VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Comparación de la eficiencia en la germinación y crecimiento de plantas preparadas a partir de medios de cultivo a partir de residuos orgánicos y aglutinantes naturales

Comparison of the Efficiency of Plant Germination and Growth Using Cultive Media Prepared from Organic Waste and Natural Agglutinants

Erick Jesse López Cardona [1], Karla Fernanda Nicole Macías Millán [2], Emilio Bustamante Amador [2], Leonardo Ornelas Frias [2], Claudia Karina Sánchez Sánchez [3], Gustavo Cruz Jiménez [3]

[1] Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
[2] Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
[3] Departamento de Farmacia, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
ej.lopezcardona@ugto.mx, kfn.maciasmillan@ugto.mx, e.bustamanteamador@ugto.mx, l.ornelasfrias@ugto.mx., , claudia.sanchez@ugto.mx, cruzg@ugto.mx

Resumen

La reutilización de residuos orgánicos como fuente de nutrientes para la producción vegetal representa una alternativa sostenible dentro de los principios de la economía circular. El objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia en la germinación y el crecimiento inicial de semillas de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) utilizando medios de cultivo elaborados a partir de residuos orgánicos y aglutinantes naturales. Se prepararon seis tratamientos a partir de extractos de cáscara de zanahoria, cáscara de papa, cáscara de tomate, cáscara de plátano, residuos de café y cascarón de huevo, agua de cocción de verduras y dos medios control elaborados con solución nutritiva de Hoagland empleando Phytagel o agar agar como aglutinantes. Las semillas fueron incubadas durante cinco días en oscuridad y posteriormente sometidas a cinco días de fotoregulación mediante luz ultravioleta (12 h luz/12 h oscuridad). Se evaluaron la germinación, longitud de raíz, longitud de tallo, producción de clorofila y biomasa, realizando análisis estadísticos mediante ANOVA y la prueba de Tukey HSD ($p < 0.05$).

Las plántulas de brócoli (*B. oleracea*) presentaron las diferencias más consistentes entre tratamientos, observándose un efecto significativo del medio de cultivo en el crecimiento de raíz y tallos. Se observó que el tratamiento elaborado con cáscara de zanahoria favoreció la germinación temprana, mientras que el medio elaborado con agua de cocción de verduras presentó la mayor longitud promedio de tallo del brócoli, en contraste, las semillas de maíz y frijol negro no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque algunos medios estudiados tuvieron una mayor media, no fueron significativamente diferentes a los controles utilizando soluciones de Hoagland.

Se concluye que los residuos orgánicos pueden emplearse como fuente alternativa de nutrientes para la elaboración de medios de germinación, siendo la cáscara de zanahoria uno de los residuos con mayor potencial para favorecer el crecimiento temprano de plántulas de brócoli. Estos resultados respaldan el aprovechamiento de residuos orgánicos como estrategia sostenible para reducir costos y promover prácticas de economía circular en sistemas de producción vegetal, ya que no se observaron diferencias entre los medios en los que se utilizaron residuos orgánicos en comparación con los medios de agar y Phytagel en donde se utilizaron soluciones sintéticas de Hoagland.

Palabras Clave: medios de cultivo, residuos orgánicos, *Phaseolus vulgaris* L, *Zea mays* L, *Brassica oleracea* var. *itálica*

Introducción

La disminución progresiva de la materia orgánica del suelo constituye uno de los principales desafíos para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, lo que ha dado lugar a la sobreexplotación de los suelos, siendo el agotamiento de grandes cantidades de elementos nutritivos lo que afecta a la infertilidad de la tierra.

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Paralelamente, el incremento en la generación de residuos orgánicos provenientes de actividades agrícolas, agroindustriales y urbanas ha impulsado la búsqueda de estrategias que permitan el aprovechamiento en lugar de su disposición como desechos, siendo una alternativa compatible con los principios de economía circular, al transformar materiales considerados desperdicios en recursos con potencial agronómico. (Ramos Alvariño, C. 2005)

La aplicación de estos residuos como componentes de medios de cultivo favorece el reciclaje de nutrientes como medida alterna debido a que durante su descomposición, los compuestos orgánicos liberan nutrientes esenciales para el desarrollo de plantas mediante procesos de mineralización que favorecen la germinación de las semillas evaluadas.

En la presente investigación se analizaron tres especies vegetales: “frijol negro” (*Phaseolus vulgaris* L.), “maíz” (*Zea mays* L.) y “brócoli” (*Brassica oleracea* var. *itálica)* con el fin de determinar la cantidad de germinación de sus semillas, crecimiento de plántulas, producción de clorofila así como la cantidad de biomasa (en peso seco) obtenida de los diferentes medios de cultivo preparados a partir de residuos orgánicos y de medios que contienen la solución nutritiva de Hoagland.

Estas especies fueron consideradas ya que tienen una relevancia importante en sectores agrícolas y de investigación por su amplio uso en el desarrollo de la alimentación y la industria en México. Por otra parte, analizar medios de cultivo preparados a partir de residuos de origen orgánico nos permite emplearlos como una alternativa de aporte de micro y macronutrientes (ver Tabla 1) más económica que la elaborada a partir de soluciones nutritivas como la de Hoagland cuyo costo es mayor. La inclusión de estas tres especies permite evaluar la respuesta de cultivos pertenecientes a diferentes familias botánicas (Fabaceae, Poaceae y Brassicaceae), cuyas diferencias fisiológicas y metabólicas facilitan la identificación de los efectos derivados de los distintos medios de cultivo. (Broughton *et al.,* 2003)

Tabla 1*. Lista de micronutrientes aportados por cada medio utilizado en la semilla de Maíz, Brocoli y Frijol Negro. Los datos de composición nutricional fueron obtenidos de FoodData Central (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2025).*

Material vegetal	Nutrientes principales reportados
Cáscara de zanahoria	Betacaroteno (provitamina A), potasio, vitamina K
Cáscara de plátano	Potasio, fósforo, calcio, magnesio
Cáscara de tomate	Potasio, licopeno, vitamina C, carotenoides
Cáscara de papa	Potasio, fósforo, magnesio, vitamina C (residual)
Cascarón de huevo	Calcio, magnesio, potasio, fósforo, zinc
Café molido	Nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y azufre
Apio	Calcio, potasio, fósforo, magnesio, sodio
Acelgas	Potasio, calcio, magnesio, fósforo, hierro, folatos y vitaminas del complejo B.
Chayote	Calcio, potasio, fósforo, folato

Repollo	Calcio, potasio, fósforo, magnesio, filoquinona, vitamina C
Garbanzo	Nitrógeno,calcio, magnesio, fósforo, potasio

Metodología

Preparación de medios de germinación a partir de residuos orgánicos

Se prepararon ocho medios de germinación, de los cuales seis corresponden a medios elaborados a partir de residuos orgánicos y dos a una solución nutritiva tipo Hoagland con agar y otra Hoagland con Phytagel ® utilizadas como controles. Los medios elaborados a partir de residuos orgánicos se prepararon utilizando cáscaras de plátano, cáscaras de huevo con residuos de café, agua de cocción de verduras, cáscaras de papa, cáscaras de tomate y cáscaras de zanahoria.

Para la preparación de cada extracto se utilizó 1 L de agua desionizada. Las cáscaras de plátano (100 g), cáscaras de huevo trituradas (20 g) con residuos de café (50 g), cáscaras de papa (150 g), cáscaras de tomate (120 g) y cáscaras de zanahoria (150 g) fueron sometidas a ebullición durante un periodo de 15 a 20 minutos, dependiendo del tratamiento. Para el caso del caldo de verduras, se empleó una mezcla compuesta por zanahoria (157.52 g), acelga (109.25 gr), apio (46.54 gr), col blanca (71.10 gr) y chayote (61.32 gr), la cual fue hervida bajo las mismas condiciones.

Finalizado el proceso de ebullición, los extractos fueron filtrados con un colador comercial con un número de malla #40 para eliminar partículas sólidas y se recuperaron aproximadamente 500 mL de cada preparación. Posteriormente, el pH de cada caldo se ajustó a un intervalo de 5.8 mediante la adición de soluciones de NaOH o HCl. Una vez ajustado el pH, se adicionaron 5 g de Agar-Agar de la casa comercial “Superfoods Mexico" a cada extracto y las mezclas fueron calentadas hasta lograr la completa disolución del agente gelificante. Finalmente, los medios fueron transferidos a frascos de vidrio para su posterior esterilización en autoclave.

Preparación de la solución nutritiva de Hoagland (control)

Para preparar la solución nutritiva tipo Hoagland utilizada como control, se agregaron 5 mL de cada solución nutritiva correspondiente a $CaCl_2$ 2.14 × 10^{-3} M, KNO_3 2.55× 10^{-4} M, H_3BO_3 2.31×10−5 M, $MnCl_2$ 4.0×10^{-6} M, MoO_3 6.95 ×10^{-8} M, $Zn(NO_3)_2$ 3.70×10^{-7} M, $FeCl_3$ 1.0×10^{-5} M, KH_2PO_4 9.68×10^{-4} M, $MgCl_2$ 9×10^{-4} M y CaSO4. 2.96×10^{-4} M en un vaso de precipitados de 500 mL . Posteriormente, se aforó a 500 mL de la solución nutritiva con agua desionizada, se ajustó el pH a un intervalo de 5.8 utilizando soluciones de NaOH o HCl y se adicionaron 2.5 g de Phytagel. La mezcla se calentó hasta la completa disolución del aglutinante y se transfirió a un frasco de vidrio para su esterilización.(Robles Martínez, M, et al, 2025)

Además del medio control realizado a partir de una solución estándar o Hoagland, se buscó analizar el comportamiento del medio control utilizando en este caso 10 gr/L de agar-agar como aglutinante, esto como prueba adicional al medio convencional elaborado con Phytagel®.

Esterilización

Los frascos que contenían los medios de germinación elaborados a partir de residuos orgánicos, así como el medio control de Hoagland y el material de laboratorio empleado durante el experimento, fueron esterilizados en autoclave a una temperatura de 121 °C durante 20 minutos a una presión de 15 lb/in².

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Los recipientes de plástico con capacidad de 1 L utilizados para la germinación de las semillas fueron desinfectados mediante una solución de hipoclorito de sodio al 8 %. A cada recipiente se le agregó una porción de la solución desinfectante y se dejó en contacto durante 30 minutos bajo condiciones estériles. Posteriormente, los recipientes donde fueron sembradas las semillas fueron enjuagados con una solución de hipoclorito de sodio al 20 % con agua desionizada. (Robles Martínez, M, et al, 2025)

Germinación de semillas

Los medios de germinación preparados fueron distribuidos en cuatro recipientes estériles por tratamiento, colocando aproximadamente 125 mL de medio en cada uno. Posteriormente, se sembraron cinco semillas por recipiente, obteniéndose un total de veinte semillas por tratamiento.

El procedimiento se realizó para semillas de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Los recipientes fueron colocados en condiciones controladas de incubación en cámara de oscuridad "BIOTRONETTE MARK III" en la cual los medios y sus 4 repeticiones son colocados por un periodo de 5 días (120 horas) a temperatura controlada de entre 25 ± 2 °C. Posteriormente, se llevan a una cámara aislada en la cual se lleva a cabo un proceso de foto regulación mediante luz UV por periodos de 12 hrs de luz y 12 hrs de oscuridad, la cual está regulada por un interruptor automático durante otros 5 días.

Finalizado el periodo experimental (10 días), se registró el número de semillas germinadas en cada tratamiento y especie vegetal. Los resultados obtenidos permitieron comparar la capacidad de los diferentes medios elaborados a partir de residuos orgánicos para favorecer la germinación respecto a los medios que utilizan solución de Hoagland.

Medición de Biomasa

La biomasa vegetal fue recolectada en bolsas de papel Kraft, se dividieron en raíz, tallo, hoja y cotiledón, se etiquetaron y se llevaron a secar en un deshidratador Hamilton-Beach, durante 48 horas a una temperatura de 60 °C. Se registran los pesos de la materia vegetal seca en la balanza analítica.

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos en los parámetros de germinación, crecimiento (longitud de raíz y tallo), contenido de clorofila y producción de biomasa se utilizó el software Minitab V 22.2.2. para la prueba de Análisis de la Varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% y n=4. La prueba estadística utilizada para la comparación de medias fue la de Tukey HSD, considerando diferencias significativas de los tratamientos con $p<0.05$. El software GraphPad Prism 10.5.0 se utilizó para realizar los gráficos.

Resultados y discusión

Germinación y crecimiento de semillas en medios de residuos orgánicos

Después de los 10 días de germinación y crecimiento de las semillas, se observaron diferencias entre las diferentes semillas en los 8 medios bajo estudio (ver Figura 1A). Podemos observar una clara diferencia en cuanto a la germinación y crecimiento en las semillas de maíz (*Z. mays*) en comparación con la germinación de las semillas de frijol negro y brócoli. Para estas últimas especies se observó que la cantidad de germinación en las semillas es menor en comparación con la de maíz, sin observarse crecimiento en medios como el de verduras, en el que solamente en una repetición se observó crecimiento.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Sin embargo, el tratamiento para los tres tipos de semillas (maíz, frijol y brócoli) se mantuvo consistente durante todo el experimento, esto nos garantiza mantener un orden y fiabilidad en las variables que pudieran haber alterado el resultado experimental, como lo pudieran ser el tiempo de crecimiento el pH de 5.8 en cada uno de los medios, la cantidad de materia de residuos orgánicos y la esterilización de las semillas así como los medios.

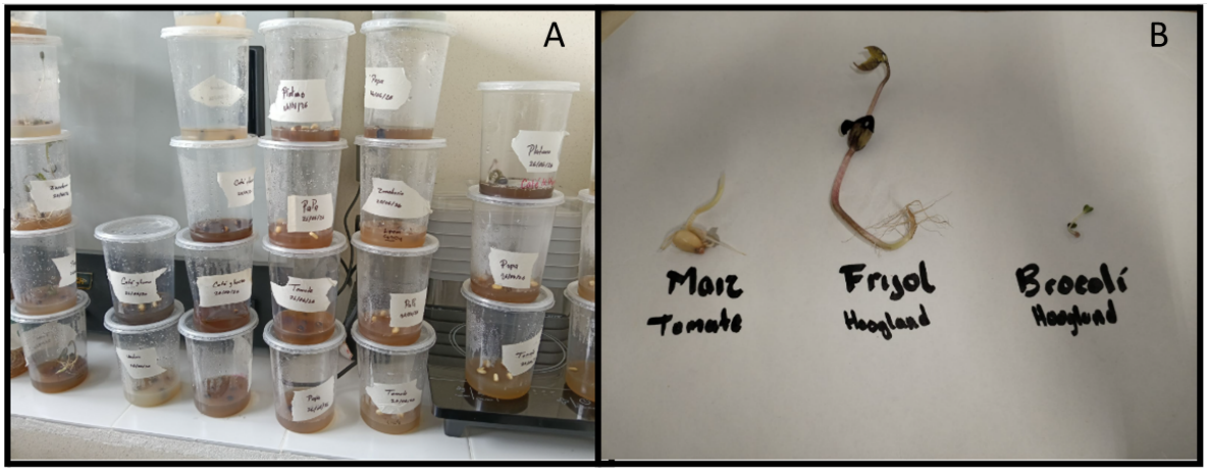


Figura 1. A) Crecimiento de semillas en distintos medios de cultivo provenientes de residuos orgánicos. B) Diferencias en el tipo de crecimiento en base a la especie de semilla analizada, podemos observar que la germinación de tallo y raiz en frijol negro es la de mayor longitud a las otras 2 especies.

Así mismo en cuanto a la fisiología y forma de crecimiento de las semillas logramos observar una clara diferencia en las 3 especies puesto que las plántulas se diferencian en cuanto al tallo y raíz de las plántulas como se puede observar en la Figura 1B, la diferencia más evidente es en cuanto al crecimiento de la semilla de brócoli, la cual tiene un tamaño de raíz y tallo muy corto en comparación al maíz y frijol negro siendo esta un tallo pequeño rodeado de 1 a dos plántulas pequeñas con gran producción de clorofila, el establecimiento de la plántula representa la integración de todos los procesos fisiológicos. La absorción de agua, la movilización de reservas, la activación metabólica, la elongación celular, el crecimiento radicular y el inicio de la fotosíntesis convergen para sostener la producción de nuevos tejidos y el incremento de la biomasa. Estos procesos metabólicos influyen directamente en la germinación de las semillas de los distintos medios, como logra observarse en la figura 1A. (Bewley et al. , 2011)

Para analizar estadísticamente estos datos nos basamos en pruebas como la Tukey HSD ya que cuando el ANOVA detecta diferencias significativas entre las medias de varios tratamientos, surge la necesidad de identificar qué pares de medias son realmente diferentes, esto es recomendable cuando buscamos comparar todos los tratamientos entre sí, como es el caso de nuestro experimento. .(Stoline, M. R. , 1981)

Análisis estadístico de semilla de brócoli (Brassica oleracea var. itálica)

Los datos más consistentes en cuanto a la homogeneidad de datos obtenidos en base a los medios utilizados son los de la germinación de plántulas de la semilla de brócoli, esto a pesar del corto tallo y raíz de la plántula, la mayoría de datos analizados mediante pruebas como las de Tukey HSD la cual nos permite encontrar diferencias significativas entre los distintos medios o tratamientos, mediante herramientas como las que nos presenta el software Minitab Statistical donde se identifican las comparaciones de grupos de Tukey.

Los tratamientos basados en extractos de residuos orgánicos mostraron diferencias significativas en variables de germinación y crecimiento de plántulas de brócoli, lo que sugiere que la composición nutricional de cada residuo influye en la respuesta fisiológica de la plántula. Los resultados indican que el extracto de cáscara de zanahoria favoreció la germinación temprana, posiblemente debido a su contenido de potasio y carotenos precursores de vitamina A, el potasio es clave en la regulación osmótica y en la activación enzimática en las fases iniciales del crecimiento. Por otra parte, el medio elaborado con agua de cocción de verduras presentó

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

mayor longitud promedio de tallo (5.73 cm) y fue asignado como la letra a (ver Figura 2), este resultado que podría atribuirse a la presencia de una mezcla de minerales solubles liberados durante la cocción, principalmente potasio, magnesio, calcio, fósforo y pequeñas cantidades de vitaminas hidrosolubles, las cuales participan en procesos fisiológicos como la elongación celular, desarrollo de tejidos y síntesis de compuestos estructurales, lo que puede favorecer el crecimiento en altura de la plántula. (Hawkesford *et al.,* 2012).

Por su parte, otro dato que nos muestra este tratamiento estadístico es el de los medios de **p**látano (1.00 cm), Hoagland-Phytagel (0.963 cm), tomate (0.895 cm), Hoagland-agar (0.500 cm) y papa (0.468 cm) pertenecieron únicamente a las letras b (ver Figura 2). En el caso de tratamientos de zanahoria, verduras y café/huevo los cuales son significativamente más grandes en cuanto al valor promedio de crecimiento de plántulas por lo que se representan con la letra a en la Figura 2.

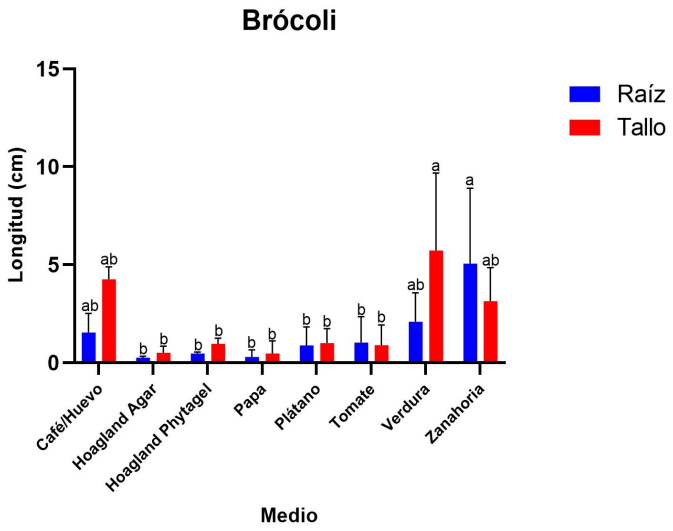


Figura 2. A) Gráfico del crecimiento de tallo y raíz de las plántulas de brócoli en los ocho medios estudiados. La altura de las barras indica la longitud promedio de la raíz (azul) y tallo (rojo). Las barras de error muestran el error estándar y letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos a diferentes concentraciones de cobre (p < 0.05), n=4.

Análisis estadístico de semilla de maíz (*Zea mays* L.)

Las semillas de maíz presentaron una respuesta variable en los distintos medios de cultivo elaborados a partir de residuos orgánicos. Aunque algunos tratamientos como cáscara de papa, café/cascarón de huevo y cáscara de plátano mostraron valores promedio superiores de longitud de raíz y tallo respecto a otros medios, el análisis de varianza de una vía no detectó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para estas variables ($p > 0.05$). De igual manera, la biomasa total producida por las plántulas tampoco presentó diferencias significativas entre los distintos medios evaluados.

La ausencia de diferencias estadísticas puede atribuirse a la elevada variabilidad observada entre repeticiones dentro de un mismo tratamiento. En diversos medios se registraron recipientes con plántulas de desarrollo moderado junto con otros donde la germinación fue nula, generando una dispersión considerable de los datos. Esta heterogeneidad redujo la capacidad del análisis estadístico para detectar posibles efectos asociados a la composición nutricional de los residuos orgánicos utilizados.

A pesar de que algunos medios aportan nutrientes potencialmente benéficos para el crecimiento vegetal, como el potasio presente en la cáscara de plátano y papa, o el nitrógeno y minerales aportados por los residuos de café y cascarón de huevo, dichos aportes no se tradujeron en incrementos aunque no fueron estadísticamente significativos de *Zea mays* (Figura 3). Esto sugiere que la disponibilidad de nutrientes

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

durante la etapa temprana de germinación pudo haber sido insuficiente o que el periodo experimental empleado no permitió observar diferencias más marcadas entre tratamientos (Bewley *et al.,* 2011).

La producción de clorofila observada exclusivamente en el tratamiento Hoagland-Phytagel puede explicarse por la disponibilidad equilibrada de macro y micronutrientes presentes en la solución nutritiva, particularmente nitrógeno, magnesio y hierro, elementos fundamentales para la biosíntesis de clorofila y el establecimiento de la capacidad fotosintética de las plántulas (Taiz *et al.,* 2015; Marschner, 2012). En contraste, los medios elaborados a partir de residuos orgánicos no lograron inducir una acumulación detectable de pigmentos fotosintéticos durante el periodo experimental, lo que podría indicar una menor disponibilidad de estos nutrientes o una liberación insuficiente de los mismos durante la germinación.

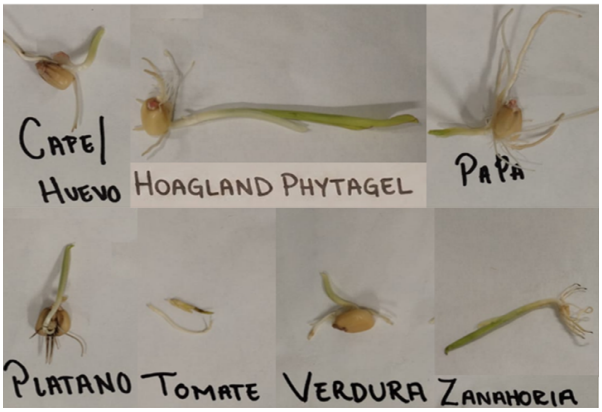


Figura 3. Desarrollo representativo de plántulas de maíz en los distintos medios evaluados al finalizar el periodo experimental. Aunque se observaron diferencias visuales en el crecimiento de algunas plántulas, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos para las variables de longitud de raíz, longitud de tallo y biomasa (ANOVA, p > 0.05).

La Figura 3 muestra ejemplos representativos de plántulas desarrolladas en los diferentes tratamientos. Aunque visualmente pueden apreciarse diferencias en el desarrollo radicular y aéreo entre algunos medios, dichas variaciones no fueron suficientes para generar diferencias estadísticamente significativas en las variables de longitud de raíz, longitud de tallo y biomasa. Esto resalta la importancia de complementar la observación cualitativa con herramientas de análisis estadístico para evaluar objetivamente la respuesta de los cultivos.

En conjunto, los resultados obtenidos sugieren que los medios elaborados a partir de residuos orgánicos fueron capaces de sostener la germinación y el crecimiento inicial de algunas plántulas de maíz; sin embargo, ninguno mostró una ventaja estadísticamente demostrable sobre los demás tratamientos en términos de crecimiento o acumulación de biomasa. Únicamente el medio Hoagland-Phytagel favoreció significativamente la producción de clorofila, evidenciando la importancia de una nutrición mineral balanceada durante las etapas tempranas del desarrollo de "*Zea mays*".

Análisis estadístico de semilla de frijol negro (*Phaseolus vulgaris*)

Las semillas de frijol presentaron una respuesta variable en los distintos medios realizados a partir de los residuos orgánicos, algunos de los tratamientos mostraron valores elevados de longitud de raíz y tallo, particularmente los medios elaborados con extracto de cáscara de zanahoria y café/cascaron de huevo, de igual manera se realizó el análisis de varianza de una vía (ANOVA) no detectó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para las variables evaluadas ($p > 0.05$). Por lo tanto, las diferencias observadas en el crecimiento de las plántulas no fueron suficientes para demostrar un efecto consistente asociado al tipo de residuo orgánico utilizado como fuente de nutrientes.

El tratamiento elaborado con cáscara de zanahoria presentó la mayor longitud de raíz, alcanzando un promedio de 13.5 cm, mientras que el medio de café/cascarón de huevo produjo el mayor valor promedio de

longitud de tallo con un registro de 12.77 cm. Sin embargo, dentro de estos mismos tratamientos también se observaron repeticiones con crecimiento reducido o ausencia total de germinación, por lo tanto, esta variabilidad incrementó la dispersión de los datos y limitar la capacidad de las pruebas estadísticas para identificar diferencias significativas entre medias. Esto puede explicarse, en parte, por la fisiología propia de la germinación de *Phaseolus vulgaris*, debido a que durante las etapas iniciales del desarrollo, las semillas dependen principalmente de las reservas almacenadas en los cotiledones para sostener los procesos de respiración, división celular y elongación de tejidos. Por esta razón, el aporte externo de nutrientes procedente de los medios de cultivo puede tener una influencia limitada durante los primeros días posteriores a la germinación, ya que gran parte del crecimiento inicial es sostenido por las reservas internas de la semilla (Bewley *et al.,* 2011).). A partir de ello, podemos deducir que la disponibilidad de estos nutrientes en los extractos obtenidos a partir de residuos orgánicos probablemente fue insuficiente para generar diferencias detectables en el crecimiento de las plántulas de *Phaseolus vulgaris* durante el periodo experimental.



Figura 4. *Desarrollo representativo de plántulas de frijol en el medio de control (Hoogland) evaluado al finalizar el periodo experimental. Aunque se observaron diferencias visuales en el crecimiento de algunas plántulas, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos para las variables de longitud de raíz, longitud de tallo y biomasa comparado con otros medios realizados (ANOVA, $p > 0.05$).*

Conclusiones

El análisis del crecimiento de germinación de las especies de semillas “frijol negro” (*Phaseolus vulgaris* L.), “maíz” (*Zea mays* L.) y “brócoli” (*Brassica oleracea* var. *itálica)* en medios de crecimiento elaborados a partir de residuos orgánicos, los cuales pueden ser alternativas de menor costo para su aplicación en la industria agrícola. Se concluye que la mayor germinación, en la plántula, así como diferencia estadística en el método de Tukey HSD fue la semilla de brócoli.

Además, el medio elaborado a partir de cáscara de zanahoria mostró un mayor crecimiento de longitud total en las plántulas de brócoli, seguido del medio café/huevo y cocción de verduras al compararse entre los 8 tratamientos en una probabilidad de ($p<0.05$). Esto nos quiere decir que el aporte de los distintos micronutrientes de cada medio de cultivo tiene un efecto directo en el crecimiento de las plántulas, por lo que, no todos los medios de residuos orgánicos son óptimos para el desarrollo y germinación de las semillas, indicando que los micronutrientes indispensables para un mejor crecimiento son los aportados por la cáscara de zanahoria (Betacaroteno (provitamina A), potasio, vitamina K).

Así mismo, de los dos medios de control realizados con una misma solución Hoagland, pero con un distinto aglutinante (Agar Agar y Phytagel), demuestran que el medio control con Phytagel tiene un ligero aumento en el crecimiento de las plántulas; sin embargo, no se observó una diferencia significativa entre estos dos aglutinantes. Este estudio sugiere existe una correlación directa entre el tipo de aglutinante empleado en el medio control con el crecimiento de las semillas.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo otorgado por la Dirección de Apoyo a la Investigación y Posgrado (DAIP) por la beca otorgada a los alumnos de la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo Emilio Bustamante Amador, Leonardo Ornelas Frias y Karla Fernanda Nicole Macias Millán, a la División de Ciencias Naturales y Exactas del Campus Guanajuato por las instalaciones y apoyo para otros alumnos durante el presente verano.

Referencias

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2011). First off the mark: Early seed germination. *Journal of Experimental Botany, 62*(10), 3289–3309. https://doi.org/10.1093/jxb/err030

Buckler, E. S., Holland, J. B., Bradbury, P. J., Acharya, C. B., Brown, P. J., Browne, C., Ersoz, E., Flint-Garcia, S. A., García, A., Glaubitz, J. C., et al. (2009). The genetic architecture of maize flowering time. *Science, 325*(5941), 714–718. https://doi.org/10.1126/science.1174276

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. (2012). Functions of macronutrients. En P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 135–189). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6

Kim, J., et al. (2024). Combined effect of light and temperature on wheat and rice growth: A case study in controlled environment agriculture. *Agronomy, 14*(8), 1641. https://doi.org/10.3390/agronomy14081641

Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.

Ramos Alvariño, C. (2005). Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. *Revista CENIC Ciencias Químicas, 36*(1), 45–53.

Robles Martínez, M., González Alejandri, A. I., Martínez Guzmán, J. de D., Bustamante Amador, E., Ornelas Frías, L., & Cruz Jiménez, G. (2025). *Phytotoxicity of Cu nanoparticles (metallic and CuO) and $CuSO_4$ in germination and growth of Phaseolus vulgaris L. (black bean). Jóvenes en la Ciencia, 37*. Universidad de Guanajuato. https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Stoline, M. R. (1981). The status of multiple comparisons: Simultaneous estimation of all pairwise comparisons in one-way ANOVA designs. *The American Statistician, 35*(3), 134–141. https://doi.org/10.1080/00031305.1981.104793

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.

U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (2025). *FoodData Central.* https://fdc.nal.usda.gov/