

Aprovechamiento sustentable de residuos orgánicos generados a partir del sector agroindustrial y de tecnologías ambientales


Sustainable use of organic waste generated from the agro-industrial sector and environmental technologies

<https://doi.org/10.58299/utp.267.c944>



Rosa Angélica Guillén Garcés 

Universidad Politécnica del Estado de Morelos
Ingeniería en Tecnología Ambiental
aguillen@upemor.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-1257-352X>

Jessica Nayelly Ávila Cervantes 

Universidad Politécnica del Estado de Morelos
Ingeniería en Tecnología Ambiental
acjo193488@upemor.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0002-1030-2152>

Lourdes Fonseca Campos 

Universidad Politécnica del Estado de Morelos
Ingeniería en Tecnología Ambiental
colegiodebiologos@uaem.mx
<https://orcid.org/0009-0003-2687-0784>

Alma Delia Sánchez García 

Universidad Politécnica del Estado de Morelos
Ingeniería en Tecnología Ambiental
22070060@upemor.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0056-9681>

Resumen

Los residuos agrícolas que no son tratados adecuadamente representan un problema ambiental que requieren la aplicación de técnicas de agricultura sostenible. Este estudio evaluó el efecto de la aplicación de una enmienda orgánica, obtenida por compostaje de sustrato agotado de *Pleurotus djamor* y estiércol bovino, y de extractos de microalgas (*Scenedesmus* sp. y *Coelastrella* sp.) sobre la germinación y el desarrollo temprano de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum*), en comparación con fertilización inorgánica convencional. La composta fue caracterizada mediante parámetros fisicoquímicos y nutrimentales, y los ensayos en invernadero incluyeron cinco tratamientos de sustrato y riego. La germinación fue limitada en la enmienda orgánica, aunque se corrigió mediante pretratamiento que consistió en el lavado del material con agua destilada, mientras que los extractos microalgales promovieron significativamente el crecimiento. Los resultados mostraron el potencial de integrar bioinsumos de origen residual y microalgal como alternativas sostenibles e innovadoras para sistemas agrícolas, aportando evidencia científica que respalda su viabilidad frente a prácticas convencionales.

Palabras clave: agricultura sustentable; enmienda orgánica; extracto de microalgas; plántulas de jitomate.

Abstract

Improper agricultural waste management poses a critical environmental challenge requiring sustainable strategies. This study assessed the impact of an organic amendment, derived from composted *Pleurotus djamor* spent substrate and bovine manure, and aqueous microalgal extracts (*Scenedesmus* sp., *Coelastrella* sp.) on tomato (*Solanum lycopersicum*) seed germination and early seedling growth, in comparison with conventional mineral fertilization. The compost was characterized through physicochemical and nutritional analyses, and greenhouse experiments involved five substrate-irrigation treatments. Germination in the organic amendment was initially inhibited but restored after pre-treatment, whereas microalgal extracts significantly enhanced seedling development. Results demonstrate the potential of integrating compost-based amendments and microalgal biostimulants as sustainable and innovative inputs for agricultural systems, providing evidence of their efficacy as alternatives to conventional fertilizers.

Keywords: compost-based amendment; microalgal extracts; tomato seedling; sustainable agriculture.



Introducción

La gestión integral de residuos es esencial para mitigar impactos ambientales y de salud, ya que su inadecuado manejo provoca emisiones de CO₂, contaminación hídrica y vectores. Globalmente se recolectan 11,200 millones de toneladas de residuos, de los cuales la fracción orgánica aporta 5 % de gases de efecto invernadero (ONU). En México se generan 120,128 toneladas diarias, 46.42 % orgánicas (SEMARNAT, 2020). Destacan residuos lignocelulósicos agrícolas como maíz y sustratos de *Pleurotus spp.* (Méndez et al., 2018; Salmones, 2017).

Por otro lado, el sector ganadero es otro emisor relevante. Entre 2006 y 2012, las excretas porcinas y bovinas sumaron 66.71 millones de toneladas, mientras que los residuos más bajos fueron los lodos de tratamientos de aguas residuales con 232 toneladas (SEMARNAT, 2020). El manejo inadecuado de estos residuos genera problemas ambientales como lixiviados, contaminación del aire por quema o producción de metano, y difusión de plagas. Sin embargo, su valorización permite disminuir la acumulación y reducir impactos.

El compostaje es una tecnología ampliamente utilizada para transformar residuos en productos estables, libres de patógenos y sin fitotoxicidad (Méndez et al., 2018). Su eficiencia depende de la relación C/N, favorecida por materiales nitrogenados y la inoculación con hongos lignocelulolíticos como *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor*, que aceleran la degradación de lignina y mejoran la calidad del compost. Estos hongos, principales descomponedores por su alta producción enzimática, han mostrado aplicaciones en biorremediación, control de plagas y enmiendas orgánicas. Además, su sustrato agotado se reutiliza en agricultura y ganadería, aportando soluciones sostenibles y productivas (Badr El-Din et al., 2000).

Los extractos de algas, combinados con abonos orgánicos, favorecen la productividad agrícola sostenible mediante aplicaciones foliares, enmiendas del suelo o tratamientos en semillas. Sus efectos incluyen mayor germinación, desarrollo radicular, rendimiento, contenido de clorofila y área foliar, así como mejor calidad y vida poscosecha. También





incrementan la resistencia al estrés biótico y abiótico, al ser fuente de nutrientes y compuestos bioactivos como fitohormonas (giberelinas, auxinas y citoquininas) esenciales para el desarrollo vegetal. Estudios reportan que *Acutodesmus dimorphus* y especies como *Cystoseira gibraltaria*, *Fucus spiralis* y *Bifurcaria bifurcata* actúan como bioestimulantes en tomate, mejorando germinación y crecimiento (Baroud et al., 2021).

Por tanto, los extractos de microalgas, que aplicados a cultivos mejoran germinación, desarrollo radicular, rendimiento y resistencia al estrés, además de prolongar la vida poscosecha. Su eficacia se asocia a nutrientes, ácidos grasos y fitohormonas como giberelinas, auxinas y citoquininas (Baroud et al., 2021). Estudios han demostrado efectos positivos en tomate al aplicar extractos de especies como *Acutodesmus dimorphus*, *Cystoseira gibraltaria* o *Fucus spiralis*, con mejoras en germinación y crecimiento (Baroud et al., 2021).

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas más relevantes a nivel mundial por consumo y valor económico. México se ubica como el noveno productor global y líder en exportación, con ventas anuales superiores a 1.6 millones de toneladas, principalmente a Estados Unidos. En 2021, Morelos produjo 164,577 toneladas en 2,615 hectáreas. Sin embargo, la producción enfrenta problemas derivados del uso intensivo de fertilizantes químicos, que deterioran suelos y sistemas agrícolas (Murillo et al., 2020).

Ante este panorama, se requieren alternativas sustentables que disminuyan la dependencia de insumos químicos. Este estudio propone evaluar el efecto de una enmienda orgánica —mezcla de sustrato agotado y estiércol composteado— en combinación con extractos de microalgas sobre la germinación y crecimiento de plántulas de jitomate. Se busca comparar los resultados con el manejo convencional mediante fertilizantes minerales, a fin de explorar nuevas estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. Con ello se pretende fortalecer la producción agrícola bajo un enfoque de sustentabilidad, contribuyendo a sistemas más eficientes y responsables con el medio ambiente y la seguridad alimentaria.





Metodología

El experimento se realizó en un invernadero del municipio de Jiutepec, Morelos (18°53'23.38" N y 99°08'24.24" O), utilizando como base una lona de PVC de 5 × 5 m para el montaje de la composta. Los insumos empleados incluyeron una solución de microalgas de los géneros *Scenedesmus* sp. y *Coelastrella* sp., donada por el Instituto de Energías Renovables (IER) de Temixco; medio tonelada de sustrato agotado de *Pleurotus djamor* proporcionado por la empresa La Carpa, en Cuernavaca; y seis costales de 45 kg de estiércol bovino, otorgados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Jiutepec. Todos los materiales fueron caracterizados físico-química y nutrimentalmente (pH, CE, nitrógeno disponible y total, fósforo disponible) con base en los métodos presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos empleados en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y nutrimentales, en las muestras tomadas desde el inicio (0 días), hasta el final (98 días) del proceso de compostaje.

Parámetro	Método	Equipo
pH	Potenciométrico por el método AS-02 de la NOM 021-SEMARNAT-2000 (5 g muestra en 25 mL H ₂ O destilada)	pHmetro Oakton modelo pH2700
CE (mS/cm)	Conductimétrico por el método AS-18 de la NOM 021-SEMARNAT-2000 (5 g de muestra en 25 mL de H ₂ O destilada)	Medidor multiparamétrico, marca Oakton
Humedad (%)	-	Termobalanza, marca RADWAG, modelo PMX50
MO y CO	Gravimétrico por el método de cenizas de la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 (1 g de muestra se calcino por 1 h a 110° C, después se incinero en una mufla a 550°C por 2 hrs).	Horno de secado, marca ARSA, modelo AR-290D Mufla, marca Hornos mileneo, modelo Impala
N disponible (ppm)	Kjeldhal por el método AS-08 de la NOM-021-SEMARNAT-2000	Destilador Kjeldhal, marca Büchi, modelo K-375
N total (%)	Kjeldhal por el Método de Análisis de Compost proveniente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)	Digestor marca Büchi, modelo K-425 Destilador Kjeldhal, marca Büchi, modelo K-375
P disponible (ppm)	Espectrofotométrico de la NOM-021-SEMARNAT-2000	Espectrofotómetro, marca HACH, modelo DR6000

Nota: CE: conductividad eléctrica; pH: potencial de hidrógeno; MO: materia orgánica; CO: carbono orgánico; N disponible: nitrógeno disponible; N total: nitrógeno total; P disponible: fósforo disponible.

El compostaje se realizó mediante el método aerobio de apilamiento por volteos, alternando capas de sustrato agotado y estiércol, mezcladas para evitar compactación y favorecer la aireación. La pila (1 m de alto × 2 m de ancho) se cubrió con lona de PVC para conservar





humedad y temperatura. Durante 95 días se efectuaron muestreos: cada tercer día para parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH y CE), y semanalmente para nutrimentales (MO, CO, N total y disponible), además de humedad mediante la prueba de puño. Las muestras, tomadas a 20 cm de profundidad, se secaron y tamizaron. El producto final se evaluó conforme a la NMX-AA-180-SCFI-2018.

Germinación de jitomate (*Solanum lycopersicum*)

El experimento se llevó a cabo en invernadero, a 26 ± 2 °C y 70 % de humedad relativa, durante noviembre de 2022. Se evaluaron los siguientes seis tratamientos incluyendo el control: Control, peatmoss + solución nutritiva (para riego), T₁, peatmoss + solución microalgal (al 100%) (para riego), T₂, peatmoss + agua (para riego), T₃, enmienda orgánica + solución nutritiva (para riego), T₄, enmienda orgánica + solución de microalga (al 100%) (para riego), T₅, enmienda orgánica + agua (para riego).

Se utilizó jitomate (*Solanum lycopersicum* var. Rafaello) sembrado en bandejas de polipropileno desinfectadas con hipoclorito de sodio al 0.5 % durante 16 h, siguiendo recomendaciones técnicas. La solución nutritiva inorgánica se preparó según Steiner propuesta en 1984, ajustada a 5 L con sales específicas. La germinación se registró cada 24 h durante 8 días, considerando plántula germinada con ≥ 2 mm de hipocótilo. El riego fue diario (10 mL planta⁻¹). A los 8 días se calculó el porcentaje de germinación (Cárdenas-Murguía et al., 2022). Durante 21 días se midieron crecimiento, diámetro, altura y número de hojas.

De este modo, el diseño experimental permitió evaluar el efecto de enmiendas orgánicas y extractos microalgales frente a prácticas convencionales sobre la germinación y desarrollo temprano de plántulas de jitomate.

Análisis Estadístico

Se utilizó Microsoft Excel para análisis estadísticos. ANOVA y el método de Tukey ($P < 0.05$) se aplicaron para probar las diferencias significativas entre los tratamientos experimentales.





Resultados y Discusión

Resultados

Caracterización de los materiales orgánicos empleados para la elaboración de la enmienda orgánica (compost) y de los materiales usados en la germinación de las plántulas de jitomate. Los resultados de la determinación de los parámetros fisicoquímicos y nutrimentales del estiércol de vaca, el sustrato agotado, el Peat-Moss, la solución nutritiva y las microalgas, se muestran en la tabla 2.

Los valores de pH del sustrato agotado utilizado son similares a los reportados por Yagüe y Lobo, 2021, y la CE es similar a lo reportado por Albiach et al; 2018. El aporte de nitrógeno total por parte del estiércol bovino fue entre un 1-3% de nitrógeno total. Los valores de pH, CE y nitrógeno total del estiércol, fueron mayores a los presentados Cervantes et al. (2022), mientras que el pH de las algas fue mayor y la CE menor, que los registrados por Baroud et al. (2021).

De acuerdo a la caracterización nutrimental, el contenido de nitrógeno disponible encontrado en la solución microalgal fue inferior de los valores reportados por Uysal et al; 2015, quienes reportaron valores de 5.45 % en un biofertilizante producido a base de *Chlorella sp*, similar contenido se observó para el fósforo disponible, donde los valores fueron inferiores al compararlo con el biofertilizante reportado por estos autores, quienes encontraron valores de 1, 0. 057 y 0.99 % respectivamente.

Tabla 2. Caracterización de los principales parámetros fisicoquímicos y nutrimentales de los materiales utilizados en el estudio.

Parámetro	CE (dS m ⁻¹)	pH	N disponible (ppm)	N Total (%)	P disponible (ppm)
Estiércol de vaca	10.216±0.0115	9.48±0.0115	1504.335±16.7237	1.902±0.0652	NA
Sustrato agotado	6.826±0.0585	8.83±0.0152	405.231±23.4328	0.545±0.0163	NA
Peat-Moss Berger	0.1	4.5	14	NA	2
Solución nutritiva	2.44±0.0351	6.21±0.0152	0.0221	NA	0.0061
Microalgas	0.519±0.0025	8.85±0.0814	4.351±0.3483	0.015±0.0010	0.042

Nota: CE: conductividad eléctrica; pH: potencial de hidrógeno; N disponible: nitrógeno disponible; N total: nitrógeno total; P disponible: fósforo disponible; P total: fósforo total; n=3 ± desviación estándar. NA: no analizado.





A. Proceso de compostaje de la mezcla de sustrato agotado del cultivo de hongo *Pleurotus djamor* y estiércol de vaca

Los resultados de la evaluación fisicoquímica y nutrimental de la mezcla orgánica durante 95 días de compostaje (tabla 3) muestran su comparación con la normativa NMX-AA-180-SCFI-2018. La temperatura alcanzó 62 °C al sexto día (figura 1), marcando la fase termófila en la que se eliminan patógenos y se degrada la mayor parte de la materia orgánica, estabilizándose en 30 °C al final, lo que indica maduración (Méndez et al., 2018). La humedad se mantuvo en 60–64 %, dentro del intervalo normativo (40–70 %), evitando condiciones anaerobias.

El pH varió entre 8 y 9, alcanzando 8.67 al día 95 (figura 2). La aireación favoreció la degradación de ácidos orgánicos y el incremento del pH. Valores superiores a 7.5 indican buena descomposición, aunque por encima de 8.5 pueden reflejar deficiencias de micronutrientes. Este comportamiento coincide con lo reportado en compostajes similares (Méndez et al., 2018).

La conductividad eléctrica aumentó (figura 3) debido a la mineralización y liberación de sales, fenómeno relacionado con la composición inicial del material (Bárbaro et al., 2019). Si bien la acumulación de sales puede generar efectos fitotóxicos (Yagüe y Lobo 2021), en este estudio se mantuvo dentro de parámetros aceptables.

La materia orgánica inicial (50–70 %) disminuyó a 49.86 % al final, reflejando mineralización y pérdida de carbono (Gutiérrez et al., 2022), con una velocidad de degradación de -0.0493 semana⁻¹, comparable con valores reportados (Albuquerque et al., 2009).

El contenido de nitratos (NO_3^-) se incrementó (figura 5) debido a la nitrificación favorecida por aireación y temperatura. El N total aumentó de 1.251 % a 1.391 % (figura 6), asociado a la liberación por degradación microbiana (Méndez et al., 2018).

En conclusión, la composta mostró incrementos en CE y N total, disminución de MO y un pH alcalino, con características físicas (olor agradable y color oscuro) que indican un compost maduro (Miranda et al., 2019).



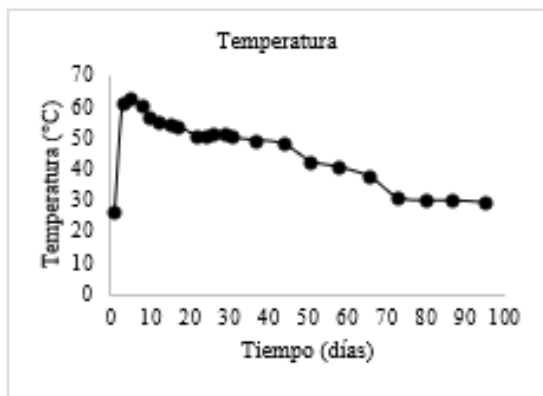


Figura 1. Dinámica de la temperatura (°C), en el proceso de compostaje (sustrato agotado por *Pleurotus djamor* + estiércol de vaca) en un tiempo de 95 días.

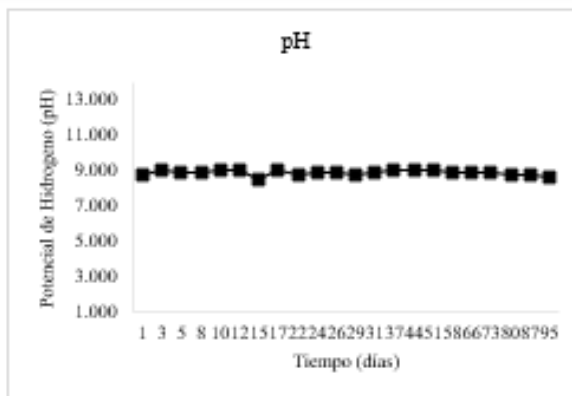


Figura 2. Comportamiento del pH, en el proceso de compostaje (sustrato agotado por *Pleurotus djamor* + estiércol de vaca) en un tiempo de 95 días.

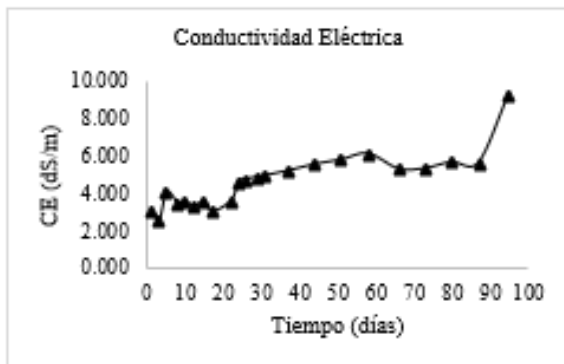


Figura 3. Comportamiento de la conductividad eléctrica (dS/m), en el proceso de compostaje (sustrato agotado por *Pleurotus djamor* + estiércol de vaca) en un tiempo de 95 días.

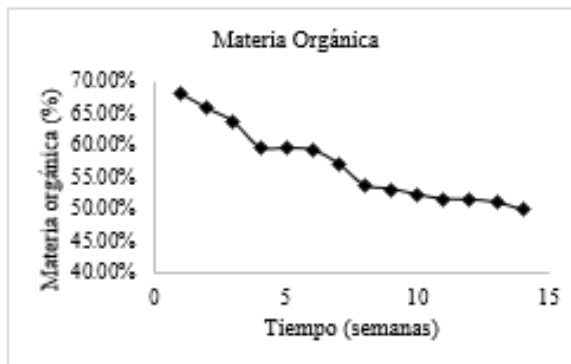


Figura 4. Comportamiento de la materia orgánica (%), en el proceso de compostaje (sustrato agotado por *Pleurotus djamor* + estiércol de vaca) en un tiempo de 95 días.

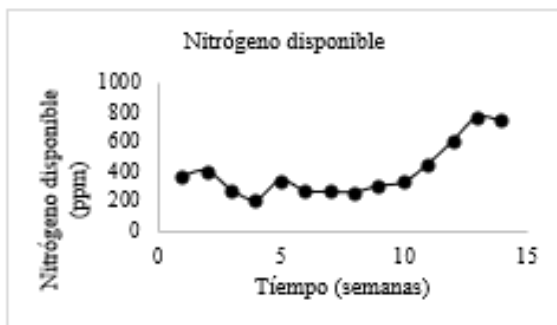


Figura 5. Comportamiento del nitrógeno disponible (ppm), en el proceso de compostaje (sustrato agotado por *Pleurotus djamor* + estiércol de vaca) en un tiempo de 95 días.

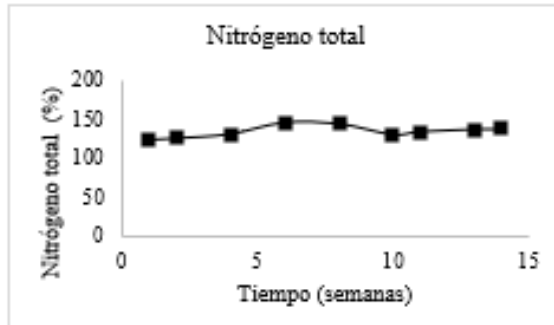


Figura 6. Comportamiento del nitrógeno total (%), en el proceso de compostaje (sustrato agotado por *Pleurotus djamor* + estiércol de vaca) en un tiempo de 95 días.

Fuente: elaboración propia.





Tabla 3. Valores obtenidos (media \pm desviación estándar; n= 3) en los Parámetros fisicoquímicos y nutrimentales determinados al inicio (0 días) y al final (95 días) del proceso de compostaje comparados con la NMX-AA-180-SCFI-2018.

Parámetro (unidad)	0 días (inicio)	95 días (termino)	NMX-AA-180-SCFI-2018 para composta terminada.
Humedad (%)	64.388	60.750	25- 45 en peso
Temperatura (°C)	26	29	25– 50
pH	8.790 \pm 0.0818	8.677 \pm 0.0305	6.7 – 8.5
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	3.080 \pm 0.0700	9.337 \pm 0.1464	0.5 - 12
MO (%)	68.18 \pm 0.0143	49.86 \pm 0.0142	\geq 20 % MS
CO (%)	39.55 \pm 0.0083	28.92 \pm 0.0082	-
N Total (%)	1.251 \pm 0.0378	1.391 \pm 0.0308	1 – 3 % MS
N disponible (ppm)	370.928 \pm 31.6708	744.885 \pm 28.6818	-
color	marrón claro	marrón oscuro	Marrón o pardo oscuro. Similar al café o chocolate oscuro
olor	Olor a excremento	olor agradable	Agradable a tierra húmeda de bosque (monte).

Fuente: elaboración propia.

B. Germinación y crecimiento de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) en sustrato a base de Peat-Moss Berger y sustrato agotado del cultivo de hongo *Pleurotus djamor* y estiércol de vaca composteado, regadas con solución nutritiva, solución microalgal y agua.

Porcentaje de germinación

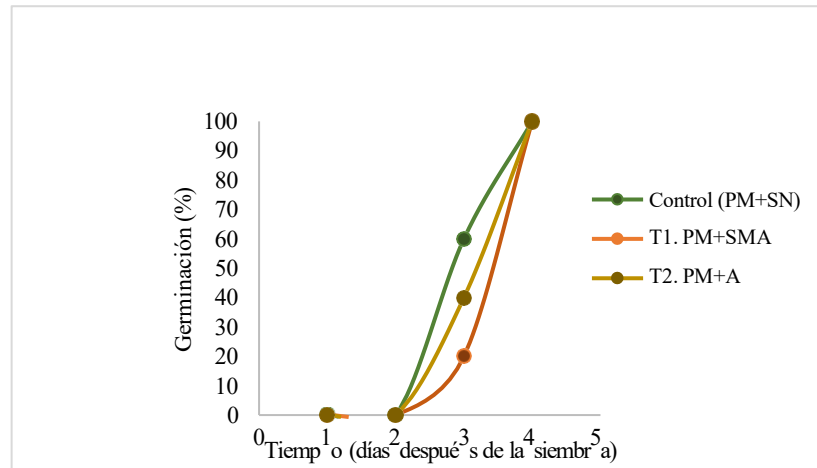
La germinación inicia con la absorción de agua por la semilla y concluye con la elongación del eje embrionario, manifestándose cuando la radícula atraviesa las estructuras del embrión, conocida como “germinación visible” (Berrospe-Ochoa et al., 2015). En este estudio, la germinación comenzó al tercer día en todos los tratamientos, destacando el control (Peat-Moss + solución nutritiva), con más del 50 % de semillas germinadas. Al cuarto día, el control, T1 (Peat-Moss + solución microalgal) y T2 (Peat-Moss + agua) alcanzaron el 100 % de germinación (tabla 4). El efecto positivo de las microalgas coincide con lo reportado por Baroud et al. (2021), quienes atribuyen este resultado a reguladores de crecimiento y nutrientes. En contraste, las semillas en sustratos con enmienda orgánica no germinaron debido a la salinidad elevada (9.33 dS/m), la cual afecta imbibición, división





celular y movilización de reservas (Sandoval et al., 2021). Así, la adecuada combinación de materiales orgánicos e inorgánicos resulta esencial para obtener sustratos óptimos.

Figura 7. Porcentaje de germinación de semillas de jitomate en sustrato Peat-Moss Berger (PM): Control. Peat-Moss + solución nutritiva; T₁. Peat-Moss+ solución microalgal; T₂. Peat-Moss + agua.



Fuente: elaboración propia.

Crecimiento de las plántulas de jitomate

Altura de las plántulas

Por otro lado, en cuanto al crecimiento de las plántulas de jitomate, al término de los 21 días de monitoreo, las plántulas del grupo control (Peat-Moss + solución nutritiva) tuvieron mayor altura (cm) media (4.44 cm), seguido del T₂ (Peat-Moss + agua) con una altura (cm) media (3.92) y finalmente el T₁ (Peat-Moss + solución microalgal) con una altura (cm) media (3.36 cm). De esta manera, el grupo control y T₂ fueron estadísticamente iguales presentando los valores más altos con respecto a la altura monitoreada en las plántulas, en cuanto al grupo control y T₁ no fueron estadísticamente iguales (tabla 4).

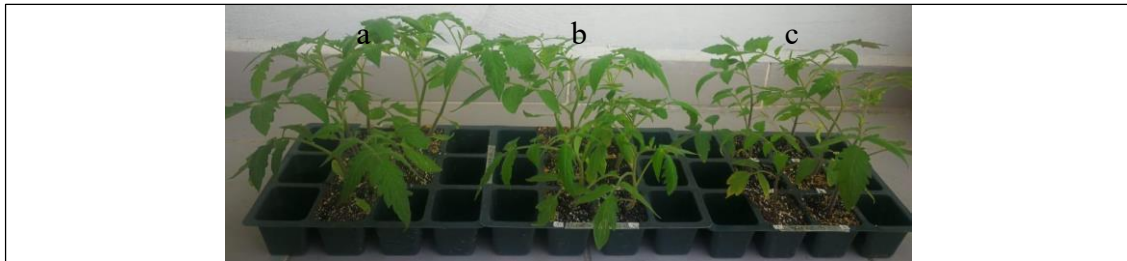
La altura es un indicador de vigor en plántulas de jitomate, estimándose entre 20–30 cm a los 28 días y siendo aptas para trasplante entre 10–12 cm; sin embargo, ninguno de los tratamientos alcanzó dichas dimensiones (Rivas, 2021). La solución nutritiva empleada presentó concentraciones de P y N menores a las recomendadas (20 ppm y 50 ppm, respectivamente) por Télles y Garza (2012). El crecimiento en altura depende de factores como agua, nutrientes, aire y energía aportados por el sustrato (Rivas, 2021). Además,





extractos microalgales en concentraciones elevadas pueden limitar germinación y crecimiento (Hernández et al., 2014).

Figura 8. Plántulas de jitomate en sustrato Peat-Moss y su efecto en la altura (cm) según los diferentes tratamientos de riego aplicados, monitoreadas en un periodo de 21 días. a) Control (Peat-Moss con solución nutritiva), b) T₁. (Peat-Moss con solución microalgal) y c) T₂. (Peat-Moss con agua).



Fuente: elaboración propia.

Grosor de tallo

A pesar de que las plántulas regadas con solución microalgal (T₁) mostraron un menor aumento gradual de la altura en la planta en comparación con aquellas regadas con agua (T₂), el T₁ presentó un diámetro del tallo promedio (mm) de 1.078 mm y el T₂ un diámetro del tallo promedio (mm) de 1.074 mm, mientras que el grupo control estuvo por encima, con un diámetro promedio (mm) de 1.086 mm, sin embargo, no existe diferencia significativa entre los tratamientos T₁, T₂ y el grupo control (tabla 4).

El grosor del tallo es un indicador clave del vigor de plántulas, ya que un diámetro de 0.4–0.5 cm brinda soporte adecuado al trasplante entre los 30–35 días (Télles y Garza, 2012). El diámetro se asocia con el tamaño de la raíz, supervivencia y rendimiento (Sandoval, et al., 2021). Rivas (2021) señala que bioestimulantes mejoran altura y diámetro al favorecer la absorción de nutrientes. En este estudio, la solución microalgal mostró potencial como bioestimulante, coincidiendo con Baroud et al. (2021), quienes destacan sus compuestos promotores del crecimiento.

Número de hojas

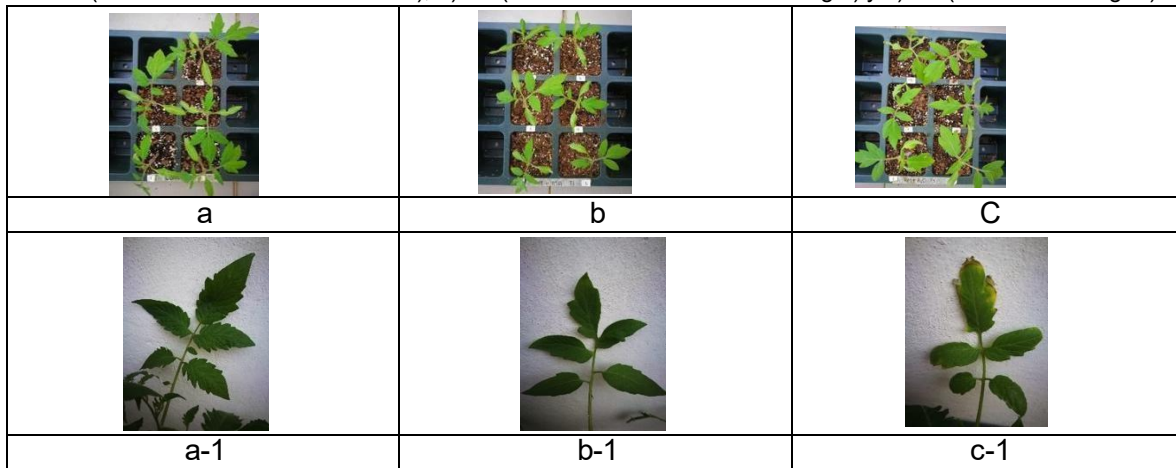
Finalmente, el número de hojas es un parámetro que debe tomarse en cuenta cuando se evalúa la calidad de las plántulas, por lo que las plántulas de jitomate deberán permanecer en el semillero o almácigo hasta que hayan desarrollado 2-3 pares de hojas, asimismo una





plántula de calidad debe presentar en sus hojas un color verde oscuro, ya que hojas amarillas indican deficiencia de nutrientes (Cedeño, 2020). De los tratamientos estudiados, el grupo control tuvo el mayor número de hojas verdaderas (7.6 hojas) al cabo de los 21 días de monitoreo presentando diferencias significativas con los tratamientos estudiados, mientras que el T₁ y T₂, tuvieron el mismo número de hojas verdaderas (6 hojas), por lo que estos tratamientos fueron estadísticamente iguales (cuadro 4), sin embargo, en cuanto al color el T₂, presento en algunas de sus plántulas hojas amarillentas (figura 10).

Figura 10. Plántulas de jitomate en sustrato Peat-Moss y su efecto en el crecimiento del número de hojas verdaderas según los diferentes tratamientos de riego aplicados, monitoreadas en un periodo de 21 días. a) Control (Peat-Moss + solución nutritiva), b) T₁. (Peat-Moss + solución microalgal) y c) T₂. (Peat-Moss + agua).



Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Variables evaluadas en el crecimiento de plántulas de jitomate germinadas en sustrato Peat-Moss Berger, regadas con solución nutritiva, solución microalgal y agua en un tiempo de 21 días.

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas verdaderas
Control	4.440±0.0346 ^a	1.086±0.0023 ^a	7.6 ^b
T ₁ . PM+SMA	3.366±0.0346 ^b	1.078±0.0046 ^a	6 ^a
T ₂ . PM+A	3.926±0.0346 ^{ab}	1.074±0.0046 ^a	6 ^a

Los valores son la media (± desviación estándar; n= 3). Control: Peat-Moss + solución nutritiva (para riego); T₁.PM+SMA: Peat-Moss + solución microalga (para riego); T₂.PM+A: Peat-Moss + agua (para riego). Valores con la misma letra, en cada columna, son estadísticamente iguales entre sí, mientras que valores con diferente letra, indican diferencias significativas (Tukey, p≤ 0.05)





Conclusiones

En conclusión, la aplicación de extractos acuosos *Scenedesmus sp.* y *Coelastrella sp.* como fertilizante orgánico, tuvo un efecto positivo importante en la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas al compararlo con el grupo control. Sin embargo, al igual que los agroquímicos sintéticos, parece haber una concentración de corte en la que las concentraciones de extracto microalgal más altas conducen a una disminución en el crecimiento y desarrollo general de las plantas de jitomate, en comparación con las concentraciones de extracto más bajas. Por ello, se necesitan más estudios sobre la aplicación de esta solución microalgal con el fin de aplicarla a diferentes concentraciones, y observar el comportamiento que presente en cuanto a germinación de semillas y crecimiento de las plántulas.

Por otro lado, sobre la enmienda orgánica (sustrato agotado-estiércol composteado), es importante tomar en cuenta la conductividad eléctrica para la etapa germinativa, ya que no se logró la germinación en semillas de jitomate debido a la cantidad de sales presentes. Sin embargo, se deben realizar más estudios para observar la germinación en otro tipo de semillas.

Finalmente, se deben realizar estudios adicionales sobre la enmienda orgánica (sustrato agotado-estiércol composteado), como una caracterización física más detallada analizando su densidad aparente, capacidad de campo y porosidad para su empleo en la germinación.

Aportaciones

Se realizó un pretratamiento a la enmienda orgánica (sustrato agotado-estiércol composteado) haciendo un lavado para disminuir la cantidad de sales y se logró la germinación de las semillas de jitomate a los 3 días después de la siembra.





Referencias

- Albiach, R., Canet, R., Montoya, T., Pérez-Piqueres, A., Quinones, A., y Rojo, P. (2018). Gestión integral de residuos orgánicos. Poniendo en marcha la economía circular en la sociedad. Red Española de compostaje, 570 pp. ISBN: 978-84-09-09152-2 <https://www.researchgate.net/publication/331432495>
- Alburquerque, J. A., González, J., Tortosa, G., Baddi, G. A., & Cegarra, J. (2009). Evaluation of “alperujo” composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation*, 20(2), 257–270. <https://doi.org/10.1007/s10532-008-9218-y>
- Badr El-Din, M. S., Attia, M., & Abo-Sedera, S. A. (2000). Field assessment of composts produced by highly effective cellulolytic microorganisms. *Biology and Fertility of Soils*, 32(1), 35–40. DOI:10.1007/s003740000210
- Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(2), 126–136. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- Baroud, S., Tahrouch, S., El Mehrach, K., Sadki, I., Fahmi, F., & Hatimi, A. (2021). Effect of brown algae on germination, growth and biochemical composition of tomato leaves (*Solanum lycopersicum*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(5), 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.03.005>
- Berrospe, E. A., Saucedo, C., Ramírez, P., & Ramírez, M. E. (2015). Comportamiento agronómico de plántulas de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en producción intensiva en invernadero. *Agrociencia*, 49(6), 637–650. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n6/v49n6a4.pdf>
- Cárdenas, A., Pérez, S., Salas, N. A., & Rodríguez, M. J. (2022). Escarificación y germinación de semillas de *Lupinus* spp. in vitro y en sustrato *Scarification and germination of seeds Lupinus* spp. in vitro and in substrate. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. 10(58),63-73. https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/germina2_semill_chih._3_riit_div_sept-oct_2022.pdf
- Cedeño, L. M. (2020). *Respuesta agronómica de plantas de tomate (Solanum lycopersicum L.) a la aplicación de Bradyrhizobium japonicum y quitosano* [Tesis de licenciatura]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5988>
- Cervantes, T. J., Preciado, P., Fortis, M., Valenzuela, A., García, J. y Cervantes, M. G. (2022). Efectos en el suelo por la aplicación de estiércol bovino y vermicompost, en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*). *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.835>





- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Diagnóstico Básico para la gestión integral de los residuos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Gutiérrez, A., Orden, L., Postemsky, P., Iocoli, G., Mockel, G., & Marinangeli, P. (2022). Compost de agroresiduos como componente de sustratos para plantas ornamentales. *Horticultura Argentina*, 41(104), 7–18. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/mqwusrfaa>
- Rivas, T., González, L., Boicet, T., Jiménez, M. C., Falcón, A. B., Terrero, J. C. (2021). Respuesta agronómica de dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación del bioestimulante con quitosano. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.796>
- Hernández, H. R., Santacruz, R. F & Ruíz, L. M. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26, 619–628. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>
- Méndez, A., Robles, C., Ruiz-Vega, J., & Castañeda-Hidalgo, E. (2018). Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 271–280. DOI:10.29312/remexca.v9i2.1070
- Miranda, M. D. M., Cedillo, J. G. G., & Plata, M. Á. B. (2019). Manejo de residuos agrícolas como mejoradores del suelo: Estrategia agroecológica para la resiliencia ambiental. En *Transformaciones territoriales en México y Polonia: Vulnerabilidad, resiliencia y ordenación territorial* (p. 210). <http://hdl.handle.net/20.500.11799/104954>
- Murillo, F. D., Cabrera, H., Adame, J., Fernández, J. A., Villegas, J., López, V., & Meneses, I. (2020). Evaluación de insecticidas biorracionales en el control de mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) en la producción de hortalizas. *Biotecnia*, 22(1), 39–47. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1123>
- Salmónes, D. (2017). *Pleurotus djamor, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico*. *Revista Mexicana de Micología*, 46, 73–85. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802017000200073
- Sandoval, E., Lazcano, M., Tornero, M., Hernández, B. Ocampo, I., & Díaz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 77–88. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2450>
- Télles, J., & Garza, E. (2012). *Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y





Pecuarías (INIFAP), Primera edición. <https://es.scribd.com/doc/279570824/tomate-cultivos>

Uysal, O., Uysal, F. O., & Ekinci, K. (2015). Evaluation of microalgae as microbial fertilizer. *European Journal of Sustainable Development*, 4(2), 77–
<https://doi.org/10.14207/ejsd.2015.v4n2p77>

Vázquez, M., & Cabrera, J. A. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura: Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2).
<https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1554/2849>

Yagüe M. & Lobo M. (2021). Reutilización del sustrato post-cultivo de hongos en semillero de hortalizas. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 117(4): 347-359.
<https://doi.org/10.12706/itea.2021.004>





Certificado de evaluación

La Editorial UTP, con Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas, por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) en México; **indexada en catálogos de calidad internacional**. Que, teniendo como **base fundamental el desarrollo del potencial humano**, es líder en el desarrollo y divulgación de producción científica, tecnológica y educativa con altos estándares de calidad en contextos locales, nacionales e internacionales, a través de publicaciones de artículos en revistas, libros, capítulos de libros, recursos educativos, conferencias y congresos.

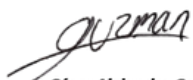
CERTIFICA

Que el capítulo de libro titulado **“Aprovechamiento sustentable de residuos orgánicos generados a partir del sector agroindustrial y de tecnologías ambientales”** presentado por los autores Rosa Angélica Guillén Garcés, Jessica Nayelly Ávila Cervantes, Alma Delia Sánchez García y Lourdes Fonseca Campos ha sido sometido a un exhaustivo proceso de arbitraje por pares académicos, a través de criterios establecidos para investigaciones de alta calidad, siendo dictaminado como producto de investigación científica, tecnológica y/o educativa de alta calidad. Su publicación en el libro titulado **“Economía circular: innovación y sostenibilidad en el ámbito laboral”** estará disponible a partir del 17 de abril de 2026 en la Biblioteca digital de la Universidad Tecnocientífica del Pacífico.

Se extiende el presente certificado, a los 10 días del mes de abril del año 2026.

Transformando con Ciencias Tepic, Nayarit; México


Dra. Ana Luisa Estrada Esquivel
Directora de la Editorial UTP
Universidad Tecnocientífica del Pacífico


César Alejandro González Guzmán
Coordinador de la Editorial UTP
Universidad Tecnocientífica del Pacífico

