

Producción de plántulas de chile habanero irrigadas con aguas residuales porcícolas

Hernández-Pinto C.D.^a, Vega-De Lille M.^{a*}, Giacomán-Vallejos G.^a, Hernández-Núñez E.^b

^aFacultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. Industrias No Contaminantes por Periférico Norte S/N. Mérida, Yucatán. México

^bDepartamento de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Av. Ah Canul S/N por carretera Federal, 24930, Calkiní, Campeche, México.

Fecha de recepción: 19 de octubre de 2024 - Fecha de aceptación: 6 de junio de 2025

Resumen

La industria porcícola y agrícola se ha incrementado considerablemente debido a la demanda alimenticia. La actividad porcícola tiene impactos negativos en el ambiente ocasionados por un mal manejo de los residuos (estiércoles y aguas residuales), estos contienen nutrientes que pueden ser utilizados por las plantas. El objetivo fue evaluar el efecto del agua residual porcícola en el comportamiento de plántulas de chile habanero. Se produjeron plántulas irrigadas con agua residual porcícola y con diluciones de agua residual. Los tratamientos fueron: T1 = testigo (100% agua); T2 = 20% agua residual + 80% agua; T3 = 60% agua residual + 40% agua y T4 = 100% agua residual. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Se evaluaron variables morfológicas de las plántulas. En el porcentaje de emergencia, los tratamientos T1 (96 %) y T2 (92 %) fueron superiores al T4 (agua residual al 100%) que obtuvo la menor emergencia (68%). En la altura el T1 y T2 registraron la mayor longitud (8.41 y 7.87 cm respectivamente), también en el diámetro del tallo con 2.58 y 2.37 mm respectivamente. En el índice de esbeltez el T1 (3.88) y T2 (3.33) fueron superiores a los otros tratamientos. El agua residual porcícola al 100% disminuyó el porcentaje de emergencia de las plántulas. En contraste, el tratamiento con dilución de agua residual al 20% potencializó la emergencia y el crecimiento morfológico de las plántulas. El agua residual porcícola permite obtener plántulas de calidad de manera similar al testigo.

Palabras claves: *Capsicum chinense*, agua residual, calidad de plántulas

*marisela.vega@correo.uady.mx

Production of habanero pepper seedlings irrigated with swine wastewater

Abstract

The pig and agricultural industry has increased considerably due to the demand for food. Swine farming has negative impacts on the environment caused by poor waste management. Swine production waste generates a large amount of manure and wastewater, which contains nutrients that can be used by plants during their growth. The objective of the research was to evaluate the effect of swine wastewater on the behavior of habanero pepper seedlings. Seedlings were produced irrigated with swine wastewater and with wastewater dilutions. The treatments were: T1 = control (100% water); T2 = 20% residual water + 80% water; T3 = 60% residual water + 40% water and T4 = 100% residual water. The experiment was established in a completely randomized design with five replications. Morphological variables of the seedlings were evaluated. In the percentage of emergence, treatments T1 (96%) and T2 (92%) were superior to T4 (100% wastewater) which obtained the lowest emergence (68%). Swine wastewater at 100% reduced emergence. In contrast, treatment with 20% wastewater dilution enhanced the morphological growth of seedlings. Swine wastewater allows obtaining quality seedlings similar to the control.

Keywords: *Capsicum chinense*, wastewater, seedling quality

Introducción

En los últimos años, los sistemas de producción agrícola y pecuario se han incrementado a través de la implementación de medidas y estrategias que permiten maximizar las cosechas y la carne de canal, entre ellos, el uso de agroquímicos, fertilizantes inorgánicos, mayores extensiones de siembra, mayor número de animales, consumo de alimento, agua, entre otros, con la finalidad de cubrir la demanda de alimentos (FIRA, 2020; Rodríguez de Souza *et al.*, 2023; SIAP, 2020). Sin embargo, en la industria porcícola este incremento en el número de animales por corral también generó una mayor descarga de residuos contaminantes, aproximadamente, por cada cerdo se consume 15 l/día de agua, en una granja se genera en promedio aproximadamente 1,860 ton/día de estiércol y un promedio de 1,500 m³/día (1,500,000 Litros/día) es decir, 547,500,000 Litros/año de agua residual (variando en relación al número

y edad del cerdo), estas descargas de efluentes tienen un impacto negativo en el ambiente, como resultado de un ineficiente manejo de los residuos, lo cual genera una gran cantidad de estiércol y aguas residuales que sobrepasa la capacidad de absorción de los suelos (Álvarez-Valencia *et al.*, 2019; Bautista *et al.*, 2022; Menezes *et al.*, 2017; Valdez-Vázquez *et al.*, 2022). En consecuencia, se compromete la calidad del agua, suelo y aire, originando eutrofización, acidificación y modificación de las propiedades del suelo y cambio climático (Bautista *et al.*, 2022).

A pesar de que la principal problemática reside en los altos volúmenes de extracción de agua que pasan de buena a mala calidad, con altas concentraciones de materia orgánica, sólidos totales, nitrógeno y fósforo, fármacos veterinarios, metales pesados, hormonas, entre otros, lo cual es evidenciado por la carencia e ineficiencia en las plantas de tratamiento de

aguas residuales (PTAR) (Bautista *et al.*, 2022; Garzón-Zúñiga y Buelna, 2014; Valdez-Vázquez *et al.*, 2022). En este sentido, es necesario determinar los sitios y concentraciones para la adición y uso de los residuos porcícolas (sólidos y líquidos) donde el riesgo de contaminación sea menor (Wei *et al.*, 2018). En este contexto, en México se estableció una reglamentación para la regulación de las descargas de aguas residuales, entre las cuales se encuentran: NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, NOM-003-ECOL-1997, las cuales establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas.

En Yucatán, el cultivo de chile habanero es de gran importancia debido a sus múltiples propiedades y usos culinarios, sociales y la derrama económica que genera, con una producción superior a las 4,800 t en el estado y más de 30,000 t a nivel nacional, además de contar con la denominación de origen “Chile habanero de la Península de Yucatán” lo convierte una de las hortalizas más valoradas y de mayor consumo por su grado de pungencia y derivados industriales (Hernández-Pinto *et al.*, 2020; SIAP, 2023). Sin embargo, en la producción de cultivos se tienen diversas limitantes como son suelos pobres, plagas, hongos y enfermedades, que disminuyen los rendimientos de los cultivos, ante esto los agricultores recurren al uso excesivo de fertilizantes químicos, insecticidas, entre otros, esto ha generado contaminación al medio ambiente, ocasionando daños al agua por infiltración de minerales, acumulación en suelos, toxicidad en plantas, entre otros. Como resultado del inadecuado uso, se tienen suelos con una alta salinidad, escasez de agua y temperaturas irregulares, que afectan la productividad de los cultivos (Jankovska-Bortkevic *et al.*, 2020; Shinde y Marathe, 2021).

Bajo este panorama, es importante encontrar formas de mitigar el impacto ambiental de los sistemas productivos, empleando alternativas en los sistemas de producción convencional, como el uso de fertilizantes biológicos o biofertilizantes, vermicompostas, excretas líquidas, entre otros, que contienen una gran cantidad de materia orgánica y minerales que permiten a las plantas los requerimientos necesarios (Alatorre-Rosas *et al.*, 2015; Jia *et al.*, 2018; Luna-Fletes *et al.*, 2022). Los residuos porcícolas contienen elementos (fósforo, potasio, calcio, entre otros) que las plantas requieren durante su crecimiento y desarrollo (Mergen *et al.*, 2019). Preciado-Rangel *et al.* (2014) obtuvieron una altura y peso fresco de plántulas de maíz similares a los obtenidos en el tratamiento de solución química empleando lixiviado de estiércol bovino. Asimismo, Liriano-González *et al.* (2017) registraron resultados similares en el diámetro de tallo, número de hojas y biomasa seca de plántulas de tomate al fertilizar con lixiviado. También, Pérez-Gutiérrez *et al.* (2015) obtuvieron resultados satisfactorios en el rendimiento de plantas de *Capsicum* al aplicar excretas líquidas porcinas durante su crecimiento y desarrollo. La producción de plántulas es fundamental durante el proceso productivo, es decir, puede favorecer el rendimiento máximo del cultivo, una mejor adaptación al trasplante y el tiempo de cosecha (Cabanzo-Atilano *et al.*, 2020; Fonseca-Reis *et al.*, 2016). Sin embargo, uno de los factores que más afectan la producción y calidad de plántulas es la nutrición. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del agua residual porcícola en la morfología de plántulas de chile habanero.

Metodología

Colecta de agua residual

El agua residual porcícola tratada se obtuvo de una granja tomando en cuenta su localización, funcionalidad de la PTAR, cumplimiento de normativas, entre otros. La granja porcícola

cuenta con una PTAR con las siguientes características: cárcamo, separador de sólidos, biodigestor anaerobio, lagunas facultativas (con aeración y zonificación). El agua empleada en los tratamientos fue obtenida al final del proceso de la PTAR que consistió en la salida de la laguna de zonificación donde se obtuvo el agua de riego de uso agrícola, es decir, agua residual tratada.

Localización experimental

El experimento se desarrolló en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, en donde se construyó una estructura (invernadero con malla alrededor y techo de plástico) para la producción de plántulas de chile habanero irrigadas con agua residual.

Producción de plántulas y diseño experimental

Se produjeron plántulas de chile habanero en charolas de poliestireno (200 cavidades) con sustrato germinador (Peatmoss). Se colocó una semilla por cavidad y se cubrió con sustrato humedecido con base en los siguientes tratamientos: T1 = testigo (100% agua); T2 = 20% agua residual + 80% agua; T3 = 60% agua residual + 40% agua y T4 = 100% agua residual (Figura 1). Cuando emergieron, se trasladaron a una estructura para su crecimiento, a partir de ahí las plántulas se irrigaron con los tratamientos anteriormente descritos. Las plántulas emergidas se regaron tres veces por semana, de acuerdo con los tratamientos durante un periodo de 40 días. En el tratamiento testigo (100% agua) las plántulas se produjeron de manera convencional con 190 mg/L de NPK (Poly Feed, 19N-19P-19K, Ciudad de México, México). El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones.



Figura 1. Tratamientos aplicados a plántulas de chile habanero. T1 = testigo (100% agua); T2 = 20% agua residual + 80% agua; T3 = 60% agua residual + 40% agua y T4 = 100% agua residual.

Variables evaluadas

Se evaluaron parámetros fisicoquímicos como: pH, Conductividad eléctrica (CE), Sólidos suspendidos (SS), Demanda química de oxígeno (DQO), Nitrógeno total Kjeldahl

(NKT), fósforo total (PT) del agua residual tratada y de las diluciones realizadas de acuerdo con la normativa vigente. Se evaluó la emergencia y tasa de emergencia de plántulas; cuando se visualizó el gancho del tallo, se

consideró como planta emergida, los datos se registraron durante un periodo de ocho días, con los datos obtenidos se calculó la tasa de emergencia, de acuerdo con Hernández-Pinto *et al.* (2020).

Las variables morfológicas se evaluaron a los 40 días después de la siembra, la altura de la plántula se midió con un flexómetro de la base del cepellón al último brote apical, el diámetro del tallo de las plántulas se determinó con un vernier digital y el índice de esbeltez como resultado de la división de la altura de la planta entre el diámetro del tallo.

Análisis estadístico

Los datos en porcentaje se transformaron con la raíz cuadrada de arcoseno. En todas las variables evaluadas (porcentaje y tasa de emergencia, altura, diámetro del tallo, longitud radicular e índice de esbeltez) se realizó un análisis de varianza (ANOVA, $p \leq 0.05$), donde se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, se realizó una comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$). Los análisis se realizaron en el software Statistica 7 (Statsoft, Tulsa, Ok, USA).

Resultados

En el pH se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, el T3 y T4 presentaron un mayor pH (8.6 y 9.1 respectivamente) lo cual indica que el agua residual tratada es alcalina, por otra parte, los tratamientos T1 (6.2) y T2 (7.1) tuvieron un pH neutro. En la conductividad eléctrica el tratamiento T4 (7489 $\mu\text{S}/\text{cm}$) fue superior estadísticamente con respecto a los otros tratamientos, mientras que los valores más bajos fueron en los tratamientos T1 (883 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y T2 (2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El agua residual al 100% (T4) registró el valor más alto en los SS con 0.35 mg/L, superior en 80% al T1 (0.07 mg/L) y en 57% al T2 (0.15 mg/L)) que tuvieron el menor valor. En la demanda

química de oxígeno el valor registrado más alto fue del tratamiento T4 (544 mg/L) y el menor fue del T1 (menor o igual a 20). De manera similar fue el comportamiento en el nitrógeno total (NKT) donde el T4 (588 mg/L) obtuvo el valor más alto. En cuanto al fósforo total (PT) los tratamientos T2 y T3 resultaron estadísticamente mayores con 9.43 y 8.64 mg/L respectivamente) en comparación con los demás (Cuadro 1).

En las variables de vigor de las plántulas, se encontró que el tratamiento T1 y T2 obtuvieron los mayores porcentajes de emergencia con 96 y 92 % respectivamente superiores en al menos un 29 % comparados con el tratamiento T4 (68 %), en la tasa de emergencia, se observó una mayor homogenización de las plántulas en la cual los tratamientos T1 (10.67 plántulas/día) y T2 (9.79 plántulas/día) fueron superiores estadísticamente (Cuadro 2). En este sentido, se observó que el agua residual tratada diluida influyó en los atributos de las semillas

El crecimiento vegetativo en las plántulas fue modificado por el agua residual tratada. En la altura la dilución del tratamiento T2 (7.87 cm) fue estadísticamente similar en comparación con el testigo T1 (8.41 cm), mientras que el tratamiento T4 resultó con menor crecimiento 3.94 cm. De manera similar, en el diámetro del tallo los tratamientos T1 y T2 registraron el mayor grosor con 2.58 y 2.37 mm, respectivamente. Por otra parte, en el índice de esbeltez el tratamiento T1 fue mayor 3.88, similar estuvo el T2 con 3.33, cerca estuvo el T3 2.71 y menor a todos fue el T4 con 2.42 (Cuadro 3). En la longitud radicular los tratamientos T1 (6.1 cm) y T2 (5.8 cm) fueron similares entre sí, siendo superiores a los demás. La dilución del agua residual tratada al 20% incrementó la longitud de las plántulas en al menos un 36% y 65% con respecto al T3 y T4 que registraron 3.7 y 2.02 cm respectivamente (Figura 2).

Cuadro 1. Parámetros químicos del agua residual y las diluciones del agua residual en los tratamientos.

Tratamientos	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	SS (mg/l)	DQO (mg/L)	NKT (mg/L)	PT (mg/L)
T1: 100% agua (Control)	6.2 ± 0.05 c	883 ± 0.022 d	0.07 ± 0.02 c	menor a $\leq 20 \pm 0.01$ d	6.45 ± 0.12 d	6.62 ± 0.19 b
T2: 20 % agua residual + 80 % de agua	7.1 ± 0.09 b	2100 ± 0.027 c	0.15 ± 0.06 b	170 ± 0.02 c	125 ± 0.25 c	9.43 ± 0.22 a
T3: 60 % agua residual + 40 % de agua	8.6 ± 0.13 a	4651 ± 0.125 b	0.20 ± 0.10 b	307 ± 0.05 b	338 ± 0.4 b	8.64 ± 0.50 a
T4: 100% agua residual tratada	9.1 ± 0.27 a	7489 ± 0.172 a	0.35 ± 0.31 a	544 ± 0.41 a	588 ± 0.71 a	6.18 ± 0.84 b

pH: Concentración de iones de hidrogeno en el agua; CE: Conductividad eléctrica; SS: Sólidos suspendidos; DQO: Demanda química de oxígeno; NKT: Nitrógeno total Kjeldahl; PT: fósforo total. Los datos son medias. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $p = 0.05$). NS: No significativo.

Cuadro 2. Porcentaje y tasa de emergencia de plántulas de chile habanero irrigadas con agua residual porcícola.

Tratamientos	Emergencia de plántulas (%)	Tasa de Emergencia (plántulas/día)
T1: 100% agua	96 ± 0.15 a	10.67 ± 0.24 a
T2: 20 % agua residual + 80 % de agua	92 ± 0.23 a	9.79 ± 0.41 a
T3: 60 % agua residual + 40 % de agua	85 ± 0.57 b	7.53 ± 1.11 b
T4: 100% de agua residual	68 ± 0.88 c	4.90 ± 1.36 c

Los datos son medias $\pm$ EE. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $p = 0.05$).

El crecimiento vegetativo en las plántulas fue modificado por el agua residual tratada. En la altura la dilución del tratamiento T2 (7.87 cm) fue estadísticamente similar en comparación

con el testigo T1 (8.41 cm), mientras que el tratamiento T4 resultó con menor crecimiento 3.94 cm. De manera similar, en el diámetro del tallo los tratamientos T1 y T2 registraron el mayor grosor con 2.58 y 2.37 mm, respectivamente. Por otra parte, en el índice de esbeltez el tratamiento T1 fue mayor 3.88, similar estuvo el T2 con 3.33, cerca estuvo el T3 2.71 y menor a todos fue el T4 con 2.42

(Cuadro 3). En la longitud radicular los tratamientos T1 (6.1 cm) y T2 (5.8 cm) fueron similares entre sí, siendo superiores a los demás. La dilución del agua residual tratada al 20% incrementó la longitud de las plántulas en al menos un 36% y 65% con respecto al T3 y T4 que registraron 3.7 y 2.02 cm respectivamente (Figura 2).

Cuadro 3. Variables morfológicas de plántulas de chile habanero irrigadas con agua residual porcícola.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Índice de esbeltez
T1: 100% agua	8.41 ± 0.08 a	2.58 ± 0.020 a	3.88 ± 0.12 a
T2: 20 % agua residual + 80 % de agua	7.87 ± 0.10 a	2.37 ± 0.034 a	3.33 ± 0.25 a
T3: 60 % agua residual + 40 % de agua	6.07 ± 0.25 b	1.82 ± 0.091 b	2.71 ± 0.44 b
T4: 100% de agua residual	3.94 ± 0.36 c	1.08 ± 0.53 c	2.42 ± 1.13 b

Los datos son medias ± EE. Literales diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $p = 0.05$).

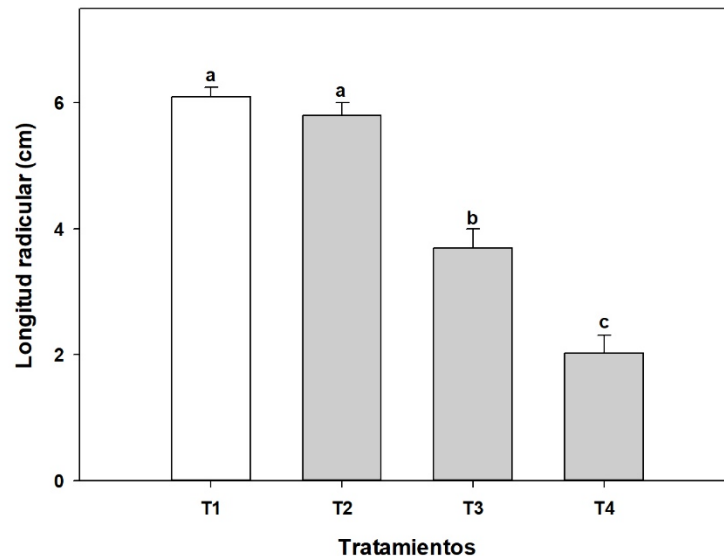


Figura 2. Longitud radicular de plántulas de chile habanero irrigadas con agua residual tratada y diluciones. T1 = testigo (100% agua); T2 = 20% agua residual + 80% agua; T3 = 60% agua residual + 40% agua y T4 = 100% agua residual.

Discusión

En el tratamiento con una dilución del 20% de agua residual, se observó un pH neutro, similar al tratamiento testigo, estos valores permitieron que las plántulas de chile habanero tuvieran una mayor cantidad de nutrientes disponibles para su absorción, por lo que se reflejó en un mayor crecimiento. El rango del valor del pH es una limitante en la disponibilidad de elementos para las plantas. En este sentido, Preciado-Rangel *et al.* (2021) indican que los valores de pH y CE son factores importantes en la absorción de agua y nutrientes durante el crecimiento de las plantas, es decir, pueden favorecer o limitar los recursos y comprometer el rendimiento de las plantas. Sin embargo, los valores del pH pueden variar con respecto a la edad de los cerdos, la alimentación y los tratamientos de las aguas residuales a través de las PTAR (Cárdenas *et al.*, 2017).

La conductividad eléctrica fue mayor en el agua residual tratada al 100% (T4), esto con relación al alto contenido de materia orgánica, compuestos elementales (nitrógeno, fósforo y potasio), sólidos solubles, entre otros, que además resultan potencialmente dañinos para la salud humana y el medio ambiente (Polanco y Beilin, 2019). Por otra parte, los tratamientos con una dilución de agua residual inferior al 100% disminuyeron su CE al menos en un 71 %, lo cual fue óptimo para la absorción de los elementos presentes como el nitrógeno y fósforo, es decir, su CE estuvo por debajo de los 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como lo indica Bilal *et al.* (2020) quienes mencionan que una CE superior a este valor las plantas dejan de asimilar nutrientes y entran en un desbalance lo que impide su crecimiento y desarrollo. La CE varió con respecto al contenido de agua residual porcícola presente en los tratamientos, lo cual concuerda con lo reportado por Pérez-Gutiérrez *et al.*, (2015), indican que la CE disminuyó conforme el tratamiento aplicado tenía menos proporción de excretas líquidas.

También, Amalfitano *et al.*, (2017), mencionan que una CE baja (1 - 2 dS/m) favorece un mejor crecimiento y absorción, mientras que una mayor CE (3 dS/m) ocasiona una restricción en la absorción de agua y nutrientes, lo que conlleva a un déficit hídrico, nutrimental y un estado de toxicidad por la acumulación de iones en la rizosfera. Con respecto a DQO los valores obtenidos en el agua residual tratada y las diluciones fueron muy inferiores a las reportadas por Garzón-Zúñiga y Buelna (2014), indican que la concentración de materia orgánica en las aguas residuales varía entre 3,500 y 9,300 mg DQO/L en granjas pequeñas (hasta 2,500 cerdos) y entre 34,000 y 40,500 mg DQO/L en granjas grandes ($\geq 8,000$ cerdos), valores muy superiores a lo reportado en este trabajo. La concentración de nitrógeno y fósforo total de los tratamientos con diluciones permitió a las plantas potencializar su crecimiento y desarrollo, esto se debe a que la conductividad eléctrica de los tratamientos fue menor, lo que favoreció la absorción de los elementos (Cuadro 1). La concentración de SS, NKT, PT varió con relación a la concentración del agua residual de los tratamientos. Se observó que, en las diluciones de agua residual, se obtenían valores bajos, mientras que, a medida que aumentaba la presencia de agua residual, también se incrementaba el valor. Sin embargo, estos resultados fueron inferiores a los reportados por Garzón-Zúñiga y Buelna (2014) quienes obtuvieron una mayor concentración de SS, NTK y PT.

En los atributos fisiológicos de las semillas, la imbibición con el agua residual favoreció y potencializó la emergencia y tasa de emergencia de las plántulas, esto debido al contenido elemental presente en el agua residual diluida (Cuadro 2). Al respecto, Hernandez-Pinto *et al.* (2022) mencionan que la asimilación y concentración de minerales como nitrógeno, potasio, fósforo, hierro, entre otros, en las semillas es fundamental para los

*marisela.vega@correo.uady.mx

procesos internos. Además, contribuyen en la viabilidad de las semillas y en el crecimiento de las plántulas, es decir, una mayor germinación, emergencia y homogenización de las plántulas. Asimismo, Preciado-Rangel *et al.* (2014) mencionan que los lixiviados líquidos tienen un impacto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plántulas debido a su alto contenido nutrimental. Esto concuerda, con lo obtenido en la investigación donde el T2 mejoró su viabilidad y vigor con relación al agua residual. En este sentido, Pérez-Gutiérrez *et al.* (2015) indican que las excretas porcinas tienen elementos nutricionales que las plantas requieren para su crecimiento y desarrollo. Además, si son debidamente tratadas y aplicadas, representan un recurso que puede reemplazar insumos costosos en la producción de cultivos.

La interacción del agua residual tratada diluida influyó en el crecimiento y desarrollo de las plántulas, al aumentar la altura, el grosor del tallo y la longitud radicular. Es evidente que la composición química del agua residual potencializó la morfología de las plántulas, lo cual se observó en el tratamiento T2 (Cuadro 3 y figura 2). En este sentido, Torres-García *et al.* (2019) mencionan que elementos como el N, P, K, entre otros, participan en diversas actividades metabólicas y fotosintéticas. Como consecuencia, se incrementan la altura, el diámetro del tallo, la longitud de raíz, el rendimiento, entre otros. Por lo tanto, las plantas tienen un mayor porte y mayor probabilidad de sobrevivencia al trasplante, es decir, se obtienen plántulas de calidad como las obtenidas en los tratamientos T1 y T2 (Cuadro 3). Resultados similares se obtuvieron en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) al fertilizar con lixiviado de estiércol donde las

plantas registraron un mayor número de hojas y altura, lo que se atribuyó a la carga de nutrientes en el estiércol. También, en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y algodón (*Gossypium hirsutum*) se incrementó el crecimiento de las plantas al aplicar diferentes lixiviados de estiércol bovino, ya sea puros o en dilución (Calero-Hurtado *et al.*, 2020; Chinga *et al.*, 2020; Torres-García *et al.* 2019). En cuanto al índice de esbeltez, el agua residual a una dilución del 20% (T2) favoreció la obtención de plántulas de calidad, al igual que el tratamiento testigo (T1). Resultados similares fueron obtenidos por Acevedo-Alcalá, Cruz y Taboada (2020) en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.), donde el índice de esbeltez aumentó con relación al uso de lixiviados de estiércol vacuno y estiércol ovino.

Conclusiones

El agua residual porcícola tratada al 100% disminuyó los atributos de las semillas (porcentaje y tasa de emergencia). Por otro lado, la dilución de agua residual tratada al 20 % incrementó el vigor de las semillas. La dilución del agua residual influyó en el crecimiento y desarrollo de las plántulas al potencializar su morfología. El agua residual porcícola diluida permite obtener plántulas de calidad, de manera similar a las producidas de manera convencional. Por tanto, la dilución de agua residual porcícola tratada es una alternativa viable en la producción de plántulas de chile habanero.

Agradecimientos

Al SECIHTI por la beca otorgada y a la Facultad de Ingeniería de la UADY.

Referencias

- Acevedo-Alcalá, P., Cruz-Hernández, J., & Taboada-Gaytán, O. R. (2020). Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 35-44. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.35>
- Alatorre-Rosas, R., Quero-Carrillo, A. R., Miranda-Jiménez, L., Ramírez-Alarcón, S., Villanueva-Verduzco, C., Jarquín-Nieto, I. A., & Villanueva-Sánchez, E. (2015). Biofertilizantes: la solución a la productividad en el campo. Texcoco, Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados.
- Álvarez-Valencia, L. H., García-Reyes, R. B., Ulloa-Mercado, R. G., Arellano-Gil, M., García-González, A. (2019). Biotechnological potential for the valorization of waste generated from pig farms and wheat cultivation. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, vol. 7, núm. 21, pp. 1-21, 2019. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2019.21.70799>
- Amalfitano, C., Del Vacchio, L., Somma, S., Cuciniello, A. y Caruso, G. 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. *Horticultural Science*. 44: 91-98. <https://doi.org/10.17221/172/2015-HORTSCI>
- Bautista, F., Aguilar, Y., Gijón-Yescas, N. (2022). Las granjas porcinas en zonas de karst: ¿Cómo pasamos de la contaminación a la sustentabilidad? *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25 (2022): #093. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4154>
- Bilal, H.M., Zulfiqar, R., Adnan, M., Umer, M.S., Islam, H., Zaheer, H., Abbas, W. M., Haider, F. y Ahmad, I. (2020). Impact of salinity on citrus production; A review. *International Journal of Applied Research*. 6: 173-176
- Cabanzo-Atilano, I., Rodríguez-Mendoza, M. N., García-Cué, J. L., Almaraz-Suárez, J. J., & Gutiérrez-Castorena, M. C. (2020). La biofertilización y nutrición en el desarrollo de plántulas de chile serrano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2121>
- Calero-Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., González-Pardo, H. Y., Yanes-Simón, L. A., Peña-Calzada, K., Olivera-Viciedo, D., & Meléndrez-Rodríguez, J. F. (2020). Respuesta agroproductiva de la habichuela a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 9(1), 112-124. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v9n1.82584>
- Cárdenas, M., Espinosa, S., Cárdenas, M. (2017). Determinación de parámetros del agua residual de una granja porcina en el municipio Torbes, Táchira. *Revista científica Unet. Ciencias exactas*. Vol. 29(2): 161-172
- Chinga, W., Torres-García, A., Chirinos, D. T., & Marmol, L. E. (2020). Efecto de un lixiviado de vermicompost sobre el crecimiento y producción del algodón. *Revista Científica Ecuatoriana*, 7(2), 32-40. <https://doi.org/10.36331/revista.v7i2.130>

- FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2020). Panorama Agroalimentario: Carne de Cerdo.
- Fonseca-Reis de Mello, B. F., Vieira-Trevisan, M., & Steiner, F. (2016). Quality of cucumber seedlings grown in different containers. *Revista de Agricultura Neotropical*, 3(1), 33-38. <https://doi.org/10.32404/rean.v3i1.820>
- Garzón-Zúñiga, M. A. y Buelna, G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 65-79.
- Hernández-Pinto, C., Garruña, R., Andueza-Noh, R., Hernández-Núñez, E., Zavala-León, M. J. y Pérez-Gutiérrez, A. (2020). Post-harvest storage of fruits: An alternative to improve physiological quality in habanero pepper seeds. *Revista Bio Ciencias* 7, e796
- Hernández-Pinto, C.D., Alvarado-López, C.J., Garruña, R., Andueza-Noh, R.H., Hernández-Núñez, E., Zamora-Bustillos, R., Ballina-Gómez, H.S., Ruiz-Sánchez, E., Samaniego-Gámez, B.Y., Samaniego-Gámez, S.U. (2022). Kinetics of Macro and Micronutrients during Germination of Habanero Pepper Seeds in Response to Imbibition. *Agronomy*. Vol. 12, 2117. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092117>
- Jankovska-Bortkevic, E., Gavelien, V., Šveikauskas, V., Mockeviciute, R., Jankauskien, J., Todorova, D., Sergiev, I. y Jurkoniene, S. (2020). Foliar Application of Polyamines Modulates Winter Oilseed Rape Responses to Increasing Cold. *Plants*. 9: 179. <https://doi.org/10.3390/plants9020179>
- Jia, W., Qin, W., Zhang, Q., Wang, X., Ma, Y. and Chen, Q. (2018). Evaluation of crop residues and manure production and their geographical distribution in China. *Journal of Cleaner Production*, 188: 954– 965
- Liriano-González, R., Terán-Reyes, M. A., Núñez-Sosa, D. B., Ibáñez-Madan, D., & Pérez-Ramos, J. (2017). El humus de lombriz en la producción de plántulas de *Lycopersicon esculentum* Mill en una comunidad del Estado Cojedes, Venezuela. *Revista Centro Agrícola*, 44(4), 23-29.
- Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Chan-Cupul, W., Luna-Esquivel, G., García-Paredes, J. D., & Mancilla-Villa, O. R. (2022). Producción de plántulas de chile habanero con fertilización orgánica y biológica. *Terra Latinoamericana*, 39, e988. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.988>
- Menezes, J.F.S., Da Silva, M. P., Caetano, J. O., Cantão, V. C. G., Benites, V. de M. (2017). Maize yield after long-term application of pig slurry. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol 21, núm 10. ISSN 1807-1929. Pp 686-690.
- Mergen Junior, C. A., Loss, A., Dos Santos Junior, E., Dupont Giumbelli, L., De Pinho, D., De Abreu, L., Rogério Lourenzini, C., Comín, J. J., Brunetto, G. (2019). Caracterización física de agregados de suelo sometido a 10 años de aplicación de efluentes porcinos. Artículo de investigación: ciencias del suelo. *Revista de Ciencias Agrícolas*. e-ISSN 2256-2273, vol 36, núm 1. Pp 79-92.
- NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. México.

- Norma Oficial Mexicana. NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México Norma Oficial Mexicana.
- Pérez-Gutiérrez, A., Dzul-Mukul, C. R., Borges-Gómez, L., Latournerie-Moreno, L., Ruiz-Sánchez, E y Ayora-Ricalde, G. (2015). potential use of pork farm effluents for *Capsicum chinense* production. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 38 (4) 383 -387,2015
- Polanco, A.G. and Beilin, K. (2019). Toxic bodies: water and women in Yucatan. Hispanic Issues On-Line, 24, pp. 168-193.
- Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J. L., Segura-Castruita, M. Á., Salas-Pérez, L., Ayala-Garay, A. V., Esparza-Rivera, J. R., & Troyo-Diéguez, E. (2014). Efecto del lixiviado de vermicomposta en la producción hidropónica de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 333-338
- Preciado-Rangel, P., Rueda-Puente, E.O., Valdez-Aguilar, L. A., Reyes-Pérez, J. J., Gallegos-Robles, M. Á. y Murillo-Amador, B. (2021). Conductividad eléctrica de la solución nutritiva y su efecto en compuestos bioactivos y rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*: 24: 52.
- Rodrigues de Souza, J. A., Astoni-Moreira, D., Lemes-Silva, E., Rodio, E., Veloso-Rezende, D. C., Silva-Pereira, E., Novaes-Thomazini, S. C., Donizete-Ferreira, N. (2023). Alteration of physical attributes and production in fertigated soil with swine effluent. *Revista de Gestão Social e Ambiental*. Miami. v.17.n.2, pp.1-15. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n2-002>
- Shinde, C.T. y Marathe, P.S. (2021). Farming Without Soil in Today's Era. *Iconic Research and Engineering Journals*. 4: 24-27.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Anuario estadístico de la producción agrícola.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola.
- Torres-García, A., Héctor-Ardisana, E. F., Fosado-Téllez, O., Cué-García, J. L., Mero-Muñoz, J. A., León-Aguilar, R., & Peñarrieta-Bravo, S. (2019). Respuesta del pimiento (*Capsicum annuum* L.) ante aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviados de vermicompost. *Bioagro*, 31(3), 213-220.
- Valdez-Vázquez, M., Bobadilla-Vidrio, Y. G., García-Reyes, R. B., Martínez-Rodríguez. C. M., Alvarez-Valencia, L. H. (2022). Influencia de la separación de agua residual porcina en fracciones sólida y líquida, en la producción de metano con Iodo anaerobio granular y disperso. *Biotecnia*, vol. 24, núm. 1, pp. 107-115, 2022. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1537>
- Wei, J., Wei, Q., Qiang, Z., Xuan, W., Yan, M. and Qing, C. (2018). Evaluation of crop residues and manure production and their geographical distribution in China. *Journal of Cleaner Production*, 188, pp. 954-965. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.300>