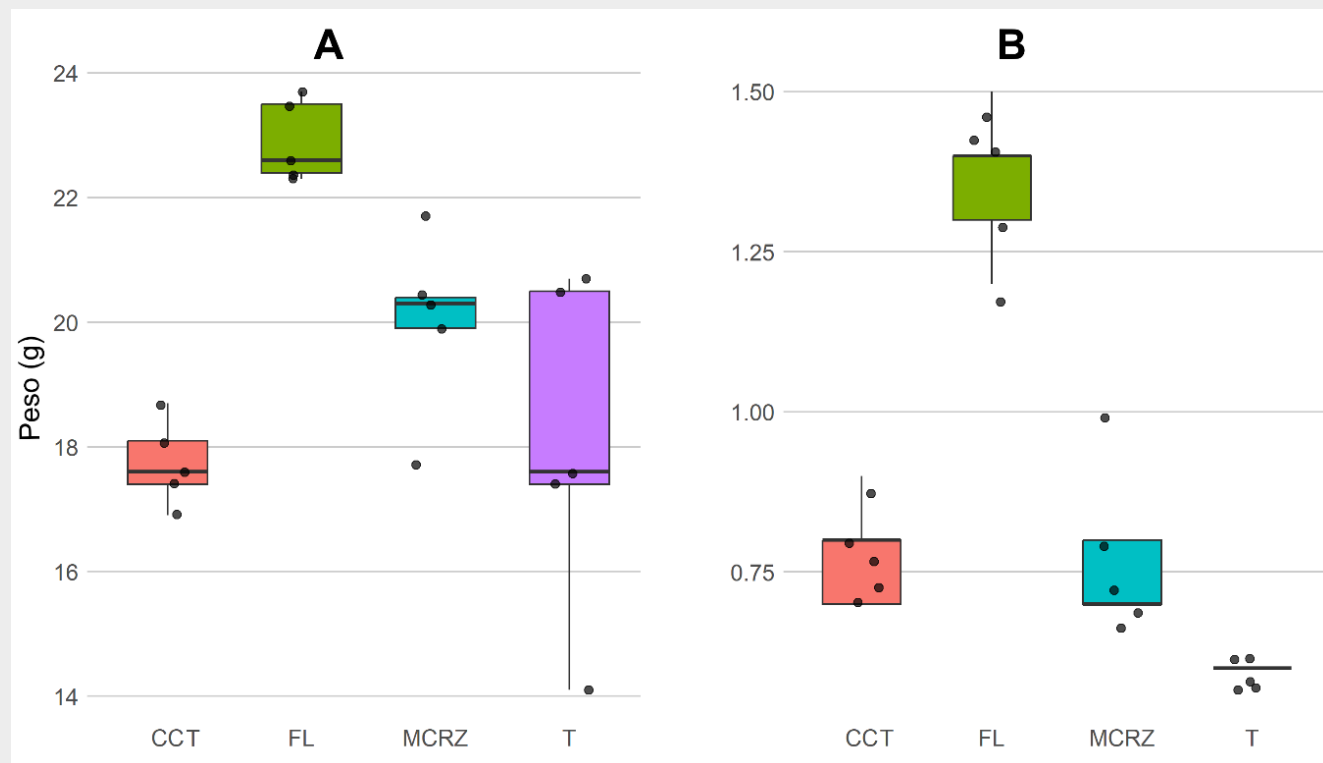


Figura 1. Evaluación de peso total de la planta con cepellón (A) y peso seco de la raíz (B).

En el número de hojas (Figura 2A) se detectaron diferencias importantes entre tratamientos (ANOVA, $p = 0.0001$). El análisis post-hoc mostró que el tratamiento FL fue superior a CCT ($p = 0.0013$), MCRZ ($p = 0.0001$) y el testigo (T, $p = 0.0013$). De manera similar, en el peso combinado de hojas y raíz (H+R, Figura 2B) se observaron diferencias

significativas ($p < 0.0001$). El tratamiento FL mostró valores más altos que CCT, MCRZ y el testigo ($p < 0.0001$). Finalmente, en la altura de las plantas (Figura 2C) también se registraron diferencias significativas ($p < 0.0001$), destacando nuevamente el tratamiento FL, que presentó mayores valores frente a CCT, MCRZ y el testigo.

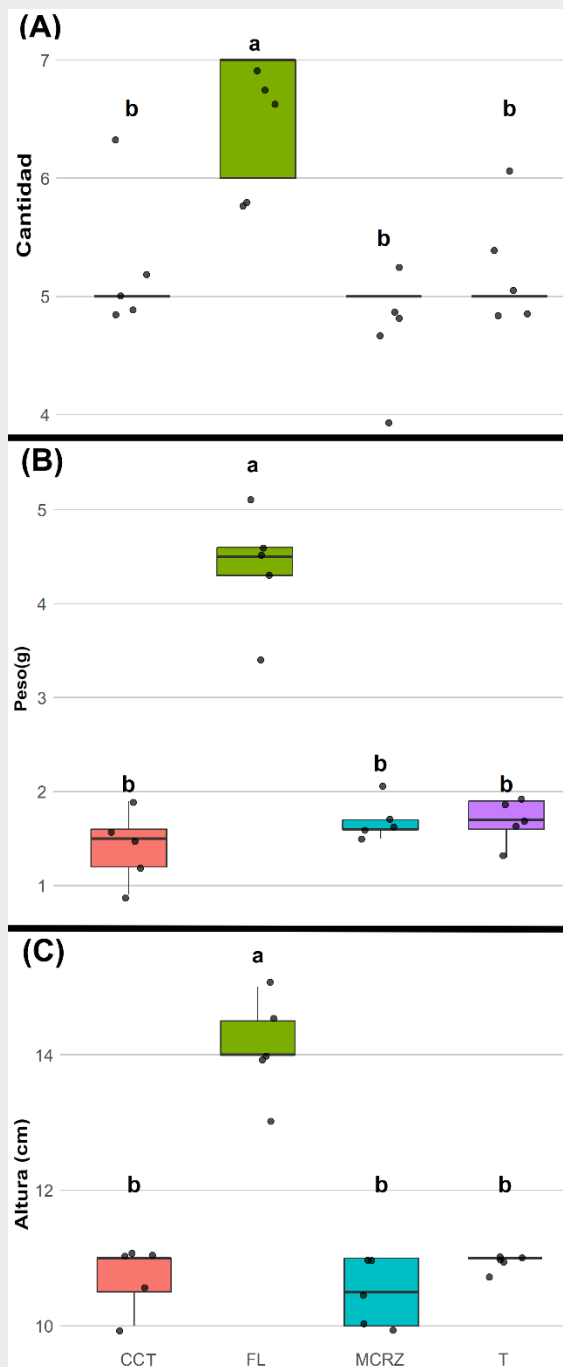


Figura 2. Evaluación de número de hojas (Hojas) (A), peso de hojas más raíz(H+R) y altura de la planta (cm) de los diferentes tratamientos

Las medias y desviaciones estándar de cada variable se presentan por tratamiento (FL, CCT, MCRZ y Testigo). En peso total, FL obtuvo el valor más alto (22.90 ± 0.65 g), seguido por MCRZ (20.00 ± 1.45 g), mientras que CCT y el testigo registraron valores menores (17.74 ± 0.69 g y 18.06 ± 2.70 g, respectivamente). En peso seco de raíz, FL destacó con 1.36 ± 0.11 g, superando ampliamente a CCT y MCRZ (0.78 g en ambos casos) y al testigo (0.60 g). En número de hojas, FL alcanzó 6.6 ± 0.55 , mientras que los demás tratamientos variaron entre 4.8 y 5.2 hojas. En biomasa combinada (H+R), FL mostró 4.38 ± 0.62 g, más del doble del grupo control. Finalmente, la altura también fue mayor en FL (14.10 ± 0.74 cm), comparado con el resto de los tratamientos, que se mantuvieron entre 10.5 y 11.0 cm.

Los resultados estadísticos muestran que el tratamiento FL tuvo un efecto positivo y significativo en todas las variables evaluadas, sobresaliendo de forma consistente frente al resto de los tratamientos.

Discusión

Antes de comparar los tratamientos, fue necesario comprobar si los datos cumplían criterios básicos de normalidad y homogeneidad de varianza. Esto determinó la aplicación de pruebas paramétricas (ANOVA) o no paramétricas (Kruskal-Wallis), asegurando que las conclusiones se basaran en un análisis estadístico adecuado a las características de los datos¹³.

Los resultados muestran que el tratamiento a base de frijol y lenteja (FL) fue consistentemente el tratamiento más sobresaliente en todas las variables evaluadas: peso total de planta, peso seco de raíz, crecimiento aéreo medido en número de hojas, peso combinado de hojas y raíz y altura de planta. Este efecto puede atribuirse a la presencia de compuestos bioactivos en las leguminosas, como aminoácidos, péptidos y fitohormonas (auxinas y citoquininas) capaces de estimular división celular, elongación y desarrollo radicular, mecanismos similares a los observados en bioestimulantes comerciales basados en extractos de algas¹⁴. Navarro-León *et al.* (2022) también reportaron que bioestimulantes ricos en aminoácidos incrementan la biomasa y la eficiencia del uso de nitrógeno en lechuga, incluso con menor fertilización¹⁵. De manera concordante, Fragalà *et al.* (2023) observaron que biopolímeros derivados de residuos orgánicos promovieron el crecimiento radicular y la eficiencia nitrogenada en lechuga¹⁶. Así, el incremento en la biomasa radicular y aérea registrado en FL refleja una asignación equilibrada de

recursos y un mayor potencial fotosintético, efectos también descritos en aplicaciones de extractos naturales y microalgas^{17,18}.

En contraste, el tratamiento con café, canela y té negro (CCT) mostró un efecto limitado sobre el crecimiento. Aunque estos productos son ricos en compuestos antioxidantes como polifenoles y catequinas, con propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias^{19, 20}, la evidencia sobre su capacidad para estimular el crecimiento vegetal sigue siendo limitada, lo que restringe una explicación más precisa de su mecanismo de acción.

Por su parte, la micorriza (MCRZ) tampoco mostró el desempeño esperado. Aunque cuando los hongos micorrízicos son capaces de mejorar la absorción de nutrientes, particularmente fósforo, y reforzar la tolerancia al estrés²¹, su eficacia depende de la colonización efectiva de la raíz. Estudios recientes señalan que una gran proporción de los productos comerciales no logran esta interacción de manera consistente²², lo que podría explicar los resultados obtenidos en este caso.

El tratamiento FL destacó sobre el resto, probablemente gracias a la combinación equilibrada de nutrientes y metabolitos bioactivos propios de las leguminosas, que ofrecen ventajas consistentes frente a mezclas heterogéneas (como CCT) o productos biológicos cuya eficacia depende de condiciones específicas de colonización (como MCRZ).

Conclusión

El enraizante FL representa una alternativa viable y prometedora como bioestimulante de origen natural para promover el crecimiento vegetal en sistemas hortícolas. Su aplicación podría contribuir a reducir el uso de insumos sintéticos, mejorar la productividad y avanzar hacia prácticas agrícolas más sostenibles. No obstante, se recomienda profundizar en la caracterización química de sus componentes y validar su efectividad en condiciones de campo y en distintos cultivos.

Agradecimientos

Se agradece a la Ing. Mariana Aboytes Capetillo y al invernadero *Vía Verde*, ubicado en el municipio de Juventino Rosas, Guanajuato, por las facilidades brindadas para la realización de las evaluaciones experimentales. Asimismo, se reconoce al Tecnológico Nacional de México/ITS de Purísima del Rincón por el apoyo empleado para realizar el análisis estadístico de los resultados y la redacción del documento.

Referencias

1. DIRECCIÓN GENERAL DEL SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA. *Panorama Agroalimentario 2018-2024*. [En línea]. 2024. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_siap/
2. SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. *Al alza, producción y exportación de lechuga mexicana*. [En línea]. 08 de mayo de 2021. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en [https://www.gob.mx/agricultura/prensa/al-alza-](https://www.gob.mx/agricultura/prensa/al-alza-produccion-y-exportacion-de-lechuga-mexicana?idiom=es)
3. CARASSAY, Luciano R. Anatomía y morfología. En: Lopez Bilbao M. y Frezza D. (eds). *Lechuga*. 1ra. edición. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA. 2022, pp. 14-16. ISBN: 978-987-679-346-9.
4. CALLEJAS-RODRÍGUEZ, Rodrigo; Rojo-Torres, Eduardo; Benavidez-Zabala, Carlos y Kania-Kuhl, Érika. Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de vides de mesa. *Agrociencia*. [En línea]. Vol. 46 (1): 23-35. 46:23-35. 15 de febrero de 2012. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/933/933> ISSN: 2521-9766.
5. VALENCIA-GARCÍA, L. Fernando; Bautista-Escutia, A. Nazario; Preciado-Farías, A. Citlalli; Pérez-Preciado, R. Alejandro y Chocotero-Campos, J. Abel. Evaluación de tres enraizadores comerciales en la primera etapa de crecimiento vegetativo de la planta de frambuesa. *ConCiencia Tecnológica*. [En línea]. Núm. 63. 2022. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/944/94472192004/html/ISSN:1405-5597>.
6. WILSON, P. J. and Van Staden, J. Rhizocaline, Rooting Co-factors, and the Concept of Promoters and Inhibitors of Adventitious Rooting - A Review. *Annals of Botany*. Vol. 66 (4): 479-490. October 1990. ISSN: 0305-7364.
7. RAJAN, Rony and Singh, Gurpreet. A REVIEW ON THE USE OF ORGANIC ROOTING SUBSTANCES FOR PROPAGATION OF HORTICULTURE CROPS. *Plant Archives*. 21:685-692. January 2021. ISSN: 0972-5210.
8. DÍAZ-MONTENEGRO, Daniel. *Bioestimulación del Sistema Radical para Mantener la Relación Aérea-Radicular*. Intagri. 2018.
9. BOYNO, Gökhan and Demir, Semra. Plant-mycorrhiza communication and mycorrhizae in inter-plant communication. *Symbiosis*. Vol. 86 (2): 155-168. March 2022. ISSN: 2582-9009.
10. INIFAP Norte-Centro. Micorriza biofertilizante para la agricultura mejor nutrición mayor crecimiento de raíz. [En línea]. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2025]. Disponible en http://www.inifap-nortecentro.gob.mx/noticias_detalle.php?id=42.
11. AGUIRRE-MEDINA, J. F., Durán-Prado, A., Peña Del Río, Á., Grageda-Cabrera, O., Irizar-Garza, MBG; Rosario, C. E. Micorriza INIFAP: Biofertilizante para el Campo

- Mexicano. En: Aguado-Santacruz, G. A. (ed). *Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura*, Primera Edición. INIFAP/SAGARPA, México, 2012, pp. 219–240. ISBN: 9786074258073.
12. RStudio Team. *Integrated Development for R*. RStudio. 2015. Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>
 13. MONTGOMERY, Douglas C. *Design and Analysis of Experiments*. 10th Edition. New Jersey, USA. Wiley. June 2019. ISBN: 978-1-119-49244-3.
 14. KOCIRA, Anna; Lamorska, Joanna; Kornas, Rafal; Nowosad, Natalia; Tomaszewska, Marzena; Leszczyńska, Danuta, *et al.* Changes in Biochemistry and Yield in Response to Biostimulants Applied in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomy*. [En línea]. Vol 10 (2): 189. 2020. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2025]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy10020189> ISSN: 2073-4395.
 15. NAVARRO-LEÓN, Eloy; López-Moreno, Francisco Javier; Borda, Elisabet; Marín, Cándido; Sierras, Nuria; Blasco, Begoña, *et al.* Effect of l-amino acid-based biostimulants on nitrogen use efficiency (NUE) in lettuce plants. *Journal of The Science of Food and Agriculture*. [En línea]. Vol. 102(15):7098–7106. December 2022. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2025]. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35778944/> ISSN: 1097-0010.
 16. FRAGALÀ, Ferdinando; Puglisi, Ivanna; Padoan, Eliot; Montoneri, Enzo; Stevanato, Piergiorgio; Gómez, José María; Herrero, Natalia, *et al.* Effect of municipal biowaste derived biostimulant on nitrogen fate in the plant-soil system during lettuce cultivation. *Scientific Reports*. [En línea]. Vol. 13:1–14. May 2023. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2025]. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41598-023-35090-y#citeas> ISSN: 2045-2322.
 17. LA BELLA, Emanuele; Baglieri, Andrea; Fragalà, Ferdinando; Saccone, Rosella; Salvagno, Erika; Terrazzino, Sergio, *et al.* Influence of Microalgae Biomasses Retrieved from Phycoremediation of Wastewaters on Yield of Lettuce, Soil Health, and Nitrogen Environmental Fate. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. [En línea]. Vol. 24:4880–4897. June 2024. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2025]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-024-01879-7>. ISSN: 0718-9516.
 18. İKİZ, Boran; Dasgan Hairiye Yildiz; Balik, Sibel; Kusvuran, Sebnep and Gruda, Nazim S. The use of biostimulants as a key to sustainable hydroponic lettuce farming under saline water stress. *BMC Plant Biology*. [En línea]. Vol. 24:1–18. August 2024. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2025]. Disponible en <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05520-8> ISSN: 1471-2229.
 19. SINGLETARY, Keith. Cinnamon: Update of Potential Health Benefits. *Nutrition Today*. [En línea]. Vol. 54(1):42–52. January 2019. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/330628404_Cinnamon_Update_of_Potential_Health_Benefits ISSN: 1538-9839.
 20. PARVEEN, Asma; Qin, Chun-Yin; Zhou, Feng; Lai, Guoping; Long, Piaopiao; Zhu, Mengting, *et al.* The Chemistry, Sensory Properties and Health Benefits of Aroma Compounds of Black Tea Produced by *Camellia sinensis* and *Camellia assamica*. *Horticulturae*. Vol 9 (12): 1253. November 2023. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121253> ISSN: 2311-7524.
 21. RODRIGUES, Manuel Ângelo; Borsa, Valkíria Luísa; Forcelini, Douglas; Raimundo, Soraia; Da Silva, Lucas; Cassol Luis César; *et al.* Use of commercial mycorrhizal fungi in stress-free growing conditions of potted olive cuttings. *Scientia Horticulturae*. [En línea]. Vol. 275:109712. January 2021. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423820305409> ISSN: 1879-1018.
 22. KOZIOL, Liz; McKenna, Thomas P. and Bever, James D. Meta-analysis reveals globally sourced commercial mycorrhizal inoculants fall short. *New Phytologist*. [En línea]. Vol. 246(3): 821–827. November 2024. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2025]. Disponible en <https://doi.org/10.1111/nph.20278>

Fecha de recepción

26/08/2025

Fecha de aceptación

04/12/2025

Fecha de publicación

30/01/2026

Estudio comparativo de tratamientos de luz en germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.)

*Comparative study of light treatments on cucumber (*Cucumis sativus* L.) seed germination*

Jocelyn Alicia Juárez-Zamora, Juan José Rodríguez-Ramírez, Maribel Ramos-Aguilar y Marcela Espinosa-Rodríguez / Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra

Resumen

Este artículo presenta una investigación sobre el efecto de distintos tipos de luz en la germinación y desarrollo del pepino (*Cucumis sativus* L.). Se compararon dos métodos: semillas en charolas de unicel expuestas a luz natural y semillas en una cámara de germinación con luz blanca, anaranjada, verde y roja. El experimento buscó identificar las diferencias en el tiempo de brote y en el crecimiento. Los resultados mostraron que la luz influyó de manera significativa: las plantas en cámara alcanzaron 13 cm en 9 días, mientras que las cultivadas al aire libre llegaron a 11.5 cm en 12 días. Además, las hojas de las plantas con luz natural fueron más homogéneas, a diferencia de las expuestas a distintos colores de luz. Estos hallazgos evidencian que el tipo de iluminación es un factor clave en la germinación y desarrollo temprano de las plantas de pepino.

Palabras clave: luz, germinación, desarrollo vegetal, seguridad alimentaria, sustentabilidad.

Abstract

This article presents research on the effect of different types of light on the germination and development of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Two methods were compared: seeds placed in Styrofoam trays exposed to natural light, and seeds in a germination chamber with white, orange, green, and red light. The experiment aimed to identify differences in sprouting time and growth. Results showed that light significantly influenced development: plants in the chamber reached 13 cm in 9 days, while those grown outdoors reached 11.5 cm in 12 days. Additionally, leaves of plants exposed to natural light were more homogeneous compared to those under different light colors. These findings demonstrate that light type is a key factor in cucumber seed germination and early plant development.

Keywords: *Light, germination, plant development, food security, sustainability.*

Introducción

Un enfoque general en sostenibilidad, combinado con acciones tempranas, ofrece las mejores oportunidades para luchar contra el cambio climático. Esto incluye, un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. En la búsqueda por innovar, en el sector agrícola se pretende producir alimentos de una manera más eficiente, cuidando del medio ambiente. Una de las formas es la aceleración del proceso de germinación de las semillas, con la finalidad de darle una ventaja al desarrollo, a la producción y por ende a la cosecha de los cultivos.

Al respecto, los investigadores Pita y Pérez (1998) apuntan lo siguiente:

En la mayoría de las especies de interés agrícola, las semillas constituyen el principal medio de reproducción; contienen un embrión y reservas nutricionales (hidratos de carbono, proteínas y lípidos), ambos protegidos por las envolturas seminales. Esta estructura varía entre las diferentes especies, sobre todo según el tipo y proporción de los compuestos de reserva y las características de las cubiertas seminales¹.

La germinación es el proceso mediante el cual una semilla se desarrolla hasta convertirse en una planta. Doria (2010) señala que “La germinación permite facilitar el nacimiento precoz de las diferentes plantas a cultivar, el máximo rendimiento de

la semilla y, por ende, de plantas útiles, la obtención de mejores frutos y mayores cosechas, evitando el deshijamiento”². Asimismo, un texto de la Universidad Veracruzana (2019, p. 2) señala:

La luz tiene un papel crítico en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que su calidad, cantidad y dirección son percibidas por fotosensores que regulan el desarrollo de la planta; en el caso de la fase de germinación de las semillas puede ser afectada por diversos factores ambientales, es un proceso complejo que es controlado por varios factores biológicos tales como las características intrínsecas de la especie, viabilidad, latencia, tamaño, etc. y ambientales como la humedad disponible, temperatura, humedad relativa y calidad de la luz³.

Por lo tanto, se decidió hacer una comparación de dos métodos de germinación y desarrollo en semillas de pepino (*Cucumis sativus L.*): el primero de ellos consistió en el establecimiento de las semillas en charolas de unicel al aire libre con luz natural, y el segundo método consistió en hacer uso de una cámara de germinación con diferentes tipos de luz (blanca, anaranjada, verde y roja). Dicho experimento se realizó para apreciar lo efectos de los distintos tipos de luz, principalmente, así como de las condiciones de temperatura y de humedad.

Objetivos

Objetivo general

Analizar el efecto de diferentes tipos de luz en el proceso de germinación en semillas de pepino.

Objetivos específicos

- Construir un germinador que permita apreciar el proceso de germinación de las semillas de pepino a través de la aplicación de diferentes tipos de luz.
- Comparar los resultados de la emergencia de las plantas en un germinador y el método tradicional en charola de germinado.

Planteamiento del problema

A medida que la población mundial sigue creciendo, aumenta la demanda de alimentos y surgen problemas como la disminución de las tierras agrícolas, la contaminación, el calentamiento global, la escasez de agua y las migraciones. Para cultivar plantas de forma fiable, predecible y eficiente, es crucial comprender y aplicar correctamente los conceptos de termodinámica para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El planeta enfrenta una presión creciente debido a la actividad humana, a la cual se suma el cambio climático. Como se informa en el sitio Valor Compartido (2019): "Mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C requiere reducir las

emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores, incluyendo la agricultura y la gestión del suelo"⁴. Asimismo, es necesario considerar que la degradación del terreno disminuye su productividad y su capacidad de captura de carbono, lo que agrava el cambio climático y, a su vez, acelera aún más la degradación del suelo.

Por lo tanto, es importante tratar de conservar los recursos naturales, darles uso y tratamiento adecuados, lo cual conlleva que la producción agrícola se haga más eficiente desde el proceso de germinación hasta la cosecha. Actualmente muchos cultivos como el chile y el pepino son germinados bajo el uso de charolas para aumentar la cantidad de brotes de semilla ya que, en comparación con una huerta, hay más brotes; sin embargo, a pesar de que las semillas logren florecer mejor en una charola de germinado, también se tienen aquellas que no logran germinar en el tiempo determinado, esto quiere decir que la eficacia de las charolas de germinado es entre el 70 % y 80 %, ya que dicha germinación depende de factores como la luz y la humedad.

De acuerdo con la demanda para las necesidades alimentarias actuales, es desventajoso esperar a que las plantas tratadas bajo el sistema tradicional, después del germinado lleguen al estado de plántula con una duración larga, ya que a su vez esto retrasa el trasplante, la espera de producción y cosecha, lo que implica

también el retraso en la satisfacción de las necesidades alimentarias de la sociedad.

De acuerdo con Rivera (2016) la alimentación es esencial para la vida, y la nutrición resulta fundamental para los seres humanos, quienes (como organismos conscientes) pueden intervenir en procesos físicos para mejorar continuamente la eficiencia energética, tanto en el ámbito tecnológico como en su propio organismo y en su relación con el medio ambiente⁵.

Por su parte, Wu *et al.* (2025) señalan que uno de los aspectos más importantes en la producción agrícola de alimentos es el tipo de luz que las plantas absorben, de tal modo que la iluminación permite aumentar el rendimiento en hortalizas y frutas bajo invernadero; asimismo mejora la calidad nutricional (más antioxidantes, vitaminas y azúcares) en alimentos como lechuga, tomate y fresa; reduce la dependencia de condiciones climáticas externas, favoreciendo la agricultura vertical y urbana; permite ajustar ciclos de

crecimiento y obtener cosechas más rápidas y uniformes⁶.

Los efectos de los diferentes colores dependen de cuán fuerte sea la luz. Por ejemplo, la luz verde puede tener menor absorción, pero mejor distribución en las hojas si la luz es alta. Usar luz roja en combinación con luz azul tiende a producir mejor crecimiento que usar una sola longitud de onda. Sin embargo, no todas las plantas reaccionan igual; lo que es óptimo para lechuga puede no serlo para tomate, flores ornamentales, algas, etc.

Por lo anteriormente expuesto se requieren métodos más eficientes de germinación como proceso base de la producción de los alimentos, por lo que se hizo necesario probar la mejor forma de germinación: al aire libre con luz natural o en cámara de germinación con diferentes tipos de luz, con la finalidad de encontrar alternativas más eficientes que aceleren la producción de alimentos.



Metodología

El presente estudio se llevó a cabo en el ciclo primavera de abril- mayo 2024, en Janicho, municipio de Salvatierra, en el estado de Guanajuato. Se realizó la construcción de un germinador con diferentes tipos de luz y se estableció un experimento comparativo con semillas de pepino, en los laboratorios del Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra, ubicado en Manuel Gómez Morín # 300 (Figura 1). El clima es templado y húmedo durante todo el año.



Figura 1. Ubicación del ITESS (Google Maps, 2024)

De acuerdo con el Gobierno de Guanajuato (2019) la temperatura máxima es de 33.4 °C, mientras que la mínima de 2 °C y la media anual es de 18 °C, con una precipitación pluvial de 730 mm anuales⁷.

a) Construcción de cámara de germinación

Se inició con la construcción del germinador de semillas utilizando una caja de plástico con tapadera, focos de diferentes colores cuyo propósito era emitir luz en diferentes longitudes de onda, como se puede apreciar en la Figura 2, estos elementos pueden estar al alcance del uso de cualquier persona.

Dentro de la cámara, se agregaron focos con diferentes tipos de luz: azul = 75 W, blanca = 12 W, naranja y roja = 25 W, ya que de acuerdo con la Universidad Veracruzana (2019), en el caso de los vegetales, su color verde es resultado de la presencia de pigmentos que absorben todas las longitudes de onda de la luz visible, excepto la verde³.

Para regular el calor proporcionado, así como mantener la recirculación de gases, se añadió un pequeño ventilador, así como un higrotermómetro para conocer la humedad y temperatura en la que se desarrollaban dentro de la cámara; todas estas herramientas requerían de una alimentación eléctrica, por lo que se elaboró

un circuito eléctrico con cable de calibre 12, pijas, contactos y sockets.

Al finalizar su construcción se mantuvo a prueba durante una semana para así lograr corregir posibles errores que pudieran causar fallas en el sistema, tales como bajas inesperadas de energía.



Figura 2. Cámara de germinación terminada, la cual contiene focos con diferentes tipos de luz, ventilador, higrotermómetro (elaboración propia)

Al tener la certeza de que el prototipo funcionaba correctamente, se continuó con el establecimiento del experimento.

b) Geminación de las semillas

De acuerdo con Rivera (2016) el proceso de germinación se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe⁵. Para lograr esto, toda nueva planta requiere de elementos básicos para su desarrollo: temperatura, agua, oxígeno y sales minerales. En este caso, para la germinación se usaron diferentes tipos de luz, para el testigo se utilizó luz natural (Figura 3), y dentro de la cámara se usó luz blanca, anaranjada, roja y azul (Figura 4).

En ambas charolas de germinado se utilizaron 150 cavidades, para facilitar el conteo en los resultados y facilitar los análisis estadísticos finales. A las charolas se les agregó sustrato y posteriormente las semillas de pepino.

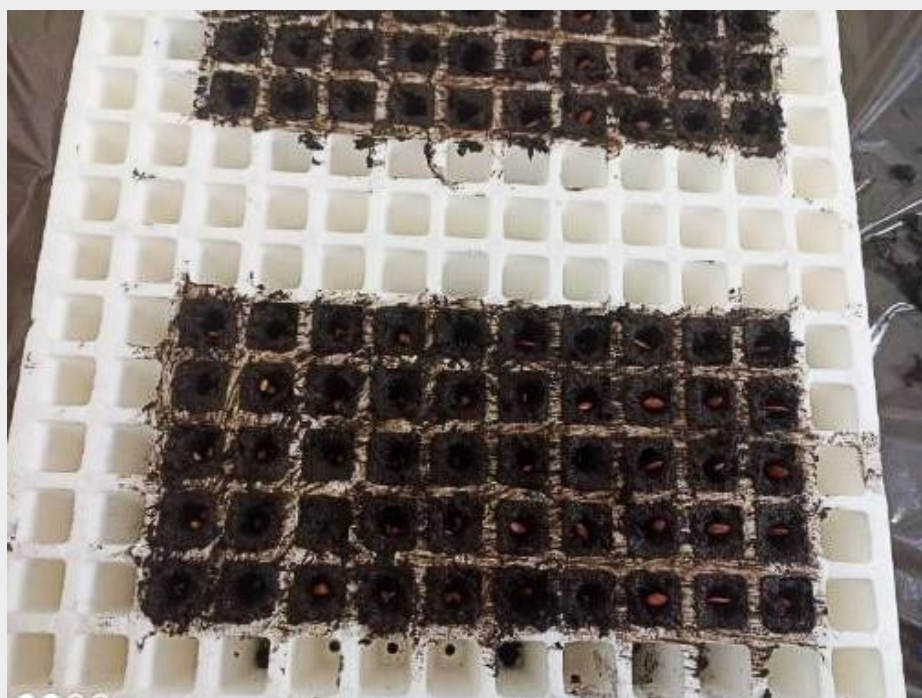


Figura 3. Siembra del testigo (elaboración propia, 2024)

La calidad de luz, en cuanto al tiempo, fue similar; en la cámara de germinación el fotoperiodo fue de 12 horas, mientras que en el testigo fue de 9 horas, ya que el sol no alcanzaba a iluminarlas más tiempo; mientras que el prototipo manejaba temperaturas mínimas de 26 °C y máximas de 33 °C, en cambio el testigo se encontraba en las condiciones de temperaturas ambientales de 25 °C como mínima y máxima de 36 °C.



Figura 4. Siembra en cámara (elaboración propia, 2024)

Para mantener la humedad, en ambos métodos usados se realizó un riego manual: se utilizó un atomizador de 1 litro para facilitar y permitir que el agua pudiera filtrarse más fácil, en cada charola se utilizó 1 litro de agua, a las 10 horas, cada tercer día.

c) Monitoreo

Una vez transcurrido el tiempo del germinado, se realizó un conteo de los brotes obtenidos tanto en el germinado tradicional como en el prototipo, para determinar las diferencias de ambos sistemas, además se identificó el tiempo en el que surgió la emergencia de cada especie. Posteriormente se dio seguimiento al crecimiento de las plantas y sus días de supervivencia.

Resultados

En la Tabla 1 se muestra la comparación de ambos métodos utilizados para la germinación y emergencia máxima de las plantas de pepino; se consideran las variables de tiempo y cantidad.

Tabla 1. Comparación de la emergencia máxima de brotes de pepino en días (elaboración propia, 2024).

Tratamiento	Tiempo de emergencia total (días)	Brotes por cavidad	Porcentaje (%)
Testigo	6	65	86
Prototipo	4	60	80

En la Figura 5 se puede ver cómo fue la evolución de los brotes, tanto para el testigo como para la cámara de germinación.

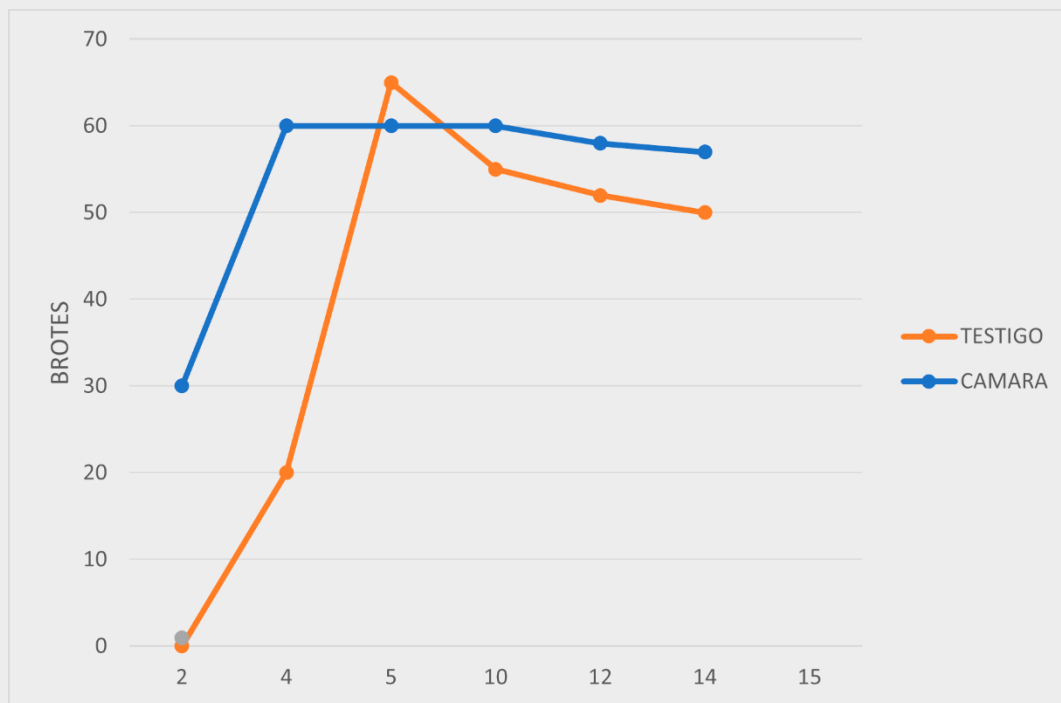


Figura 5. Tasa de supervivencia de los brotes (elaboración propia, 2024)

En cuanto a la calidad de ambas emergencias, se ha observado que hubo mayor tasa de supervivencia en las plantas que se encontraban en el germinador, pues las que estaban dentro del prototipo mostraron más uniformidad a la hora de germinar y emerger, sus tallos y hojas muestran mayor grosor, su altura es mayor a las del testigo; esto puede apreciarse en las figuras 6 y 7.





Figura 6. Cucumis sativus en cámara de germinación (elaboración propia, 2024)

Figura 7. Testigo de Cucumis sativus (elaboración propia, 2024)

En el caso de las plantas cuya germinación procedió de la cámara, lograron una altura máxima de 13 cm en 9 días. Además, como puede apreciarse, se tienen diferentes tamaños de hoja de acuerdo con el tipo de luz.

En el caso del testigo, la altura máxima de las plantas fue de 11.5 cm en 12 días, y el tamaño de las hojas, al estar expuestas a luz natural, fue relativamente homogéneo.

Discusión

De acuerdo con Bioamara (2021), la calidad de la luz, así como la humedad, son muy importantes durante la germinación y emergencia de semillas⁸. Cabe destacarse que tanto para las plantas expuestas a la luz natural como a las expuestas a los tipos de luz en el germinador, el porcentaje de brotes fue muy similar, aunque con diferentes

tendencias de supervivencia, como se mostró en la Figura 5.

Como se expresa en Konica Minolta (2023): independientemente de si el color de la luz es rojo o violeta, la planta absorberá cierta cantidad de energía de la luz que recibe. La luz verde es la menos efectiva para las plantas, porque ellas mismas son verdes debido al pigmento clorofila. Las luces de diferentes colores ayudan a las plantas a lograr diferentes objetivos: la azul, por ejemplo, ayuda a estimular el crecimiento vegetativo de las hojas; la luz roja, cuando se combina con el azul, permite que las plantas florezcan⁹.

Por otra parte, el fotoperiodo y el tipo de color de luz o longitud de onda que recibían las especies mejoraron la calidad de las plantas de pepino, la exposición de semillas a diferentes gradientes de temperatura

activó y estimuló los procesos metabólicos de la semilla, demostrando la importancia de estas variables en la etapa de germinación, emergencia y desarrollo temprano de las plántulas.

Asimismo, la supervivencia de las semillas y las plantas fue mayor en el germinador: tardaron menos tiempo en germinar y se desarrollaron con mejor calidad, apoyando lo que también mencionaron Romero-Bastidas *et al.* (2016): “Dicho efecto se vio reflejado en el incremento del porcentaje y tasa de emergencia, así como en el crecimiento y producción de biomasa de plántulas. Lo anterior asociado a diferentes estrategias fisiológicas que la planta utiliza como respuesta para propiciar una tolerancia mayor a factores estresantes”.¹⁰

Sin embargo, como resultado también se sospecha que las condiciones climáticas actuales en el municipio de Salvatierra afectaron en el desarrollo y emergencia de las especies en el testigo.

Conclusión

La semilla es esencial en el ciclo de cultivo de la agricultura, siendo elemental para obtener los mejores rendimientos y éxito de producción agrícola. La creciente demanda de semillas de la mejor calidad ha llevado a una investigación continua para la mejora de los métodos de análisis, con el objetivo de aumentar rendimientos y a incrementar la

calidad en el producto a cosechar. Por lo tanto, en el estudio se construyó un germinador de semillas para consumo humano, el cual reduce el proceso de germinado de 6 días a 2 días, ayudando así a lograr un mayor cultivo de semillas.

En un mundo que depende de las plantas para alimentarse, es importante saber que los diferentes colores de luz pueden afectar en el surgimiento y desarrollo de una planta.

La tecnología LED avanzada ahora hace posible controlar los tipos de luz de colores que se proporcione a las plantas en entornos controlados. Es necesaria hacer modificaciones para incluir un método de riego con lluvia constante, para que sea más eficiente el mantenimiento de las condiciones de humedad requeridas para el proceso de germinado de las semillas.

Con este proyecto se logró mejorar los sistemas de germinación tradicionales y se hace un aporte considerable a la agricultura. El uso de un germinador que proporcione el calor suficiente para acelerar el proceso de desarrollo de las semillas y adelantar su emergencia significativamente es una alternativa importante para la producción más rápida de alimentos.

Referencias

1. PITA, José Manuel y Pérez, Félix. Germinación de semillas. [En línea]. *Hojas divulgadoras*. Núm. 2090 HD. s. f. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2024]. Disponible en https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf
2. DORIA, Jessica. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. [En línea]. *Cultivos Tropicales*. 2010. Vol. 31 (1), p. 74-85. [Fecha de consulta: 05 de julio de 2024]. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v31n1/ctr11110.pdf>
3. UNIVERSIDAD VERACRUZANA. *La luz en la germinación de semillas*. [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2024]. Disponible en <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2019/02/ACTIVIDAD-3-LA-LUZ-EN-LA-GERMINACION.pdf>
4. VALOR COMPARTIDO. *Crisis climática pondrá en riesgo el agua y la comida del planeta*. [En línea]. 2019, noviembre 19. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2024]. Disponible en <https://valor-compartido.com/crisis-climatica-pondra-en-riesgo-el-agua-y-la-comida-del-planeta-2/>
5. RIVERA, Walter. *Diseño y construcción de un germinador de semillas para consumo humano*. [En línea]. [Trabajo de grado]. Universidad Tecnológica de Pereira. 2016. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2024]. Disponible en <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4f194885-58c9-4d4c-9024-0f6b66ff6845/content>
6. WU, Wenyuan; Chen, Long; Liang, Rentao; Huang, Shiping; Li, Xiang; Huang, Bilei; et al. The role of light in regulating plant growth, development and sugar metabolism: a review. *Frontiers in Plant Science*. [En línea]. 15:1507628. 07 de enero de 2025. [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11747448/> ISSN: 1664-462X.
7. GOBIERNO DE GUANAJUATO. *Fenómeno hidrometeorológico Salvatierra*. [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2024]. Disponible en https://servicios-ssp.guanajuato.gob.mx/atlas/hm/hm_salvatierra.pdf
8. BIOAMARA. Hacer crecer una planta con luz artificial es posible si sabes cómo: la mega-guía de iluminación LED para plantas de interior. *Xataka.com* [En línea]. 28 de agosto de 2021. [Fecha de consulta: 03 de abril de 2024]. Disponible en <https://www.xataka.com/otros/hacer-crecer-planta-luz-artificial-posible-sabes-como-mega-guia-iluminacion-led-para-plantas-interior>
9. KONICA MINOLTA. *¿Pueden las luces de colores afectar el crecimiento de las plantas?* [En línea]. 2023. [Fecha de consulta: 31 de mayo de 2024]. Disponible en <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/pueden-las-luces-de-colores-afectar-el-crecimiento-de-las-plantas>
10. ROMERO-BASTIDAS, Mirella; Nieto-Garibay, Alejandra; Hernández-Montiel, Luis Guillermo; Troyo-Diéguez, Enrique; Ramírez-Serrano, Rogelio y Murillo-Amador, Bernardo. Acondicionamiento térmico de semillas en la germinación, emergencia, vigor y etapa vegetativa de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Nova scientia*. [En línea]. Vol. 18, número 16. 2016. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2024]. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-0705201600010018 ISSN 2007-0705.

Fecha de recepción

16/07/2024

Fecha de aceptación

25/09/2026

Fecha de publicación

30/01/2026

Diseño y análisis de un mecanismo recolector de vainas de chícharo en sembradíos a cielo abierto

Design and Mechanical Analysis of a Pea Pod Harvesting Mechanism for Open-Field Agricultural Crops

Gabriel Ángel Ramírez Vicente, Ronaldo Aburto Gutiérrez y Alfredo Carrasco Araoz /
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Resumen

El presente trabajo se centra en el diseño de un mecanismo recolector de vainas de chícharo para su implementación en cultivos a cielo abierto, el cual busca mejorar las condiciones de trabajo en el proceso de cosecha, así como, la calidad de las vainas de chícharo. El desarrollo de este proyecto se basa en la metodología VDI 2221, la cual propone un enfoque sistemático y organizado, para el desarrollo de productos. El alcance de esta etapa del proyecto solo contempla el diseño mecánico y el análisis estructural de los componentes críticos para su validación previa a su fabricación y montaje.

Palabras clave: mecanismo, análisis mecánico, cosecha de chícharo.

Abstract

The present work focuses on the design of a pea pod collecting mechanism for implementation in open-field crops, which seeks to improve working conditions in the harvest process, as well as the quality of pea pods. The development of this project is based on the VDI 2221 methodology which proposes a systematic and organized approach to product development. The scope of this stage of the project only includes the mechanical design and structural analysis of the critical components for their validation prior to their manufacturing and assembly.

Keywords: mechanism, mechanical analysis, pea harvest.

Introducción

Las máquinas agrícolas han desempeñado un papel crucial en la modernización de la agricultura, facilitando la mecanización de procesos manuales y mejorando la eficiencia en la recolección de cultivos. Desde la invención de las primeras herramientas mecanizadas, la agricultura ha experimentado avances significativos, especialmente en la cosecha de productos delicados como las leguminosas, que requieren cuidados especiales para evitar el daño a las vainas.

Tradicionalmente, la recolección de vainas de leguminosas ha sido un proceso manual que requiere mucha mano de obra. Esto es especialmente cierto para aquellas variedades donde es importante preservar la integridad de la vaina para evitar pérdidas en la calidad del producto. La cosecha manual implica costos elevados, dependencia de la disponibilidad de trabajadores y trabajadoras, y puede estar sujeta a fluctuaciones en el mercado laboral y condiciones climáticas adversas, lo que reduce la eficiencia del proceso.

En respuesta a esta necesidad, se han desarrollado máquinas cosechadoras específicas para diferentes tipos de cultivos. Sin embargo, la recolección eficiente de leguminosas requiere características técnicas específicas, como un sistema que permita separar cuidadosamente las vainas del tallo sin dañarlas y una capacidad de

ajuste para trabajar con diferentes condiciones del terreno y del cultivo.

Aunque estas máquinas han mejorado la recolección de leguminosas, aún persisten problemas relacionados con la eficiencia, la capacidad de adaptación a diferentes especies y la preservación de la integridad de las vainas durante la cosecha. La demanda de soluciones innovadoras que combinen versatilidad, delicadeza y eficiencia sigue siendo alta en el sector agrícola. Esto abre la oportunidad para nuevas invenciones que optimicen el proceso de cosecha, tanto en términos de ahorro de tiempo y costo, como en la calidad del producto cosechado.

Objetivo

Diseñar y simular un mecanismo recolector de vainas de chícharo con el fin de optimizar el proceso de cosecha agrícola.

Objetivos específicos

- Investigar el estado de arte sobre cosechadora de chícharos para determinar los requerimientos técnicos de diseño.
- Seleccionar los materiales y componentes adecuados para el diseño del mecanismo recolector con el objetivo de asegurar su eficiencia y funcionalidad del mecanismo.

- Simular el mecanismo recolector desarrollado para verificar su rendimiento y resistencia.

Planteamiento del problema

En México, cerca del 59 % de las familias enfrenta algún grado de inseguridad alimentaria, entendida como la falta de acceso tanto físico como económico a alimentos seguros y nutritivos suficientes para cubrir sus necesidades y mantener una vida activa y saludable¹. No obstante, durante la pandemia de COVID-19, se observó una relación entre la pobreza y el deterioro de la seguridad alimentaria: para el 2020, se calculó que el 22.5 % de la población no contaba con acceso a una dieta nutritiva y de calidad, mientras que el 8.5 % vivía en pobreza extrema, de acuerdo con datos del Coneval². Además, en 2019 la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) reportó que la pobreza en las zonas rurales seguía siendo considerablemente más alta que en las áreas urbanas. En 2016, seis de cada diez personas que vivían en áreas rurales eran consideradas pobres, mientras que en las zonas urbanas solo cuatro de cada diez personas³. La FAO también resalta que un factor esencial para garantizar la seguridad alimentaria es tener acceso y control sobre los recursos de producción, como la tierra, el agua, los insumos, la tecnología, el conocimiento y los alimentos disponibles en los mercados³.

La ausencia de tecnología en el sector agrícola en México afecta negativamente el

crecimiento económico de las comunidades rurales, esto provoca que la cosecha sea realizada de manera manual, lo cual resulta ineficiente y oneroso, incrementando los costos de producción y reduciendo las ganancias para las y los agricultores. Además, la carencia de maquinaria adecuada limita tanto la expansión como la competitividad de las actividades agrícolas en estas áreas, lo que se traduce en una menor generación de empleo e ingresos. Esta situación no solo reduce la rentabilidad de las y los productores, sino que también perpetúa el ciclo de pobreza, al obstaculizar el acceso a oportunidades económicas y la mejora de la calidad de vida de las personas que habitan en zonas rurales. Por ello, es fundamental abordar la falta de tecnología para fomentar un desarrollo económico equitativo y sostenible en las comunidades rurales de México.

Marco conceptual

Descripción morfológica de la planta

La planta de chícharo posee un sistema radicular poco desarrollado, aunque tiene una raíz pivotante que puede llegar hasta los 50 cm, las raíces secundarias pueden formar una cobertura densa. En los pelos radicales se encuentran los rizobios que forman los nódulos que se encargan de fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo. La

planta desarrolla un eje central primario y muchos tallos secundarios que nacen del nudo cotiledonar o superiores. Los tallos son redondos, huecos y débiles; tienen ramas de diferente tamaño, llegan a tener alturas de hasta un metro y son de color verde (Figura 1).

El crecimiento del tallo inicialmente es erecto y va postrándose poco después de la

floración y crecimiento del follaje. Las hojas están constituidas por dos folíolos que abrazan el tallo en la parte basal. Son opuestos lanceolados o alternos, y en la parte terminal se encuentran zarcillos ramificados y prensiles que tienen la propiedad de asirse a los tutores que encuentran en su desarrollo. La base de los folíolos es dentada y las hojas son paripinnadas.



Figura 1. Planta de chícharo en cultivo por surcos⁴

Las inflorescencias son racimos axilares que se agrupan de una a tres flores, generalmente blancas, pero pueden variar de color hasta el púrpura.

Los frutos son vainas de cinco a diez centímetros de largo y de uno a dos centímetros de ancho. Dentro de la misma se encuentran de cuatro a diez semillas ubicadas de forma alternada en las valvas a lo largo de la sutura placental. Las semillas son de tamaño y color variable, casi siempre lisas y esféricas de tres a ocho milímetros de diámetro, de color verde o amarillas, según la variedad⁵.

Método y densidad de siembra

El Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal recomienda surcos de 60 a 80 cm de ancho, donde se colocan 16 a 18 semillas por metro lineal en ambos bordes (Figura 1). Las semillas brotan en aproximadamente una semana, dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. La germinación se observa entre los siete y diez días, con la aparición de dos cotiledones que nutren a las plántulas. Entre siete y quince días después del trasplante, se sugiere instalar un tutor para apoyar el crecimiento y mejorar la captación de luz solar. La cosecha comienza cerca de los 85 días posteriores a la siembra, aunque esto varía según el clima y la variedad. La recolección de vainas tiernas debe hacerse cada cuatro o cinco días, seleccionando las vainas completas y jugosas. Las semillas se recolectan cuando las vainas están secas y las plantas han adquirido un tono amarillento⁶.

Cosechadoras agrícolas

Una cosechadora contemporánea, también conocida simplemente como cosechadora, es un equipo multifuncional desarrollado para recolectar de forma eficaz diversos cultivos en el campo. Su función principal es obtener productos limpios, los cuales suelen ser almacenados temporalmente en el depósito de la máquina y luego descargados periódicamente para su transporte, procesamiento o almacenamiento adicional.

La cosechadora integra varias operaciones tecnológicas, como el corte y recolección de las plantas, la trilla y separación de la planta del cultivo, así como la limpieza y recogida del cultivo en el tanque de la cosechadora.

Los procesos de corte y recolección de las plantas se llevan a cabo mediante cabezales de corte, también conocidos como cabezales o segadoras, los cuales están diseñados para cultivos específicos, tecnologías de cosecha o ambos. Estos cabezales se montan en la parte delantera de la cosechadora, generalmente en una disposición simétrica con respecto al ancho de la máquina⁷. Los tipos principales de cabezales incluyen el estándar (o plataforma), el de cortina, el cabezal para maíz, el separador (utilizado para el arroz), el cabezal para girasol y el cabezal de recogida desde la parte superior (para los frijoles)⁸.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología VDI 2221, que corresponde a las siglas de *Verein Deutscher Ingenieure* (Asociación de Ingenieros Alemanes), la cual es una guía para el diseño de productos técnicos, reconocida internacionalmente, y ofrece un enfoque sistemático y organizado para el desarrollo de productos⁹; esta fue adaptada a las necesidades y alcances del proyecto.

Clasificar y definir tareas

El diseño de la cosechadora de chícharos comenzó con el análisis del estado del arte, donde se recopiló información clave y detallada para desarrollar el producto, así como la definición del área de trabajo del dispositivo, aspecto en el que se determinó:

a) Espaciado de las hileras:

- Distancia entre las hileras principales: aproximadamente 60–80 cm. Esto permite el paso de maquinaria si es necesario y facilita el manejo de las plantas.
- Distancia entre las hileras dobles: dentro de cada hilera principal, dejar una distancia de aproximadamente 20–30 cm entre las dos hileras dobles.

b) Distribución de la semilla:

- Espaciado en la hilera: siembra de los chícharos a una distancia de cinco a diez centímetros entre plantas en cada hilera doble.
- Profundidad de siembra: de dos a cuatro centímetros.

Determinar las funciones y sus estructuras

En esta etapa se identificaron las funciones y características de la cosechadora, las cuales se limitaron en;

- Geometría: el ancho de la máquina no puede superar un metro y debe ser

capaz de abarcar una fila de cultivo con una separación de 25 cm, además del espacio entre los surcos de 60 cm.

- Energía: el mecanismo debe ser impulsado por un motor de corriente alterna con una potencia de 1 hp.
- Materiales: deben cumplir las necesidades mecánicas y ser de fácil acceso.
- Seguridad: la cosechadora debe ser segura para las y los agricultores, evitando cualquier riesgo para su integridad física, y no debe causar daño al medioambiente.
- Montaje: asegurar una distribución geométrica adecuada de los componentes para simplificar el proceso de montaje.
- Transporte: su peso no debe superar los 250 kg.
- Mantenimiento: la máquina debe incluir componentes intercambiables en el campo. Debe ser fácilmente inspeccionable. Los conductos de lubricación deben ser visibles y estar protegidos.

A partir de la identificación de limitantes, se implementó el concepto de caja negra para identificar los elementos de señales, energía y materia dentro de los componentes del sistema de entrada y salida, para lo cual se estableció el diagrama de la Figura 2.

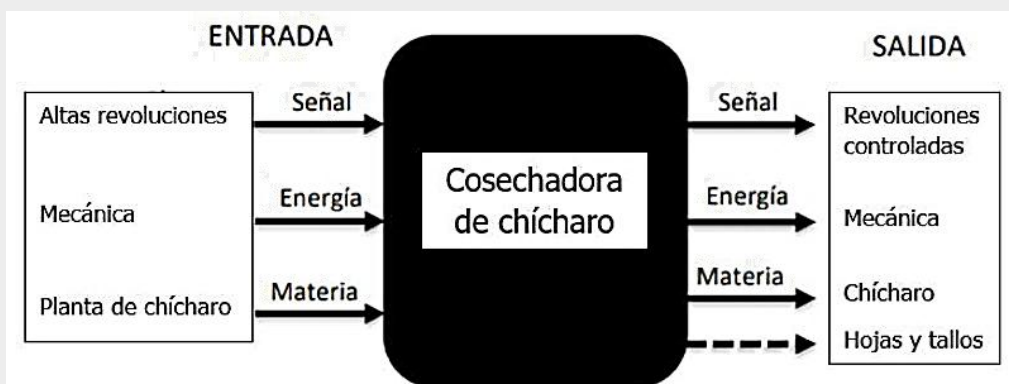


Figura 2. Caja negra de la cosechadora de chícharo (elaboración propia)

a) Entradas:

- Señal: la toma de fuerza del motor proporciona un rango de revoluciones de 1750 rpm.
- Energía: el motor suministra energía mecánica a través de la toma de fuerza, entregando una potencia de 1 hp.
- Materia: el chícharo está sembrado en surcos de doble hilera, con una separación de 60 cm entre surcos y 25 cm entre hileras. El cabezal recolector recoge las vainas junto con los restos de la planta y las introduce en la máquina.

b) Salidas:

- Señal: las revoluciones por minuto se controlan ajustando el diámetro de poleas, engranajes o estrellas acoplados a los ejes de los componentes móviles.
- Energía: la energía mecánica se conserva y se utiliza para generar movimiento a través de sistemas de transmisión de potencia.
- Materia: el chícharo se deposita en la parte trasera de la cosechadora, donde se limpia de restos de planta. Los restos se expulsan al suelo por la parte lateral de la cosechadora mediante el módulo de separación.

En la Figura 3 se presenta de manera esquemática la secuencia de operaciones de la máquina



Figura 3. Diagrama de secuencia de operaciones (elaboración propia).

Buscar principios de solución

Esta etapa se realizó por medio de lluvia de ideas de las posibles soluciones para cada operación planteada, para ello se consideraron: mecanismos, sistemas de transmisión de potencia, métodos de ensamble, entre otros elementos. Es en esta sección donde se determinan las técnicas con mayor índice de adaptabilidad y que proporcionen mejor armonía en el desarrollo de la solución.

Dividir en módulos realizables

- a) Primer módulo: se encarga de la transmisión de potencia mecánica y está conformado por poleas, bandas en V, así como reductores de velocidad. La potencia será proporcionada por un solo actuador eléctrico, que estará conectado mediante poleas a los reductores de velocidad por medio de bandas de transmisión.
- b) Segundo módulo: se ocupa de la recolección y alimentación. Se ha decidido utilizar un molinete recolector, y la alimentación se logrará mediante el giro del molinete, que arrancará las vainas junto con los restos de la planta, ingresándolos en el interior de la cosechadora.
- c) Tercer módulo: se centra en el transporte del chícharo. La elevación y transporte se realizarán mediante una banda transportadora, accionada por un sistema de transmisión con bandas en V, que moverá el rodante motriz ubicado en la parte superior de la banda.

- d) Cuarto módulo: se encarga de la separación de las vainas de los restos de hojas y tallos. La separación se realizará mediante una turbina extractora situada sobre la banda transportadora, que expulsará los restos por la parte lateral de la cosechadora.
- e) Quinto módulo: abarca las funciones de preparación y acoplamiento de la máquina. Tras el análisis, se determinó que estas tareas se realizarán manualmente debido a su practicidad, bajo riesgo para la o el operador y mínimo esfuerzo físico requerido. Este módulo está compuesto por el chasis o estructura principal, sobre el cual se montarán los módulos subsecuentes, así como las cubiertas.

Desarrollar arreglos de los módulos claves

En esta etapa se realizó el diseño de los módulos que componen la máquina y se seleccionaron los componentes estructurales normalizados, priorizando aquellos disponibles y de fácil acceso en el mercado. Posteriormente, dichos elementos fueron validados mediante análisis estructurales de esfuerzos para comprobar su desempeño mecánico. Por motivos de extensión, las operaciones matemáticas empleadas en los cálculos no se incluyen en este documento; sin embargo, fueron consideradas en el desarrollo del análisis y sustentan los resultados obtenidos en las simulaciones presentadas.

El diseño se fundamenta en los módulos:

a) Sistema de transmisión de potencia

En esta etapa se analizó de manera matemática y por simulación por computadora el comportamiento de los ejes de transmisión críticos para el

funcionamiento del dispositivo; en la Figura 4 se visualizan las simulaciones de cortantes y momentos realizados en el eje del molinete, de igual forma se realizaron estudios a los ejes de transmisión de potencia.

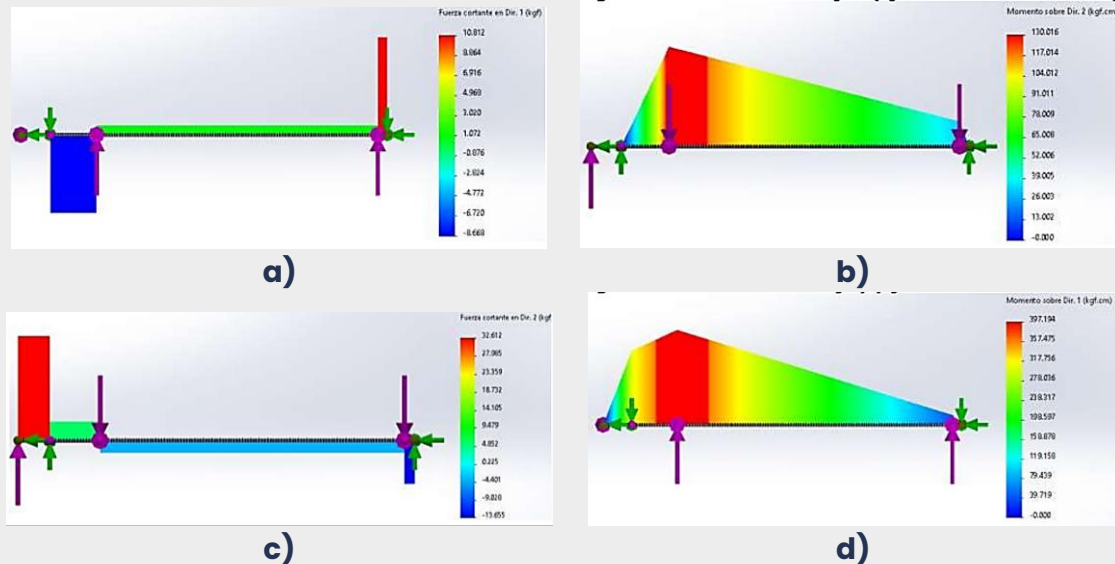


Figura 4. Simulación del eje del molinete. a) Cortantes del eje x. b) Momentos en el eje x. c) Cortantes en el eje y. d) Momentos en el eje y. Fuente: elaboración propia

b) Sistema de recolección

Se compone principalmente por un molinete constituido por diez filas de 18 ganchos con una separación de cinco cm, siendo estos los encargados de sujetar las vainas de la planta y realizar su separación. Estas diez filas se ubican de manera radial sobre discos de soporte; en la Figura 5 se puede apreciar el molinete de recolección.

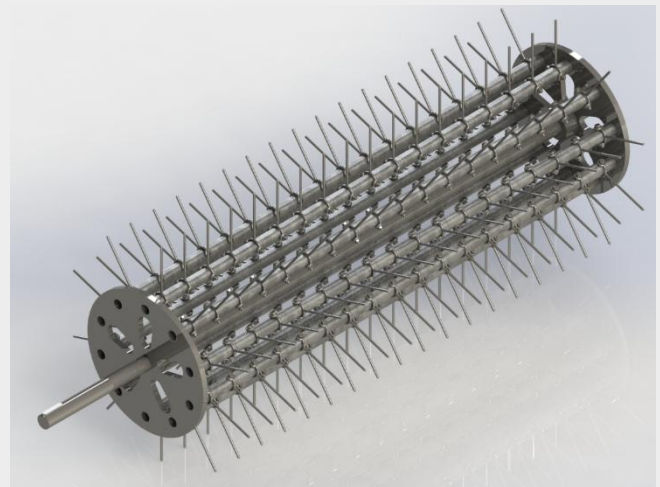


Figura 5. Molinete de recolección (elaboración propia)

Para el desarrollo del molinete se realizó el análisis mecánico del eje rotacional, siendo este el elemento que se encuentra a mayor concentración de esfuerzo debido a las cargas axiales que posee. El análisis mecánico se realizó de manera algebraica y por medio de simulación con la herramienta SolidWorks.

c) Sistema de transporte

Se desarrolló una banda transportadora para la traslación y elevación de las vainas de chícharo para su embalaje, dicha banda presenta dos secciones: la inicial, en la cual la vaina de chícharo con residuos de rastrojo pasará por una etapa de separación; y la final, que presenta una inclinación de 25° para generar la elevación adecuada a fin de facilitar la recolección a la salida de la máquina; en esta sección son colocadas nervaduras para aumentar la fricción entre los elementos transportados y la banda, con la finalidad de reducir el deslizamiento de estos debido a la inclinación. En la Figura 6 se puede visualizar el sistema de transporte.

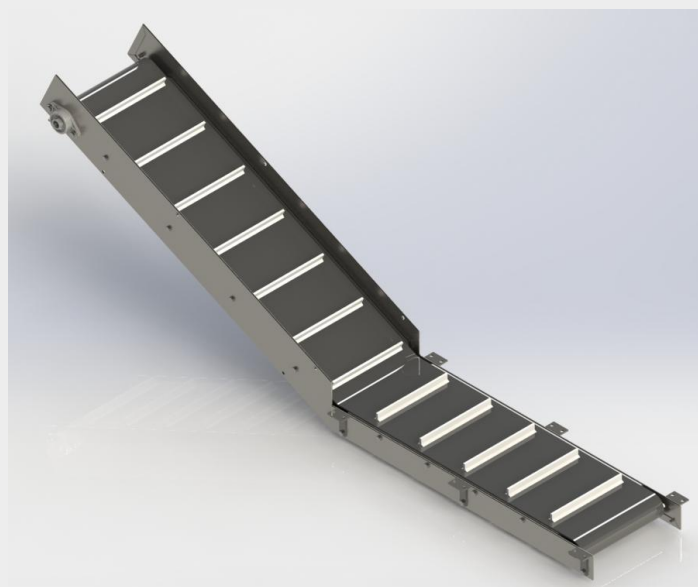


Figura 6. Sistema de transporte de material de salida (elaboración propia)

d) Sistema de separación

El módulo de separación de residuos se constituye principalmente por una turbina extractora de diez alabes distribuidos de manera uniforme a lo largo del contorno de la turbina. La distancia entre cada una es de 5.5 cm, así mismo cuenta con un ancho de 12 cm, esto con el fin de permitir el pase de los residuos succionados de la planta y que no ocurran obstrucciones. Dicha turbina se compone por un ducto de entrada de aire, por el cual será arrastrado el residuo, ya que esta genera un efecto de vacío con una presión suficiente para arrastrar hojas y tallos, pero no a las vainas de chícharo. En la Figura 7 se observa el sistema de extracción.



Figura 7. Módulo de separación de residuos (elaboración propia)

e) Estructura

La estructura corresponde al chasis sobre el cual estarán los módulos anteriores, para esta se seleccionaron perfiles PTR de 30 x 30 x 2 mm para su fabricación. Tiene unas dimensiones de 85 cm x 225 cm x 30 cm (véase la Figura 8). Sobre esta estructura se ensamblarán los distintos módulos diseñados. Con el objetivo de proporcionar una estructura maniobrable y de fácil mantenimiento, se decidió fijar los componentes mediante tornillería normalizada DIN (*Deutsches Institut für Normung*) M6×40 y M8×45 para la sujeción de los reductores. Esta selección garantiza la resistencia mecánica adecuada y la disponibilidad comercial de los elementos empleados.

Completar el arreglo general

Una vez desarrollados los módulos que componen la máquina se prosiguió al ensamblaje de todos los componentes para el análisis visual del dispositivo, así como para realizar los ajustes pertinentes antes de su fabricación. En la Figura 8 se puede visualizar la conjunción total de los módulos desarrollados y se observa la secuencia de operaciones de la cosechadora. El proceso de recolección consiste en desplazar el recolector de manera lineal en dirección a las hileras de cultivos. El molinete gira, haciendo una vista frontal de la cosechadora, en sentido contrario a las manecillas del reloj. Los ganchos realizan una acción de cepillado sobre las vainas, buscando desprender las vainas de chícharo de la planta. Las vainas, junto con algunos restos de la planta, podrán ser introducidas en la zona horizontal de la banda transportadora. Los restos de la planta serán extraídos mediante la turbina extractora, y las vainas serán depositadas en la parte trasera de la cosechadora, donde se encuentra un área destinada al almacenamiento, que puede colocar rejas o cajas para la recolección del cultivo.

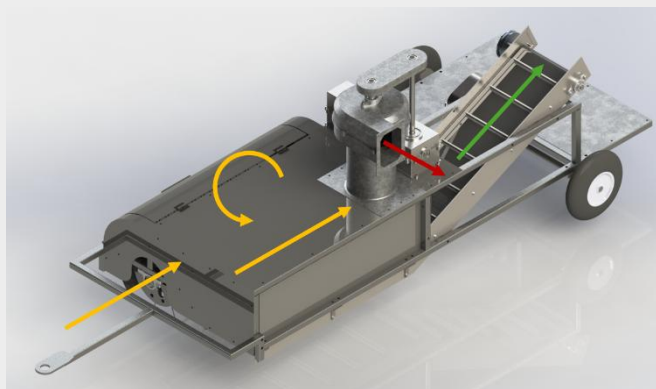


Figura 8. Ensamblaje final de la cosechadora de chícharo (elaboración propia)

Resultados

Dentro de los resultados en las simulaciones de esfuerzo-deformación realizados a los componentes críticos del sistema, se tiene que la estructura presenta un desplazamiento máximo de 0.218 mm en la zona de instalación de la banda transportadora, provocado por su masa. En esta área también se concentra el peso de otros módulos, como el de separación, que incluye el extractor y los reductores responsables de mover el molinete recolector y la turbina. La Figura 9 muestra una escala de colores que indica las zonas donde la estructura experimenta deformaciones debido al peso de estos módulos. A un costado de la estructura, se observa la escala de las unidades resultantes de desplazamiento (URES), medidas en milímetros. En general, se aprecia que la estructura presenta deformaciones por debajo de criterios habituales de servicio para bastidores de maquinaria (por ejemplo, $L/500 = 4.5$ mm para una longitud de 225 cm), lo cual refuerza la aceptabilidad de las deformaciones encontradas en las simulaciones.

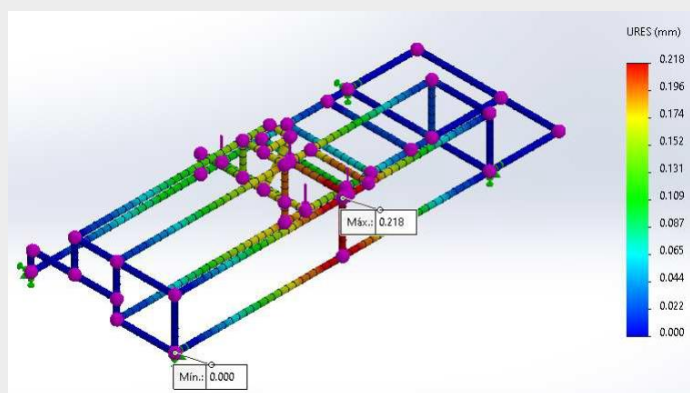


Figura 9. Análisis de deformación de sistema estructural (elaboración propia)

En la Figura 10 se observa que el elemento estructural analizado mediante el método de elementos finitos presenta un factor de seguridad confiable. Además, el mecanismo no está sometido a cargas que comprometan su integridad estructural. La escala de colores muestra que el factor de seguridad (FDS) no alcanza valores críticos que puedan afectar el funcionamiento, manteniéndose por encima de 3, lo que implica que la estructura analizada puede soportar hasta tres veces la carga máxima esperada antes de fallar.

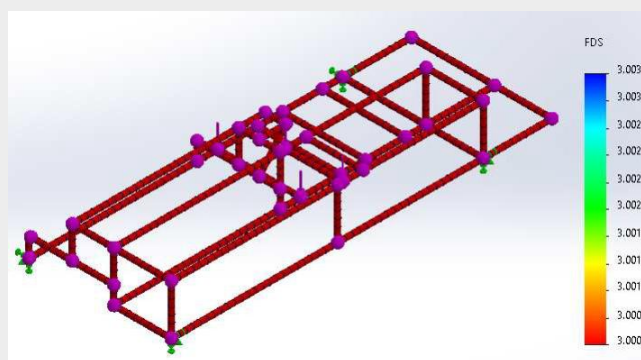


Figura 10. Análisis por elemento finito al sistema estructural (elaboración propia)

Así mismo se realizó un análisis de fluidos en la turbina con diferentes velocidades de giro. En la Figura 11 se presentan iteraciones a diferentes revoluciones: a 500 rpm cuenta con velocidades de 8.895 m/s en el interior de la turbina y una velocidad de extracción que va desde los 0.988 m/s hasta los 2.965 m/s; a 550 rpm cuenta con velocidades de 9.785 m/s en el interior de la turbina y una velocidad de extracción que va desde los 1.087 m/s hasta los 3.262 m/s; y a 600 rpm cuenta con velocidades de 10.672 m/s en el interior de la turbina y una velocidad de extracción que va desde los 1.186 m/s hasta los 3.372 m/s. Este comportamiento indica una mejora progresiva en la capacidad de succión y transporte del fluido, manteniendo una distribución uniforme del flujo, lo cual valida el diseño geométrico del impulsor.

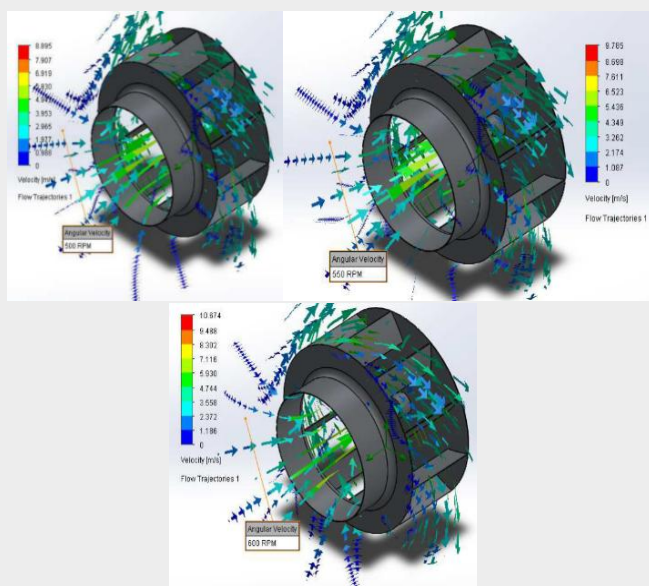


Figura 11. Análisis de fluidos de turbina extractora a diferentes RPM (elaboración propia)

Discusión

En el transcurso de esta investigación surgieron ciertos aspectos que no se abordaron por completo, los cuales podrían ser de gran valor para proyectos de investigación donde se desee utilizar este estudio como base para perfeccionarlo. A continuación, se proponen algunas líneas de investigación futura:

- Desarrollo del sistema de electrónica de potencia
- Diseño del sistema energético
- Optimización del sistema de suspensión
- Evaluación profunda del módulo de separación
- Diseño del sistema de control autónomo

Conclusiones

Tras llevar a cabo un exhaustivo proceso de diseño y análisis, así como la investigación de los requerimientos técnicos necesarios para el desarrollo del mecanismo recolector de vainas de chícharo, se han obtenido importantes conclusiones que resaltan la viabilidad y eficacia del proyecto.

La investigación de los requerimientos técnicos reveló la necesidad de diseñar un sistema multifuncional que abordara diversas etapas del proceso de recolección de vainas de leguminosas. Se logró satisfacer estas necesidades mediante el diseño de un sistema de corte preciso que arranca las vainas sin dañarlas, un sistema de transporte eficiente que dirige el cultivo hacia el área de almacenamiento y un

sistema de extracción de residuos que separa la hojarasca de la cosecha de manera efectiva.

Se diseñó un sistema de transmisión de potencia mecánica utilizando un diferencial compuesto por engranajes cónicos, así como un sistema de poleas para controlar las rpm especificadas. Estos componentes permiten una transmisión eficiente de la potencia, garantizando un funcionamiento suave y confiable del mecanismo recolector.

En la simulación se obtuvo el factor de seguridad y el desplazamiento de componentes clave, como el eje del molinete de recogida, un eje de transmisión de potencia y los soportes de la banda transportadora, confirmando que estos cuentan con una resistencia óptima bajo las condiciones operativas. Además, se realizó un análisis de fluidos en la turbina extractora de tipo centrífuga, lo que permitió observar el comportamiento del aire en términos de dirección y velocidad, pudiendo observar su adecuado funcionamiento en términos de extracción. Cabe mencionar que, al ser solo una etapa de diseño, se corre el riesgo de que el comportamiento en físico sea diferente al de las simulaciones.

Referencias

1. RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, Sonia; Gaona-Pineda, Elsa Berenice; Martínez-Tapia, Brenda; Romero-Martínez, Martín; Mundo-Rosas, Verónica y Shamah-Levy, Teresa. Inseguridad alimentaria y percepción de cambios en la alimentación en hogares mexicanos durante el confinamiento por la pandemia de Covid-19. *Salud Pública de México*. [En línea]. Vol. 63 (6), p. 763-772. Nov-dic. 2021. [Fecha de consulta: 07 de noviembre de 2024]. DOI: <https://doi.org/10.21149/12790> ISSN: 1606-7916.
2. CONEVAL. *Medición de la pobreza. Pobreza en México. Resultados de pobreza en México 2020 a nivel nacional y por entidades federativas*. [En línea]. 2021. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2020.aspx
3. FAO. *El sistema alimentario en México: oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*. [En línea]. Ciudad de México: FAO, 2019. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0c41184e-c56b-49ca-ad9d-dc42d052a433/content>
4. LÓPEZ, Mario y Guadarrama, Ma. Eugenia. Tecnología de producción para el cultivo de chícharo. [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en <https://icamex.edomex.gob.mx/sites/icamex.edomex.gob.mx/files/files/publicaciones/2016/Cultivo%20de%20chicharo%202016.pdf>
5. FAO. *Nuestras legumbres: pequeñas semillas, grandes soluciones*. [En línea]. Ciudad de Panamá: FAO. 292 pp. 2018. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0c41184e-c56b-49ca-ad9d-dc42d052a433/content>
6. ICAMEX: Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal; Gobierno del Estado de México. *Cultivo de chícharo*. 2024. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en <https://icamex.edomex.gob.mx/chicharo>
7. MIU, Petre I. *Combine Harvesters: Theory, Modeling, and Design*. CRC Press, 2015. ISBN: ISBN 9781466505124.
8. CLAAS. *Cabezales – cosechadora* | CLAAS. 2020. Disponible en https://www.claas.com/es-es?subject=D10030100_es_ES
9. ARIAS, Khaterine; Sánchez, Michael; Betancourt, Fernando José; Leguizamón, Gabriela; García, Rafael Guillermo y Mendoza, Diego. Estudio de las actividades relevantes en el diseño de productos: modelo VDI 2221 frente al modelo metodológico I+P+D³. *Revista Espacios*. [En línea]. Vol. 39 (9). 2018. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2024]. Disponible en <https://revistaespacios.com/a18v39n09/18390922.html> ISSN: 2739-0071.

Fecha de recepción

13/11/2024

Fecha de aceptación

19/11/2025

Fecha de publicación

30/01/2026

Sistema de almacenamiento para el área de embarques en empresa de inyección de aluminio

Storage System for the Shipping Area in an Aluminum Injection Company

Martha Gabriela Gutiérrez Cortés y Jazmín Torres Juárez / Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

Resumen

El área de embarques en un almacén desempeña un papel crucial en la eficiencia logística. Se realizó una investigación documental y de campo en una empresa dedicada a la fundición e inyección de aluminio, con el objetivo de evaluar y optimizar el control de mercancías. Se aplicó un enfoque cuantitativo descriptivo mediante recolección de datos y análisis estadístico, y la implementación de un sistema de escaneo continuo para registrar diariamente la entrada y salida de palets en el inventario, incluyendo cantidad y características del producto terminado. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en la trazabilidad y reducción de errores en la gestión de mercancías. Se disminuyeron los tiempos de búsqueda y mejoró la precisión en el flujo operativo. La incorporación de estrategias sistemáticas basadas en tecnología de escaneo contribuyó a una logística más eficiente, garantizando un control confiable y ágil. Este modelo fortaleció la gestión de inventarios y optimización de procesos.

Palabras clave: almacén, embarques, producto terminado, gestión

Abstract

The shipping area in a warehouse plays a crucial role in logistical efficiency. A documentary and field study was conducted in a company dedicated to aluminum casting and injection, with the aim of evaluating and optimizing merchandise control. A descriptive quantitative approach was applied through data collection and statistical analysis, along with the implementation of a continuous scanning system to record daily pallet entries and exits in inventory, including quantity and characteristics of the finished product.

The results showed significant improvements in traceability and a reduction in errors in merchandise management. Search times were reduced, and accuracy in operational flow improved. The incorporation of systematic strategies based on scanning technology contributed to more efficient logistics, ensuring reliable and agile control. This model strengthened inventory management and process optimization.

Keywords: warehouse, shipping, finished product, management

Introducción

La logística se trata de un proceso mental que deberá suceder antes de cualquier situación final en la que se pretenda un resultado exitoso¹. Esto se aplica a la gestión de mercancías y producto terminado, pues el área de embarques representa un desafío crucial para muchas empresas: requiere coordinar múltiples factores como control de inventario, tiempos de preparación y expedición, así como implementar estrategias que atraigan nuevos clientes, aumenten la rentabilidad y reduzcan los costos operativos.

De acuerdo con principios de la ingeniería industrial y logística, un manejo eficiente del inventario y de los flujos de salida es esencial para minimizar tiempos muertos, prevenir incidencias y garantizar niveles de servicio óptimos. En esta investigación se implementaron estrategias específicas para reducir tiempos muertos durante el ingreso, gestión, preparación y expedición de mercancías. Además, se planteó un enfoque de mejora continua, donde se contempla un diseño optimizado de almacenamiento, control diario mediante escaneo de palets, y estandarización de procesos para asegurar una trazabilidad eficiente del producto terminado.

En concreto, se presentó una propuesta de diseño orientada a mejorar la gestión del almacén, basada en el análisis de la situación actual y sus áreas de oportunidad. Esto incluyó determinar herramientas de control para entradas y salidas, se implementó el escaneo diario de materiales

para reducir retrabajos e incidencias, protegiendo así la calidad del servicio y la satisfacción del cliente.

Objetivo

Implementar un sistema integral de almacenamiento, control y acomodo de mercancía para el área de embarques, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa, mediante la clasificación adecuada de espacios, la optimización de ubicación del material y la implementación de registros automatizados por escaneo para el control de entradas y salidas de mercancía.

Planteamiento del problema

El flujo mal planificado causa retrasos, se deriva en búsquedas prolongadas de los productos y por lo tanto genera cuellos de botella, que se visualizan con un efecto dominó en el proceso, afectando el *picking*, empaque y embarque, todo esto al interior de la empresa.

La falta de visibilidad en el proceso, aunado a que no se hace un seguimiento en tiempo real, da como resultado la mala coordinación entre recepción y almacén, así como la congestión en muelles y el retraso de la salida, lo que frena el proceso logístico.

Otro factor que se suma a la problemática es el personal, cuando no está debidamente capacitado, lo que genera errores en el proceso y repercute en un desgaste humano que afecta al equipo y entorno de trabajo.

Todo lo anterior da como resultado para la empresa que se retrasen las entregas, se exceda el presupuesto y baje la competitividad.

Marco teórico

La logística incluye todas las actividades necesarias para movilizar tanto productos como información a, de y entre los integrantes de la cadena de suministro².

En un almacén se puede localizar como parte de la estrategia de la empresa en diferentes momentos de la cadena de suministro, ya sea como almacén de materias primas y componentes, producto en curso, productos terminados, así como almacenes de distribución, regionales o de recambio³.

Los almacenes actúan como centros que regulan el flujo de inventario, diseñados y organizados estratégicamente para ejecutar funciones de recepción, custodia control y expedición de productos⁴.

Se busca la máxima efectividad en las entregas de los productos a las y los compradores finales y se conoce como el momento de la verdad o *face to face* con el cliente, ahí es donde se pueden verificar todas las variables logísticas⁵.

Método de trabajo

La investigación se desarrolló con el objetivo de analizar y mejorar los procesos del área de embarques en una empresa dedicada a la fundición e inyección de aluminio. Se empleó un enfoque metodológico mixto, que combinó investigación documental y de campo.

La fase documental consistió en la revisión de registros históricos, manuales operativos e inventarios de la empresa, lo que permitió comprender el contexto organizacional y los procedimientos existentes.

La investigación de campo incluyó observación directa de las actividades realizadas cotidianamente en el área de embarques, así como entrevistas con el personal involucrado en la preparación y salida de mercancías. Con base en esta información, se definieron las actividades, tiempos de ejecución y puntos de revisión mediante el uso de un diagrama de Gantt, facilitando la planificación y el seguimiento del proyecto

Durante el diagnóstico se analizaron los procesos relacionados con la gestión de producto terminado, considerando los números de parte, los clientes asociados y la ubicación de las mercancías antes de su registro en el sistema. Asimismo, se identificaron las actividades necesarias para la preparación de los embarques una vez que el material se encuentra en el área correspondiente.

Se llevaron a cabo recorridos de reconocimiento y la clasificación de zonas para mejorar la identificación y localización de materiales. Para el análisis de las causas que afectan el flujo de materiales y la preparación de embarques, se utilizó el diagrama de Ishikawa, una herramienta visual que permitió identificar factores relacionados con métodos de trabajo, maquinaria, materiales, entorno, medición y personal (ver la Figura 1).

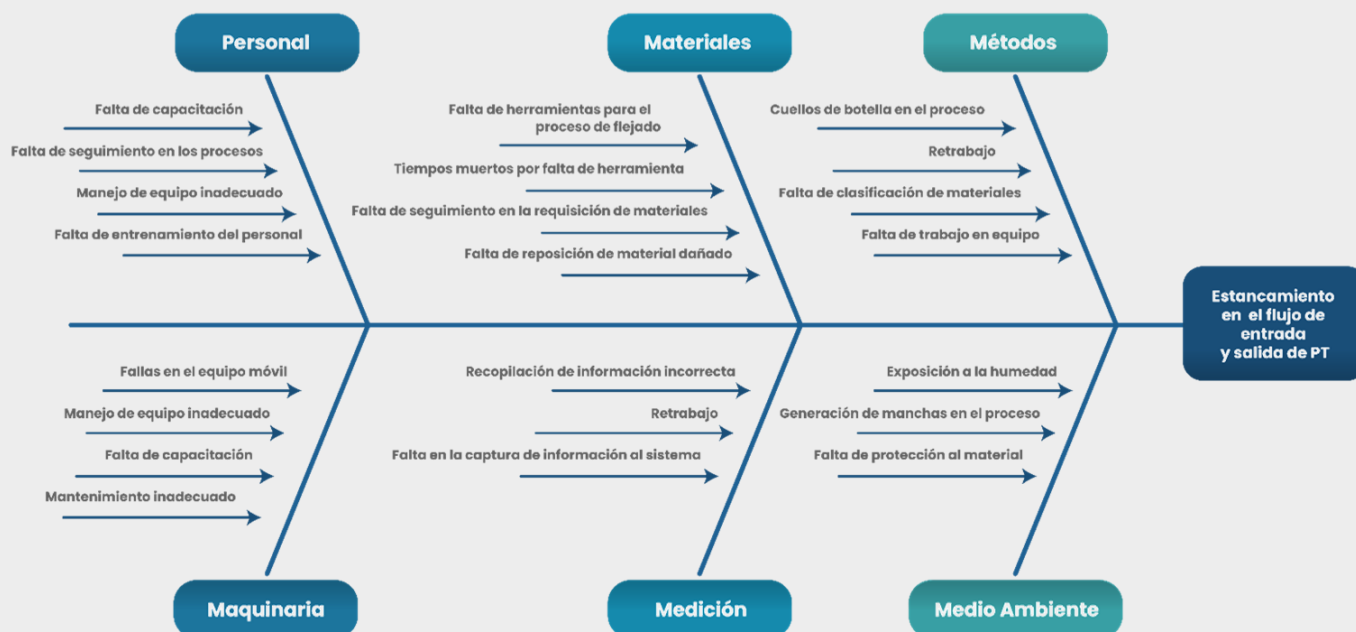


Figura 1. Diagrama de Ishikawa para el área de embarque. Fuente: elaboración propia

Como resultado del análisis, se implementó un registro en hoja de cálculo para verificar las cantidades de mercancía ingresadas conforme a la producción diaria, complementado con el software interno de la empresa para el control de entradas y salidas. Esta medida permitió reducir tiempos de identificación de materiales y mejorar la precisión en la preparación de los embarques.

Adicionalmente, se propuso un rediseño del almacenamiento del área de producto terminado mediante un *layout* clasificado por clientes, con el fin de evitar la mezcla de mercancías y facilitar su estiba e identificación. Este diseño contribuyó a mejorar el flujo de entrada y salida, así como

a reducir movimientos innecesarios durante la preparación de embarques.

La incorporación del escaneo de materiales permitió optimizar el control del inventario, registrando información clave como: fecha del palet, número de parte, código QR y responsable del escaneo. Finalmente, la implementación del modelo PDCA (planificar, hacer, verificar y actuar) fomentó la mejora continua, fortaleció el trabajo colaborativo y redujo incidencias operativas en el área de embarques.

Resultado y análisis de datos

Como resultado se detectó que en el proceso de escaneo de materiales el control no se llevaba a cabo de forma continua en el área, de manera que se siguiera el modelo de primeras entradas y primeras salidas (PEPS). Al respecto, cabe considerar que existen diferentes procesos que configuran la gestión de almacenes, por lo tanto, cada organización deberá analizar y aplicar la que favorezca a su operación y contribuya a logro de objetivos⁶.

Mediante la realización de un estudio del proceso, se identificaron elementos que afectan directamente a la operación y expedición de embarques en la empresa. Para determinar un mejor flujo de las mercancías, se propuso la implementación de un *layout*, llevado a cabo mediante el software SolidWorks. El diseño fue tomado en cuenta para la clasificación de las mercancías y estandarización de las áreas, con la finalidad de reducir los tiempos de

búsqueda del material y tener un mejor control en el acomodo de los materiales (véase en la Figura 2).

Por otra parte, los inventarios incluyen todos los artículos utilizados en la producción (materia prima, productos en proceso, los destinados al apoyo operativo, suministros de mantenimiento y reparación)⁷, por ello en el área de embarques el nuevo formato establece un acomodo estandarizado y clasificado de materiales por cliente, así como una zona específica para productos listos para su expedición. Este diseño facilita la estandarización de procesos y la organización eficiente del espacio en la zona de salida de la mercancía.

Con la implementación de este modelo, el flujo ha mejorado notablemente, facilitando la localización por número de parte y tipo de cliente. Además, se consideró el acomodo inicial en los *racks* A, B, C, D, E, F, G, H, I y J, lo que ha optimizado la eficiencia operativa.



Figura 2. Layout actualizado para el área de embarque, realizado mediante SolidWorks.

Fuente: elaboración propia

La estandarización de las mercancías mediante el nuevo *layout* se integra al modelo PEPS (primeras entradas, primeras salidas) para optimizar el flujo de mercancías en la selección, preparación y expedición.

En la zona de rampas se llevan a cabo maniobras para la descarga de empaque vacío y la carga de producto terminado. Por lo anterior, se determinó que es necesario tener un espacio óptimo para llevar a cabo dichas maniobras. Sin embargo, en el área sólo se tiene acceso a una rampa, esto debido al exceso de material que no se tenía contemplado y al no tener un almacén externo donde se e pudieran guardar dichos materiales, es necesario que el flujo de éstos con el uso de una sola rampa sea efectivo y se pueda dar salida a los transportistas, por lo que fue habilitada la llegada del transporte a la rampa número 1.

Para llevar a cabo el escaneo de materiales se registró la información en un formato actualizado en hoja de cálculo, de esta forma se compararon los resultados de escaneo que se lleva a cabo diariamente (en días laborales de lunes a sábado y días programados por paro de línea) para llevar un registro adecuado de entrada de PT (producto terminado).

Los formatos que se utilizaban fueron modificados tomando en cuenta la necesidad de tener mayor control para la entrada, preparación y expedición de mercancías. Se llevó a cabo un escaneo de los números de parte, que no contaban con una hoja de identificación y un código QR, y posteriormente el registro se llevó a cabo en una hoja de cálculo (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Control de escaneo 2025. Fuente: elaboración propia

Empresa				FECHA DE ESCANEO: viernes 05-03-2024		
				CHECK LIST DE CONTROL DE ESCANEO Y ENTRADA DE PT		
FECHA DE PALL	N.P.	Piezas x pallet	CODIGO QR	ENGRAPADO DE HOJAS	FLEJADO / EMPLOYADO	RESPONSABLE
05/03/2025	7231	288	19472	OK	OK	VÁZQUEZ
04/03/2025	7231	288	19473	OK	OK	VÁZQUEZ
04/03/2025	7231	288	19474	OK	OK	VÁZQUEZ
04/03/2025	6421	288	19475	OK	OK	VÁZQUEZ
04/03/2025	6421	288	19476	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	6223	288	19477	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	7231	288	19478	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	4380	480	19479	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	6421	288	19480	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	7628	336	19481	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	7628	336	19482	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	6421	288	19483	OK	OK	VÁZQUEZ
03/03/2025	4812	480	19484	OK	OK	VÁZQUEZ
05/03/2025	9237	1352	19485	OK	OK	VÁZQUEZ
02/03/2025	9237	1352	19472	OK	OK	VÁZQUEZ
02/03/2025	9237	1352	19473	OK	OK	VÁZQUEZ
Total		8280				

El escaneo presentó áreas de mejora durante los meses de abril y mayo del año 2025; las modificaciones al formato llevaron a la estandarización del flujo de entrada de PT, una vez que los artículos llegaban al área de embarques.

Se estableció un modelo de PDCA (planificar, hacer, verificar y actuar) en el área de embarques; este ciclo se llevó a cabo una

vez al mes, con la finalidad de detectar hallazgos y elementos que representan un retrabajo en cualquiera de las actividades que se realizan dentro del proceso.

Mediante los formatos establecidos, la estandarización y control de los procesos ha reflejado un mejor control para el seguimiento (ver las figuras 3, 4 y 5).

[illegible]

Figura 3. Pasos 1 (planear) y 2 (hacer) del modelo PDCA. Fuente: elaboración propia

PDCA PASO 3: VERIFICAR

(PLAN DE ACCIONES) (¿CUANTO?)

PDCA No. :

FECHA:

1a Revisión	Tumo	Hallazgos en el área	total	Observaciones	Responsable de la inspección:	Fecha:
	1o		0			
	2o		0			
	Todas las acciones propuestas han sido terminadas				SI ☐	NO ☐
	Si es no explicar:					

2da Revisión	Tumo	Hallazgos en el área	total	Observaciones	Responsable de la inspección:	Fecha:
	1o		0			
	2o		0			
	Todas las acciones propuestas han sido terminadas				SI ☐	NO ☐
	Si es no explicar:					

Resultados	Efectividad 0-64%	Efectividad 65-84%	Efectividad 85-100%	Comentarios

Figura 4. Paso 3 (verificar) del modelo PDCA. Fuente: elaboración propia

PDCA PASO 4: ACTUAR		Fecha:	
ESTANDARIZACIÓN			
PROBLEMA		RESPONSABLE	
PRODUCTO / ZONA		PDCA No.	
No. DEPARTE		FECHA APERTURA	
CLIENTE		FECHA DE CIERRE	
ESTANDARIZACIÓN			
Hacer una lista de actividades para el seguimiento de mejora en el área		Cuáles son las intenciones que se deben llevar a cabo para impedir la recurrencia del problema	
PERSPECTIVAS			
Hallazgos		Impacto de Acciones	
Enlistar los elementos que no siguen el plan de acción en el área		Qué impacto ha tenido en el área el plan de acción	
Firma del líder de área:		Firma del supervisor:	

Figura 5. Paso 4 (actuar) del modelo PDCA. Fuente: elaboración propia

También mejoró la implementación y el seguimiento de indicadores clave, como precisión de pedidos, trazabilidad, error en los inventarios (ver la tabla siguiente).

Tabla 2. Indicadores para el área de embarques durante el año 2025.
Fuente: elaboración propia

Indicador (KPI)	Definición	Meta a mantener
Precisión de pedidos	% de pedidos enviados sin errores / cantidad	99 %
Trazabilidad	% de movimientos escaneados / registrados	≥ 99 %
Precisión en los inventarios	Coincidencia entre inventario físico y sistema	97 – 99 %

La implementación de un sistema integral de almacenamiento, control y acomodo de mercancía para el área de embarques mejoró en un 20 % la eficiencia global del departamento de embarques.

Discusión

A partir del desarrollo del presente estudio, se identificaron diversos factores que impactan directamente el flujo de entrada y salida de mercancías en el área de embarques de la empresa. Los resultados obtenidos evidencian que la presencia de tiempos muertos durante las actividades de preparación y expedición representaba una de las principales limitantes para la eficiencia operativa. La reducción de estos periodos de inactividad permitió optimizar el flujo de trabajo, disminuir la duración del proceso de embarque y fortalecer la coordinación entre el personal involucrado, favoreciendo un desempeño más preciso y eficiente.

Asimismo, el análisis de las condiciones físicas del área mostró que la distribución del espacio influye de manera significativa en el desempeño operativo. Fue necesario considerar decisiones gerenciales relacionadas con la organización de turnos y descansos del personal operativo y administrativo, ya que estas variables impactan la disponibilidad de recursos humanos en momentos críticos del proceso logístico.

La clasificación de materiales por cliente en el área de embarques y en los *racks* demostró ser una estrategia viable para reducir los tiempos de búsqueda y minimizar el riesgo de extravío o mala localización de mercancías. En este sentido, la actualización del *layout* permitió una visualización clara de la redistribución del producto terminado, facilitando la preparación de los embarques subsecuentes.

Finalmente, la implementación del escaneo de materiales se consolidó como un elemento clave para garantizar la trazabilidad y el control confiable del inventario. La identificación individual de cada palet mediante códigos QR fortaleció el seguimiento de entradas y salidas, redujo errores humanos y contribuyó a una gestión más eficiente del área de embarques, validando la pertinencia de las estrategias propuestas.

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que la incorporación del escaneo de materiales en el área de embarques representó un avance significativo en la forma de controlar y organizar las mercancías. A diferencia del

sistema anterior, basado en registros manuales y con alta probabilidad de error, el nuevo modelo permitió contar con información actualizada, precisa y confiable sobre cada palet, lo que fortaleció la trazabilidad y el control diario del inventario.

La adopción del modelo de mejora continua PDCA (planificar, hacer, verificar y actuar) facilitó la identificación de fallas operativas y áreas de oportunidad, promoviendo la estandarización de actividades clave como el acomodo de materiales, la liberación de pasillos y el cumplimiento de las normas de empaque. Estas acciones contribuyeron a reducir incidencias, mejorar la coordinación del personal y optimizar los tiempos de preparación y salida de los embarques.

Por lo que se refiere al rediseño del *layout* del área de embarques y la clasificación de mercancías por cliente y número de parte, integrados al principio PEPS, permitieron un flujo más ordenado y eficiente, incluso bajo la limitación de contar con una sola rampa de carga. Como resultado, la eficiencia global del área de embarques se incrementó aproximadamente en un 20%.

En conjunto, la experiencia presentada demuestra que la aplicación de herramientas tecnológicas sencillas, combinadas con una correcta organización del espacio y una cultura de mejora continua, puede generar beneficios tangibles en la operación logística. Este

modelo resulta viable y replicable en empresas de distintos sectores que busquen fortalecer el control, la eficiencia y la confiabilidad de sus procesos de embarque.

Referencias

1. GÓMEZ, Juan Miguel. *Gestión logística y comercial*. Ciudad Real, España: McGraw-Hill Education. 2014. ISBN: 978-84-481-8406-3.
2. BOWERSOX, Donald J., Closs, David J. y Cooper, M. Bixby. *Administración y logística en la cadena de suministros*. 2ª. Edición. México: McGraw-Hill. 2007. ISBN: 978-970-10-6132-9.
3. CHACKELSON, Claudia. *Metodología de diseño de almacenes: fases, herramientas y mejores prácticas*. [Tesis]. Donostia-San Sebastián, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra. 2013. Disponible en <https://hdl.handle.net/10171/28159>
4. ESCUDERO SERRANO, Ma. José. *Logística de almacenamiento*. Madrid: Paraninfo. 2014. ISBN: 978-84-2832-965-1.
5. MORA GARCÍA, Luis Aníbal. *Indicadores de la Gestión Logística*. 2ª. edición. Bogotá: ECOE Ediciones. 2015. 129 pp.
6. CORREA ESPINAL, Alexander Alberto; Gómez Montoya, Rodrigo Andrés y Cano Arenas, José Alejandro. Gestión de almacenes y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). *Estudios Gerenciales*. [En línea]. Vol. 26 (117): pp. 145-171. Octubre-diciembre 2010. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2025]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21218551008> ISSN: 0123-5923.
7. DURÁN, Yosmary. Administración del inventario: elemento clave para la optimización de las utilidades en las empresas. *Visión Gerencial*. [En línea]. Año 11, núm. 1, pp. 55-78. Enero-junio 2012. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2025]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545892008.pdf> ISSN: 1317-8822.

Fecha de recepción

18/07/2025

Fecha de aceptación

25/09/2026

Fecha de publicación

30/01/2026

La Revista Reacción actúa como mero difusor, por lo que el contenido y opiniones del artículo son responsabilidad exclusiva de los autores y autoras, y no representan la opinión oficial de la Revista Reacción, ni de la Universidad Tecnológica de León.

La revista adquiere los derechos patrimoniales de los artículos solo para difusión sin ningún fin de lucro. Las personas que utilicen la información contenida en la revista para su difusión están obligadas a referenciar la revista como fuente de información.

REA>XION

Ciencia y tecnología universitaria



latindex

PERIÓDICA
Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

 **Actualidad Iberoamericana**
Índice Internacional de Revistas

Google Académico


UTL
LEÓN