

Estudio piloto sobre la evaluación del crecimiento de un cultivo de maíz con la utilización de un aislante biodegradable elaborado a partir de hojas de piña

Pilot study on the evaluation of the growth of a maize crop using a biodegradable insulator made from pineapple leaves

Rooney Meza-Castillo¹, Gustavo Carazo-Berrocal²,
Juan José Mora-Román³

Fecha de recepción: 29 de setiembre, 2025
Fecha de aprobación: 20 de enero, 2026

Meza-Castillo, R; Carazo-Berrocal, G; Mora-Román, J.J.
Estudio piloto sobre la evaluación del crecimiento de un cultivo de maíz con la utilización de un aislante biodegradable elaborado a partir de hojas de piña. *Tecnología en Marcha*. Vol. 39 Nº 3. Julio-Setiembre, 2026. Pág. 45-54.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v39i3.8209>



- 1 Facultad de Farmacia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
 rooney.meza@ucr.ac.cr
 <https://orcid.org/0009-0003-4430-8525>
- 2 Departamento de Farmacia Industrial, Facultad de Farmacia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
 gustavo.carazo@ucr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-1778-5559>
- 3 Departamento de Farmacia Industrial, Facultad de Farmacia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
 juanjose.moraroman@ucr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-9148-3025>

Palabras clave

Radiación electromagnética; aislante electromagnético; *Ananas comosus*; jaula de Faraday; *Zea mays*.

Resumen

Se han investigado aislantes electromagnéticos por su capacidad de atenuación. Una de las materias primas con las que se cuenta en Costa Rica son los residuos de las hojas de piña (*Ananas comosus*). Por ello, el objetivo de la investigación fue evaluar, a través de un estudio piloto, la eficacia de un aislante biodegradable para el bloqueo de las ondas electromagnéticas generadas por un transmisor frecuencia modulada, para la promoción de la germinación apropiada de un cultivo de maíz (*Zea mays*). Su metodología implicó desarrollar un mini invernadero junto con su sistema de riego, un transmisor frecuencia modulada y un medidor de flujo magnético. Asimismo, el aislante se obtuvo a partir de hojas de piña, que se sometieron a un proceso para conseguir una pasta, la cual fue puesta a secar con luz solar hasta que estuviera seca. Luego, se aplicó a las semillas de maíz y se midieron las condiciones de cultivo y la radiación no ionizante durante ocho días, estableciendo además el índice de degradación del aislante. El análisis de las variables reveló que las alturas máxima y mínima de las plántulas, ocho días después de iniciado el ensayo, fueron mayores para el grupo con el aislante (17 centímetros y 8 centímetros, respectivamente) respecto al grupo control (12 centímetros y 1 centímetro, respectivamente), por lo que el producto promovió un crecimiento apropiado. En adición, el índice de degradación fue del 15,96 % ocho días después de su colocación y la predicción de su descomposición completa correspondió a 41 días, lo que permite deducir que la formulación es biodegradable.

Keywords

Electromagnetic radiation; electromagnetic insulator; *Ananas comosus*; Faraday cage; *Zea mays*.

Abstract

Electromagnetic insulators have been investigated for their attenuation capacity. One of the raw materials available in Costa Rica is pineapple leaf waste (*Ananas comosus*). Therefore, the objective of this research was to evaluate, through a pilot study, the effectiveness of a biodegradable insulator in blocking electromagnetic waves generated by a frequency-modulated transmitter to promote proper germination of a corn (*Zea mays*) crop. The methodology involved developing a mini-greenhouse with its irrigation system, a frequency-modulated transmitter, and a magnetic flux meter. The insulator was obtained from pineapple leaves, which were processed into a paste and then dried in sunlight. It was then applied to the corn seeds, and the growing conditions and non-ionizing radiation were measured for 8 days, thereby also establishing the insulator's degradation rate. Analysis of the variables revealed that the maximum and minimum seedling heights, eight days after the start of the trial, were greater for the group with the insulator (17 centimeters and 8 centimeters, respectively) compared to the control group (12 centimeters and 1 centimeter, respectively), indicating that the product promoted appropriate growth. In addition, the degradation rate was 15.96 % eight days after application, and the predicted time for complete decomposition was 41 days, suggesting that the formulation is biodegradable.

Introducción

Las ondas electromagnéticas transportan energía al propagarse por el espacio y están constituidas por campos eléctricos y magnéticos entrelazados, los cuales existen de manera simultánea [1]. Engloban una amplia variedad de radiaciones, incluyendo las ondas de radio y televisión, las microondas, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos X. Cada una de ellas posee características únicas en términos de su longitud de onda, frecuencia y energía [2].

Adicionalmente, la radiación electromagnética se divide en dos grupos según su energía. La ionizante tiene la capacidad de tomar electrones desde los átomos de la materia, inicialmente neutros, con los que interactúan, produciendo pares ion-electrón [3]. En contraposición, la energía de la no ionizante es insuficiente para desencadenar el proceso de ionización en el medio que atraviesa. Esta última abarca ondas de radio, microondas, infrarrojas, visibles y ultravioletas [4].

La radiación electromagnética es capaz de producir efectos no térmicos y atérmicos. Los primeros ocurren cuando la energía de la onda es insuficiente para elevar la temperatura del sistema biológico por encima de sus fluctuaciones normales, aunque su exposición prolongada a baja intensidad puede ser potencialmente perjudicial. En contraposición, los atérmicos conllevan un incremento de la temperatura corporal sin cambios evidentes en la temperatura ambiental, y con la capacidad de afectar la salud humana y animal, manifestándose en síntomas como fatiga, cefaleas, alteraciones cardiovasculares y riesgos de ciertos tipos de cáncer como linfomas y tumores cerebrales [5].

Para el estudio de estos fenómenos, se ha desarrollado la jaula de Faraday. Es elaborada de material conductor, que puede ser sólido o estar constituido por una matriz de conductores, y es capaz de distribuir la carga eléctrica de manera uniforme por su exterior, anulando el campo eléctrico en su interior. Sus principales funciones comprenden el impedimento de que los campos eléctricos externos, tanto estáticos [6] (campos constantes, que no cambian de intensidad o dirección a lo largo del tiempo) [7] como no estáticos, penetren en su interior, proveyendo un blindaje electrostático, donde el material conductor redirige y redistribuye las cargas [6].

También se han investigado aislantes con propiedades absorbentes para la atenuación de las ondas electromagnéticas [8]. El propósito es prevenir o debilitar su propagación y eliminar la interferencia o el daño al cuerpo humano y al medio ambiente [9]. En la actualidad, se ha propiciado el empleo de materiales biodegradables, producto de la preocupación ambiental por el uso de polímeros sintéticos como el plástico, y la creciente consciencia sobre la protección de los ecosistemas. Por ello, se han desarrollado polímeros bioplásticos derivados de fuentes renovables como el maíz o la caña de azúcar [10]. Poseen celulosa y compuestos químicos relacionados, cuyas ventajas abarcan biodegradabilidad, estabilidad térmica, fácil procesamiento y bajo costo. Por consiguiente, pueden considerarse para la manufactura de materiales que contrarresten la radiación electromagnética [11].

Una de las materias primas con las cuales se cuenta en Costa Rica son los residuos provenientes de la piña (*Ananas comosus*). Botánicamente, es una hierba terrestre que alcanza de 0,75 a 1,5 metros de altura y de 0,9 a 1,2 metros de ancho. La planta tiene un tallo corto y robusto, y una roseta de hojas cerosas y acintadas. Las hojas son puntiagudas y miden de 50 a 80 centímetros de largo, y espinas afiladas y curvadas hacia arriba en los márgenes [12].

En Costa Rica se produce gran cantidad de desechos agrícolas que aún no se han aprovechado en su totalidad. Algunos de ellos comprenden las hojas de piña, que contienen celulosa, holocelulosa, hemicelulosa y lignina [13].

El uso de los aislantes biodegradables puede favorecer la obtención de cultivos apropiados. La luz solar es la fuente primaria de energía para las plantas, dado que la radiación controla la fotosíntesis, la morfogénesis, y regula, en mayor o menor medida, la respiración, los movimientos estomáticos y el metabolismo del carbono [14].

Ante este panorama, el objetivo de la presente investigación fue evaluar, a través de un estudio piloto, la eficacia de un aislante biodegradable elaborado con hojas de piña para el bloqueo de las ondas electromagnéticas generadas por un transmisor frecuencia modulada (FM), promoviendo la germinación eficiente de un cultivo de maíz (*Zea mays*). Cabe señalar que este proceso de germinación es propiciado por la incidencia de radiación electromagnética sobre la planta, pero puede ser afectado negativamente en caso de una alta exposición [15].

Metodología

Diseño y construcción del mini invernadero como Jaula de Faraday

El diseño del mini invernadero fue elaborado utilizando la herramienta Procreate®, como se ilustra en la Figura 1. Su propósito fue ofrecer un resguardo contra las ondas específicas en un espacio determinado, disminuyendo el nivel de las interferencias externas.

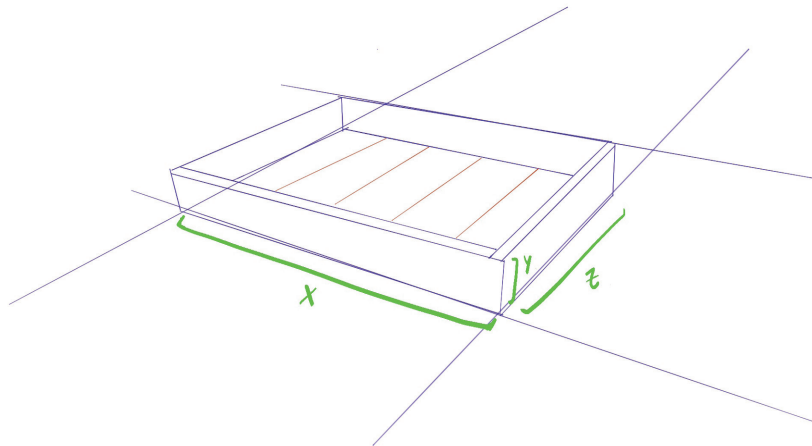


Figura 1. Diseño del invernadero de Faraday empleando la herramienta Procreate®.

Para la estructura de la cubierta, se dispuso de tubería de policloruro de vinilo (PVC) de 1 pulgada. Las dimensiones consistieron en dos tubos de 45 centímetros de longitud (eje x), cuatro de 14 centímetros de longitud (eje y) y dos de 28 centímetros de longitud (eje z), ensamblados con ocho codos para tubos de 1 pulgada, sin rosca. La malla se recortó a una longitud de 2 metros para envolver la cubierta en su totalidad.

Por su parte, la base se desarrolló con tablas de madera de 2,5 centímetros de grosor, requiriendo dos tablas de 58 centímetros de longitud (eje x) con un ancho de 8 centímetros (eje y) y dos de 41 centímetros de longitud (eje z) para conformar el marco. Estos elementos se fijaron con clavos de cabeza plana de 5 centímetros.

Asimismo, se procedió a cortar cinco tablitas con dimensiones de 37 por 11 centímetros para construir una base, la cual se recubrió con una pieza metálica con un tamaño de 39 por 55 centímetros. Finalmente, se incorporaron cuatro tablas en la base, ofreciendo un refuerzo adicional (Figura 2).

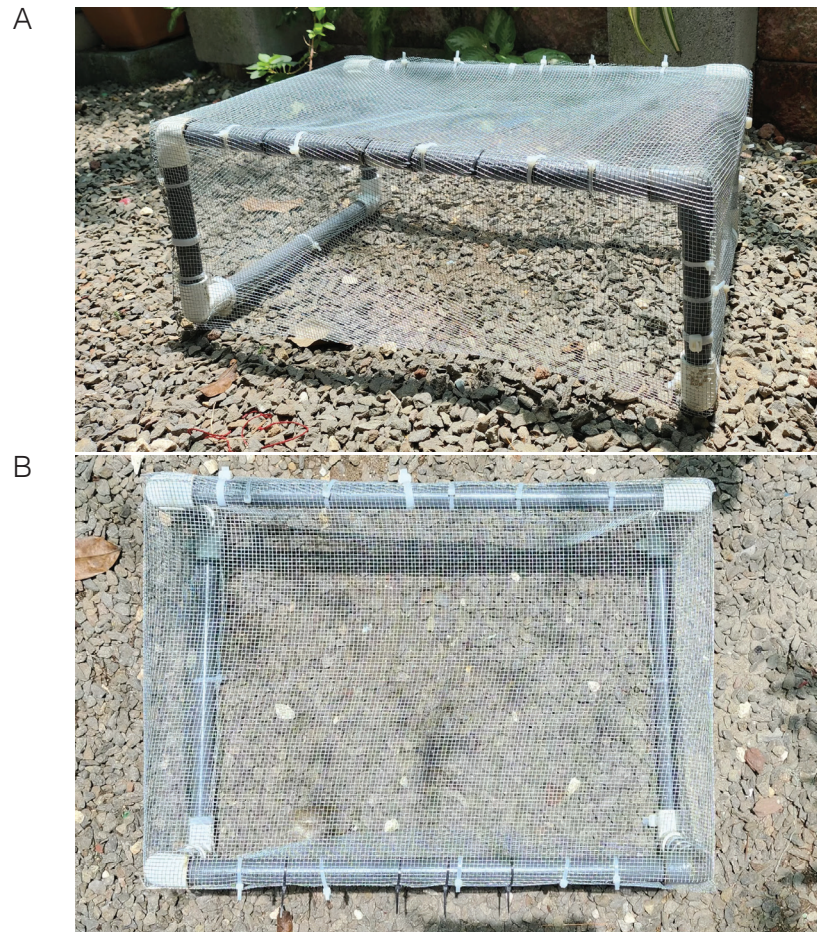


Figura 2. Construcción del invernadero de Faraday. A. Base B. Cubierta.

Elaboración del transmisor FM, del medidor de flujo magnético y del sistema de riego

Los componentes del transmisor FM fueron organizados conforme a lo establecido en la Figura 3. Cabe señalar que, a diferencia de los lineamientos brindados para su construcción, se reemplazó el condensador de 27 pF por dos condensadores de 15 pF conectados en paralelo.

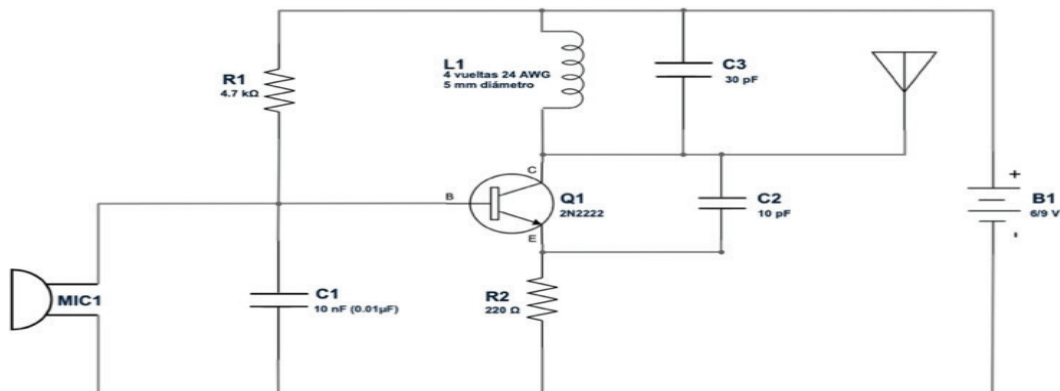


Figura 3. Diseño del transmisor FM.

En cuanto al medidor de flujo magnético, se siguieron las instrucciones indicadas para su diseño [16]. De forma análoga, para el sistema de riego se procedió de acuerdo con las directrices presentes en el sitio de Techmake Solutions [17], implementando una mejora por la adición de una manguera de media pulgada con orificios en la boquilla de salida del agua de la bomba para el riego.

Obtención del aislante de hojas de piña

Se tomaron 225 g de hojas de piña a partir de 1 kilogramo de dicho material, el cual se obtuvo de la feria del agricultor de Barranca, Puntarenas. Las hojas separadas se lavaron con 1,5 litros de agua. Luego, se procedió a cortarlas en trozos, con un diámetro de 2 a 3 centímetros.

Después, los trozos se hirvieron con 3 litros de agua durante 30 minutos. A continuación, se transfirieron a un recipiente con 140 mililitros de una mezcla de NaClO al 3,5 % y NaOH al 0,1 %. La mezcla se mantuvo en reposo durante 24 horas. Después de este período, las hojas se lavaron con 9 litros de agua para eliminar el NaClO y el NaOH. Posteriormente, se licuaron con 500 mililitros de agua caliente hasta obtener una pasta.

La pasta se exprimió y se depositó en un molde circular de 7,5 centímetros de diámetro y 4,5 centímetros de alto. Para finalizar, se puso a secar con luz solar, hasta que estuviera lo más seca posible.

Aplicación del aislante de piña

Se trabajó con dos grupos: una muestra sin aislante y otra con aislante sobre el cultivo, cada una compuesta por cinco semillas. Estas semillas se seleccionaron independientemente de su peso o tamaño, tras verificar que no presentaban indicios de patógenos o signos de deterioro. Se midieron las variables de cultivo, específicamente humedad del aire, humedad del suelo, temperatura y luminosidad.

Medición de ondas electromagnéticas no ionizantes

Para la medición de las ondas electromagnéticas no ionizantes se acercó el sensor SS49e por fuera y por debajo del aislante. Ambas mediciones se hicieron a una distancia aproximada de 15 centímetros del transmisor. De esta forma, se obtuvo el flujo magnético y el voltaje de las ondas circulantes.

Determinación del índice de degradación del aislante de hojas de piña

Para la determinación del índice de degradación del material elaborado, el aislante fue pesado previamente a su colocación en el invernadero. Durante los ocho días siguientes, se controló el peso para determinar la pérdida de material y estimar el tiempo de degradación total. Para ambas mediciones, la muestra de aislante se manipuló con cuidado para evitar su remoción o la de la tierra.

Variables dependientes e independientes

Las variables dependientes fueron la exposición a la radiación electromagnética no ionizante, tanto en presencia como en ausencia del aislante de hojas de piña, su intensidad (flujo magnético y frecuencia) y el índice de degradación de dicho aislante. Como complemento, las variables dependientes correspondieron al porcentaje de germinación de las semillas y la altura de las plántulas.

Análisis de datos

El seguimiento se efectuó durante ocho días, tiempo donde se tomaron datos sobre radiación emitida, a través del sensor SS49e. También se empleó la aplicación Spectroid® para la medición de dichas radiaciones y la obtención de datos.

Resultados

Las condiciones ambientales del mini invernadero fueron monitoreadas a lo largo del experimento. Se aprecian en el cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones ambientales del mini invernadero durante el ensayo con el aislante de hojas de piña.

Día	Humedad del aire %	Humedad del suelo %	Temperatura °C	Luminosidad lux
1	72	25	30	976
2	74	26	31	859
3	73	25	31	988
4	77	26	32	1002
5	69	24	29	946
6	65	24	29	948
7	60	23	31	929
8	60	29	32	961

Se realizaron las mediciones de las onda electromagnéticas no ionizantes emitidas por el transmisor FM durante los ocho días. Para ello, se utilizó el medidor de flujo electromagnético SS49e y la aplicación Spectroid®. Asimismo, se llevaron a cabo observaciones al cultivo de maíz sin aislante (cuadro 2) y con aislante (cuadro 3).

Cuadro 2. Mediciones de las ondas electromagnéticas no ionizantes y observaciones relacionadas al crecimiento en el cultivo de maíz sin aislante de hojas de piña.

Día	Flujo magnético μT	Frecuencia Hz	Altura máxima cm ¹	Altura mínima cm ¹	Observaciones adicionales
1	110,56	431	0	0	No hubo crecimiento, ni germinación.
2	139,88	558	0	0	No hubo crecimiento, ni germinación.
3	137,34	539	2	1	Germinación de las primeras semillas.
4	157,89	678	4	1	Coloraciones verdosas en tallos y hojas.
5	128,94	478	6	1	Coloraciones verdosas en tallos y hojas.
6	146,28	637	8	1	Coloraciones verdosas en tallos y hojas, dos semillas seguían sin germinar.
7	125,90	458	9	1	Coloraciones verdosas en tallos y hojas, dos semillas seguían sin germinar.
8	164,16	665	12	1	Coloraciones verdosas en tallos y hojas, dos semillas seguían sin germinar.

¹Las mediciones se hicieron desde la base del tallo hasta el ápice de las plántulas.

Cuadro 3. Mediciones de las ondas electromagnéticas no ionizantes y observaciones relacionadas al crecimiento en el cultivo de maíz con aislante de hojas de piña.

Día	Flujo magnético μT	Frecuencia Hz	Altura máxima cm^1	Altura mínima cm^1	Observaciones adicionales
1	30,51	173	0	0	No hubo crecimiento, ni germinación.
2	27,66	130	1	0	Germinación de las primeras semillas.
3	28,96	154	3	1	Coloraciones verdosas en tallos y hojas.
4	34,81	130	6	1,5	Coloraciones verdosas en tallos y hojas.
5	38,96	157	8	2	Coloraciones verdosas en tallos y hojas.
6	75,72	370	11	3	Coloraciones verdosas en tallos y hojas.
7	71,67	278	16	4	Coloraciones verdosas en tallos y hojas, una semilla seguían sin germinar.
8	91,43	324	17	8	Coloraciones verdosas en tallos y hojas, una semilla seguían sin germinar.

¹Las mediciones se hicieron desde la base del tallo hasta el ápice de las plántulas.

Durante el período establecido, la muestra control (sin aislante) mostró un crecimiento lento y de reducida vigorosidad, dado que de las cinco semillas, únicamente tres lograron germinar. En adición, de las tres que sí lo consiguieron, una mostró un desarrollo radicular deficiente (solamente dos raíces) y ausencia de un tallo uniforme. Las otras dos contaron con una germinación exitosa y tallos verdes que alcanzaron una altura considerable.

Por su parte, la muestra tratada con el aislante tuvo un crecimiento rápido y de alta calidad fisiológica. Tres semillas lograron un desarrollo estable y una cuarta creció más lentamente, pero con un sistema de raíces extenso. Cabe resaltar que al sexto día, producto del aumento longitudinal acelerado, se decidió hacer un agujero en la parte superior del contenedor, incrementando la exposición a la radiación. Como consecuencia de esta acción, las plantas comenzaron a deteriorarse gradualmente y su capacidad para mantenerse erguidas disminuyó.

De la misma forma, se calculó el índice de degradación del aislante los días cinco y ocho del ensayo, partiendo de que el peso inicial era 0,94 gramos. Los resultados obtenidos fueron de 9,57 % y 15,96 %, respectivamente.

Discusión

Para que las semilla de maíz puedan germinar y crecer, se requiere la presencia de humedad en el sustrato, suficiente oxígeno para la respiración celular y una temperatura adecuada para los procesos metabólicos y el desarrollo vegetal. Asimismo, se necesita una temperatura mínima diurna por encima de los 10 °C, sin superar los 38 °C, y se debe proporcionar agua durante el ciclo del cultivo [18]. En cuanto a las condiciones del mini invernadero, el cuadro 1 muestra que se mantuvieron constantes: una humedad del aire entre el 60 % y el 77 %, una humedad del suelo entre el 23 % y el 29 %, una temperatura entre 29 °C y 32 °C y una luminosidad entre 856 lux y 1002 lux. La jaula de Faraday propició el mantenimiento de tales elementos. Cabe destacar que se incorporó una fuente de luz de mayor intensidad y consistencia (2500 lux), como se ha reportado en investigaciones previas [19].

Respecto al índice de degradación del aislante, la medición al cabo de ocho días fue del 15,96 %. La estimación es que el aislante se degrada por completo en el suelo en un lapso de 41 días.

En cuanto a los cuadros 2 y 3, las mediciones de emisión de ondas electromagnéticas empleando el aislante evidenciaron una disminución considerable en el flujo magnético y la frecuencia de la radiación electromagnética no ionizante, con una atenuación del 65 % y 62 %, respectivamente. De la misma forma, y como se demostró en este estudio, aunque la radiación electromagnética beneficia la etapa inicial de germinación, su impacto negativo ocurre durante el desarrollo de las plántulas, lo cual fue comprobado a través de su apariencia y su altura. Los resultados sugieren que, si bien la radiación puede tener un efecto estimulante en las semillas, una aplicación excesiva resulta en estrés, lo que a su vez afecta negativamente el crecimiento vegetal posterior [15].

En un trabajo anterior, las semillas, ubicadas en la proximidad de radiación no ionizante, específicamente un decodificador de telefonía móvil WiFi, experimentaron un impacto negativo en su capacidad de germinación, llegando incluso a impedirla. Por el contrario, aquellas que se encontraban a mayor distancia del instrumento mostraron un mejor desarrollo [20].

Estos hallazgos son coherentes con los resultados obtenidos en este ensayo, donde se observó que, a medida que se incrementaba la exposición a la radiación, la germinación se volvía más problemática. Evidencia de ello es que, debido al tamaño que habían alcanzado las plántulas, se hizo un agujero para facilitar que continuaran su crecimiento. No obstante, tal acción ocasionó un deterioro gradual y que no se mantuvieran erguidas.

En relación con la eficacia del aislante, la caña de azúcar ha mostrado reducciones en el flujo magnético y la frecuencia de la radiación electromagnética de un 45 % y un 66 %, respectivamente [21]. Al comparar estos datos con los conseguidos con las hojas de piña, se demuestra que este último aislante es más eficiente, puesto que únicamente se necesitó una capa del material para atenuar las ondas electromagnéticas. Por tanto, podría contar con mejores propiedades fisicoquímicas, las cuales serían capaces de superar a las de la caña de azúcar.

Conclusiones

Este estudio pilotó constituyó una aproximación sobre cómo la exposición excesiva de un cultivo de semillas de maíz a la radiación electromagnética no ionizante afecta negativamente su crecimiento, evidenciando la necesidad de disminuir dicha incidencia. Un hallazgo preliminar reveló que el aislante, producido a partir de hojas de piña, promovió un desarrollo apropiado con características superiores a aquellas encontradas en un cultivo sin su aplicación. Tal panorama se vio reflejado en las alturas máxima y mínima de las plántulas ocho días después de iniciado el ensayo: 17 centímetros y 8 centímetros, respectivamente, para el grupo con el aislante, frente a 12 centímetros y 1 centímetro, respectivamente, para el grupo control. Asimismo, se determinó que la formulación es biodegradable, con una predicción para su descomposición completa de alrededor de 41 días, fundamentada en un índice de degradación del 15,96 % tras ocho días desde su uso.

Es importante continuar con investigaciones de esta naturaleza usando una muestra mayor y bajo otras condiciones de cultivo. A mediano plazo, se espera que estos hallazgos deriven en beneficios para las labores agrícolas, la salud de las personas y el fomento de tecnologías amigables con el medio ambiente.

Referencias

- [1] R. K. Amineh, "Applications of electromagnetic waves: Present and future," *Electronics*, vol. 9, no. 5, Art. no. 808, 2020.
- [2] P. J. Bhattacharjee, "Fundamental to electromagnetic waves," *Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. 7, no. 1, pp. 454-462, 2023.

- [3] J. Morales-Aramburo y J. A. Puerta, "Bases físicas de la radiación ionizante," *Rev. Colomb. Cardiol.*, vol. 27, no. S1, pp. 32-40, 2020.
- [4] H. Omer, "Radiobiological effects and medical applications of non-ionizing radiation," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 28, no. 10, pp. 5585-5592, 2021.
- [5] L. Pérez Escalona, Y. Valdés Roque, M. A. Sariago Riumbau y Y. Valdés Roque, "Influencia de las emisiones electromagnéticas no ionizantes en la salud," *Panorama Cuba Salud*, vol. 13, no. especial, pp. 20-22, 2018.
- [6] A. K. Sisodia, "The faraday cage: A foundational principle in electromagnetic shielding and its modern applications," *Int. J. Sci. Res. Arch.*, vol. 14, no. 1, pp. 954-960, 2025.
- [7] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, "Static Magnetic Fields (0 Hz)," ICNIRP.org. <https://www.icnirp.org/en/frequencies/static-magnetic-fields-0-hz/index.html> (accedido el 27 de agosto, 2025).
- [8] M. Mahdavinia, G. Kiani, A. K. Ghavidel, and H. Nasiri, "Sustainable composite insulator for thermal, moisture, and electromagnetic shielding using recycled waste polymers/bimetallic MOF-grown porous carbon," *Sci Rep*, vol. 16, no. 1, Art. no. 11252, 2026.
- [9] Y. Chen, J. Li, T. Li, L. Zhang, and F. Meng, "Recent advances in graphene-based films for electromagnetic interference shielding: Review and future prospects," *Carbon*, vol. 180, pp. 163-184, 2021.
- [10] P. Rodríguez Sandoval y M. I. Arévalo, "Los materiales biodegradables, una alternativa a la contaminación de los polímeros sintéticos," *Rev. Esc. Ing. Tecnol. Unimonserate*, no. 1, pp. 31-37, 2020.
- [11] M. Li et al., "Recent Progress in the application of cellulose in electromagnetic interference shielding materials," *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 307, no. 7, Art. no. 2100899, 2022.
- [12] S. R. Assumi, P. T. Singh, and A. K. Jha, "Pineapple (*Ananas cosmosus* L. Merr.)," in *Tropical Fruit Crops: Theory to Practical*, S. N. Gosh and R. R. Sharma, Eds. New Delhi, India: Jaya Publishing House, 2021.
- [13] M. O. Aremu, M. A. Rafiu, and K. K. Adedeji, "Pulp and paper production from Nigerian pineapple leaves and corn straw as substitute to wood source," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 4, pp. 1180-1188, 2015.
- [14] A. Benavides Mendoza y H. Ramírez Rodríguez, *Respuestas de las Plantas a la Radiación Electromagnética*. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2002.
- [15] A. Armesto Arenas, W. Angarita y R. Lobo Jácome, "Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación del maíz," *Tecnura*, vol. 19, no. 45, pp. 65-73, 2015.
- [16] M. Maleki, "Interfacing SS49E Linear Hall Effect Sensor Module with Arduino," Electropeak.com. <https://electropeak.com/learn/interfacing-ss49e-linear-hall-effect-sensor-module-with-arduino/> (accedido el 3 de setiembre, 2025).
- [17] Equipo Techmake, "DIY desde casa - 5C: Sistema de riego automático," Techmake.com. <https://techmake.com/blogs/tutoriales/diy-desde-casa-5c-sistema-de-riego-automatico> (accedido el 3 de setiembre, 2025).
- [18] Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, *Variedades e híbridos de maíz: Características y recomendaciones para su manejo agronómico*. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 2019.
- [19] G. F. Valencia Plata y F. R. Gómez Devia, "Estudio descriptivo sobre los efectos de la radiación electromagnética no ionizante en las plantas," en *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era*, E. Serna, Ed. Medellín, Colombia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación, 2022, pp. 437-450.
- [20] W. A. Vásquez Villalobos, "Efecto de ondas electromagnéticas en la etapa de germinación y crecimiento de *Raphanus sativus* (rabanito), *Moringa oleífera* (moringa) y *Citrus reticulata* (mandarina) respectivamente en la ciudad de Chiclayo," trabajo de investigación de bachillerato, Fac. Ing. Arq., Univ. César Vallejo, Trujillo, Perú, 2020.
- [21] G. G. Huamán Bocanegra y Y. F. Tapia Paz, "Aplicación de residuos de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar), como barrera de ondas electromagnéticas, Chiclayo," trabajo de investigación de bachillerato, Fac. Ing. Arq., Univ. César Vallejo, Trujillo, Perú, 2020.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.