



Short Note [Nota corta]

EFFECTO DEL ABONADO CON BIOSÓLIDO EN EL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO E INCIDENCIA DE PLAGAS EN CULTIVO DE CHILE X'CATIK (*Capsicum annuum* L.) †

[EFFECT OF FERTILIZING WITH BIOSOLID ON THE PHYSIOLOGICAL BEHAVIOR AND INCIDENCE OF PESTS IN CROPS OF CHILE X'CATIK (*Capsicum annuum* L.)]

Fátima del R. Yam-Herrera¹, Esaú Ruiz-Sánchez^{1*}, Sergio López-Vázquez¹, Juan Díaz-Mayo¹, J. Ismael Tucuch-Haas², Luis Latournerie-Moreno¹, and Angel M. Herrera-Gorocica¹

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n. C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Email: esau.ruizi@tconkal.edu.mx

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Mocochoá. km 25 antigua carretera Mérida-Motul. CP. 97454. Mocochoá, Yucatán, México.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The use of biosolids in agriculture allows to supply essential nutrients for the plant development. **Objective.** To evaluate the effect of supplying swine biosolids on the physio-agronomic characteristics and incidence of pests in X'catik pepper. **Methodology.** The experiment was carried out under greenhouse conditions and set in a randomized block experimental design with four replicates. Three different levels of biosolids were evaluated (500, 750 and 1000 g plant⁻¹) and the control (no supply of biosolid). **Results.** Plants treated with 750 g de biosólido had the highest net carbon assimilation rate (A_N) and the lowest intracellular carbon (Ci), likewise, there was a trend of higher values for the yield components in this treatment. The population density of *B. tabaci* and the damage by *Polyphagotarsonemus latus* was similar among treatments. **Implications.** The use of swine biosolid in agriculture represent a feasible alternative to enhance the plant physiological condition and potentially the yield in horticultural crops. **Conclusion.** The supply of 750 g plant⁻¹ of swine biosolid improved the physiological parameters in the X'catik pepper plants, had no effect on pest damage, but showed a strong tendency to increase yield. **Keywords:** Organic fertilizer; *Bemisia tabaci*; *Polyphagotarsonemus latus*; Chili production.

RESUMEN

Antecedentes. El aprovechamiento agrícola de los biosólidos permite suministrar a las plantas nutrientes para su desarrollo. **Objetivo.** Evaluar el efecto del abonado con diferentes niveles de biosólido porcino en el comportamiento fisiológico e incidencia de plagas en chile X'catik. **Metodología.** El experimento se realizó en invernadero, a través de un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron tres diferentes niveles de biosólido (500, 750 y 1000 g planta⁻¹) y el control (sin biosólido). Para la fertilización del cultivo se usó la fórmula 180-120-100. **Resultados.** Las plantas tratadas con 750 g de biosólido tuvieron mayor tasa de asimilación neta de carbono (A_N) y menor nivel de carbono intracelular (Ci), así también se observó tendencia hacia el incremento en las variables de rendimiento. La densidad poblacional de *Bemisia tabaci*, así como el daño por *Polyphagotarsonemus latus* fue similar entre los tratamientos. **Implicación.** El uso de biosólido porcino en la agricultura representa una opción viable para mejorar las condiciones fisiológicas y potencialmente incrementar rendimiento en hortalizas. **Conclusión.** La aplicación de 750 g planta⁻¹ de biosólido porcino mejoró los parámetros fisiológicos en las plantas de chile X'catik, no tuvo efecto en el daño por plagas, pero mostró una fuerte tendencia al incremento del rendimiento. **Palabras clave:** Abono orgánico; *Bemisia tabaco*; *Polyphagotarsonemus latus*; Producción de chile.

† Submitted January 22, 2023 – Accepted September 14, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4749>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Esaú Ruiz Sánchez: <http://orcid.org/0000-0003-0245-3305>

INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes químicos a gran escala ha contribuido a la pérdida de la calidad del suelo, eutrofización, contaminación de agua subterránea y en general un efecto ambiental negativo (Pahalvi *et al.*, 2021). El uso de biosólidos constituye una estrategia importante de aprovechamiento de subproductos de explotaciones ganaderas, que podría ser fuente de nutrientes a las plantas donde se usen esquemas de fertilización incompletos (Poornima *et al.*, 2022) y de protección adicional contra insectos plaga (Alyokhin *et al.*, 2014). Los biosólidos pecuarios contienen un valor nutrimental que potencialmente pueden mejorar la fertilidad del suelo y la producción de los cultivos (Chow y Pan, 2020). Dependiendo de su origen, los biosólidos son ricos en materia orgánica y en muchos casos de nutrientes esenciales, como de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Pan *et al.*, 2021). Lo anterior permite que estos productos sean una fuente alternativa de nutrientes para lograr disminución del uso de fertilizantes comerciales, tomando relevancia en muchas regiones agrícolas actualmente (Singh y Agrawal, 2008; Brito y de la Vega, 2015).

En estudios previos sobre el uso de biosólidos como fertilizantes en cultivos hortícolas, se han obtenido resultados prometedores. Por ejemplo, Singh y Agrawal (2008) demostraron que el aporte de diferentes concentraciones de biosólido de origen porcino contribuye al incremento en rendimiento de varios cultivos (tomate, cebada, maíz, algodón). Además, Utria-Borges *et al.* (2008) señalan que la adición de biosólido de origen bovino a plántulas de tomate (*S. lycopersicum*) produce incremento significativo de las variables relacionadas con crecimiento y producción, como altura de la planta, diámetro de fruto, número de flores, número de frutos. Por su parte, Brito y de la Vega (2015) reportan que al aplicar los biosólidos de diversos orígenes pecuarios en plantas de *S. lycopersicum* se genera aumento en el diámetro de tallo, altura de la planta, número de flores, número de racimos y número de frutos; lo que provoca que el rendimiento de frutos también aumente. No obstante, Ruíz *et al.* (2021) no obtuvieron efectos significativos en el rendimiento del cultivo de *S. lycopersicum* usando biosólido de caballos y carneros. Por esta razón, se requiere de evaluaciones específicas tomando en consideración el tipo de biosólido, el cultivo en cuestión y las condiciones de suelo y ambientales.

Aunque no existen reportes de los efectos de los biosólidos porcinos sobre las poblaciones de plagas, varios estudios reportan que abonar las plantas con estiércol puede limitar el crecimiento de las poblaciones de plagas, al disminuir la disponibilidad de algunos nutrientes esenciales para los fitófagos, elevar el contenido de algunos elementos en el tejido

vegetal que pudieran ser tóxicos, y/o elevar la producción de metabolitos secundarios defensivos que limitan la actividad de fitófagos (Rowen *et al.*, 2019). Por ejemplo, varios trabajos demuestran que el estiércol ovino disminuye las poblaciones de insectos plagas en varios cultivos, como coles (Eigenbrode y Pimentel, 1988), maíz (Alle y Davis, 1996; Morales *et al.*, 2001) y papas (Alyokhin *et al.*, 2005); el estiércol de aves de corral también disminuye las poblaciones de insectos plaga en cultivos de brócoli (Banfield-Zanin *et al.*, 2012), col (Stafford *et al.*, 2012), arroz (Kajimura *et al.*, 1995) y papa (Boiteau *et al.*, 2008).

El cultivo de chile en México tiene una gran importancia cultural, gastronómica y económica (López-Castilla *et al.*, 2019). Existe una enorme diversidad de tipos de chile (*Capsicum annuum* L.) que se valoran de manera regional en zonas específicas en México (Jaiswal *et al.*, 2021). En la península de Yucatán, *C. annuum* se considera una de las hortalizas de mayor importancia económica (López-Castilla *et al.*, 2019). Uno de los tipos de chile regional, es el conocido como chile X'catik, el cual es moderadamente picante, lo que le confiere un sabor agradable, características que le confiere gran aceptación y demanda en el mercado, además también tienen el potencial para ser materia prima en la elaboración de productos industriales (Peñuela *et al.*, 2021). Este tipo de chile es cultivado en campo y en pequeñas superficies en invernaderos de mediana tecnología, donde la nutrición mineral generalmente deficiente debido al desconocimiento de los pequeños productores de los esquemas de nutrición por etapas y también al alto valor económico de los fertilizantes en el mercado (Gou *et al.*, 2020), la formula nutrimental más empleada es de 180, 120 y 100 kg ha⁻¹ (Gamboa-Angulo *et al.*, 2020). El cultivo de chile X'catik también presenta otras limitantes, como son la presencia de plagas del follaje que pueden afectar la producción de frutos. En ese sentido, la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn.) es una de las principales plagas hortícolas en invernadero y campo (Pantoja *et al.*, 2018). Los daños directos causados por su alimentación incluyen el cierre de estomas, la formación de manchas cloróticas en las hojas (Horowitz *et al.*, 2020). Así mismo, el daño más importante lo causa de manera indirecta, con la transmisión de begomovirus (Misal & Patil, 2022). Por su parte, también el ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) es una plaga fundamental en el cultivo. Se presenta en altas densidades alimentándose de las partes en crecimiento de la planta, brotes, yemas terminales y botones florales. Los daños incluyen rizado en las nervaduras de las hojas apicales, deformación de hojas desarrolladas provocando deformaciones, enanismo y una coloración verde intensa de la planta, aborto de flores (Duarte *et al.*, 2021).

A la fecha no existe evidencia del uso de biosólido porcino en el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.), a pesar del potencial que pueden tener estos materiales como fuente de abono. Por los registros previos, podría especularse que el empleo de biosólidos en el cultivo de chile X'catick pudiera presentar influencia en los parámetros fisiológicos y la productividad de las plantas, así como también alterar la incidencia o severidad de las plagas y en consecuencia los daños producidos por éstas. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del abonado con diferentes niveles de biosólido porcino en el comportamiento fito-agronómico e incidencia de plagas en chile X'catick (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y preparación del Área Experimental

El experimento se realizó en un invernadero rústico (temperatura 25-37°C, humedad relativa 70-90 % y fotoperiodo 14 h luz:10 h oscuridad), en el área de investigación hortícola del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, ubicado a 15 km al noreste de Mérida a 21° 4' N y 89° 31' O a una altitud de 10 m. Plantas de *Capsicum annuum* (chile X'catick criollo) de 30 días de edad se establecieron a una distancia de 0.3 m en líneas de 1.5 m de separación, que contenían camas de 50 cm de ancho, las cuales fueron abonadas 15 días antes del trasplante, con biosólido porcino proporcionado por la empresa Operadora GPM S.A. de C.V y obtenido de los lodos recuperados del tratamiento de aguas residuales con biodigestores. Se aplicaron tres niveles diferentes de biosólido por planta y se adicionó un testigo sin adición de biosólido (0 g, 500 g, 750 g, y 1000 g). Además, se proporcionó fertilización con N:P:K en proporción 180:120:100 (kg/ha⁻¹) para el ciclo de 180 días de chile X'catick después del trasplante para todos los tratamientos. La fertilización se hizo por medio del riego, utilizando un sistema de fertirriego por goteo (cintilla) de 5/4 calibre 6000 con un gasto de 1.5 litros por hora (LPH) y con separación de 0.3 m. Las características del suelo antes de la aplicación de los fertilizantes fueron las siguientes: pH de 7.61 y 17.76% de materia orgánica; su contenido de N:P:K, fue de 68.4, 228 y 810 ppm; Na, Ca y Mg 1560, 6000 y 900 ppm. La caracterización físico-química del biosólido se realizó en el Laboratorio Fertilab (Celaya, Guanajuato, México), la cual se describe en la tabla 1.

Evaluación de las variables fisiológicas

La evaluación de la tasa de asimilación neta ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y el carbono intercelular ($\mu\text{mol m}^{-1}$) se realizó a los 60 días después del trasplante, entre las 8:00 h a las 10:00 h. Se eligieron tres plantas por parcela, a las cuales se les hicieron cinco mediciones en hojas

nuevas completamente extendidas (Garruña-Hernández *et al.*, 2014). Las mediciones se realizaron con un medidor de gases en infrarrojo (LI6400 xt, LI-COR, Ne, E.U).

Tabla 1. Análisis físico-químico del biosólido porcino.

	Determinación	Resultados	
Características físicas	pH	7.20	
	Cond. Eléctrica	4.70 dSm	
Macronutrientes	Materia orgánica	64.6 %	
	Nitrógeno (N)	3.05 %	
	Fósforo (P)	2.32 %	
	Potasio (K)	0.26 %	
	Calcio (Ca)	8.87 %	
Micronutrientes	Magnesio (Mg)	0.96 %	
	Sodio (Na)	0.27 %	
	Azufre (S)	1.21 %	
	Hierro (Fe)	6665 ppm	
	Cobre (Cu)	524 ppm	
	Manganeso (Mn)	511 ppm	
	Zinc (Zn)	3606 ppm	
	Boro (B)	26.4 ppm	
	Metales pesados	Níquel (Ni)	13.032 ppm
		Cobalto (Co)	NA
Arsénico (As)		NA	
Bario (Ba)		NA	
Cromo (Cr)		NA	
Cadmio (Cd)		NA	
Aluminio (Al)		NA	

NA: No analizado

Evaluación de densidad poblacional de *Bemisia tabaci*

Para la densidad poblacional de *Bemisia tabaci* se seleccionaron ocho plantas por parcela, y la toma de datos se realizó cada 15 días por tres meses, la primera evaluación se realizó a los 103 días después del trasplante, ya que las moscas no se presentaron en las primeras etapas de crecimiento de las plantas. A cada planta se le hizo el conteo de adultos en el lado abaxial de tres hojas del estrato medio y tres del estrato superior de las plantas, contando a simple vista el número de mosquitas adultas posadas en cada hoja. Al final del muestreo se calculó la media global de todas las evaluaciones de las mosquitas adultas (Herrera-Gorocica *et al.*, 2022)

Evaluación de incidencia y severidad de *Polyphagotarsonemus latus*

Para la evaluación de daños causados por *P. latus*, las mediciones se hicieron en el follaje, flores y frutos a intervalos de 15 días, haciendo un total de cinco muestreos durante el ciclo del cultivo. Para la

incidencia se contó el número total de plantas con síntomas de toda la parcela. El porcentaje de plantas con síntomas se obtuvo con la siguiente fórmula: $\text{Incidencia} = (\text{Número de plantas con síntomas}) \times 100 / \text{Total de plantas observadas}$. La severidad del daño se determinó en ocho plantas elegidas al azar en la parcela, mediante la utilización de una escala categórica de cuatro niveles, por Jiménez-Martínez *et al.*, (2013). Nivel 0, no hay síntomas; nivel 1, débil encrespado hacia arriba en la lámina foliar de hojas nuevas y brotes nuevos; nivel 2, ondulación en hojas nuevas y viejas; nivel 3, encrespado hacia arriba y deformación en la nervadura central en forma de Zigzag; nivel 4, hojas severamente dañadas, caída de las mismas y aborto de frutos, enanismo en las plantas. Al final del muestreo se calculó la media global de todas las evaluaciones.

Variabes Agronómicas

Se evaluó el rendimiento total (Kg/planta), el número de frutos por planta, el peso de un fruto (g) y el diámetro polar y ecuatorial de los frutos (cm). Para ello, se seleccionaron y etiquetaron tres plantas de cada parcela, de tal manera que se pudieran evaluar las mismas plantas durante los siete meses que duró el experimento. Para las variables relacionadas con el rendimiento de fruto, se realizaron cinco cortes de frutos en función de madurez comercial. En cada corte se contabilizó el número de frutos por planta y se obtuvo el peso total de frutos por planta (rendimiento total), además se tomaron muestras de 10 frutos para obtener el promedio del peso de un fruto, el diámetro polar y el diámetro ecuatorial.

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño experimental, bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Cada parcela contenía 14 plantas. Los datos de las variables fisiológicas (A_N y C_i), variables de densidad poblacional de *B. tabaci*, variables de incidencia y severidad y rendimiento de fruto fueron analizados por medio de ANOVA y Tukey ($p < 0.05$). La normalidad y homogeneidad de las varianzas se comprobó con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene respectivamente, antes del ANOVA. La variable de severidad final se analizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS

Variabes fisiológicas

Se encontró que la tasa de asimilación neta (A_N) fue estadísticamente mayor en las plantas tratadas con 750 g de biosólido ($23.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($gl=4$, $F=12.12$, $P=0.0001$) con respecto a las plantas del resto de los tratamientos y del control (Figura 1 A). Así mismo, el tratamiento de 750 g de incorporación de biosólido presentó estadísticamente menores niveles de carbono intercelular (C_i) ($gl=4$, $F=9.08$, $P=0.0001$) (Figura 1B).

Evaluación de densidad poblacional de *Bemisia tabaci* y daño por *Poliphagotarsonemus latus*.

Sobre la densidad poblacional de adultos de *B. tabaci* no se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($gl= 3,36$; $F=0.73$, $P=0.52$).

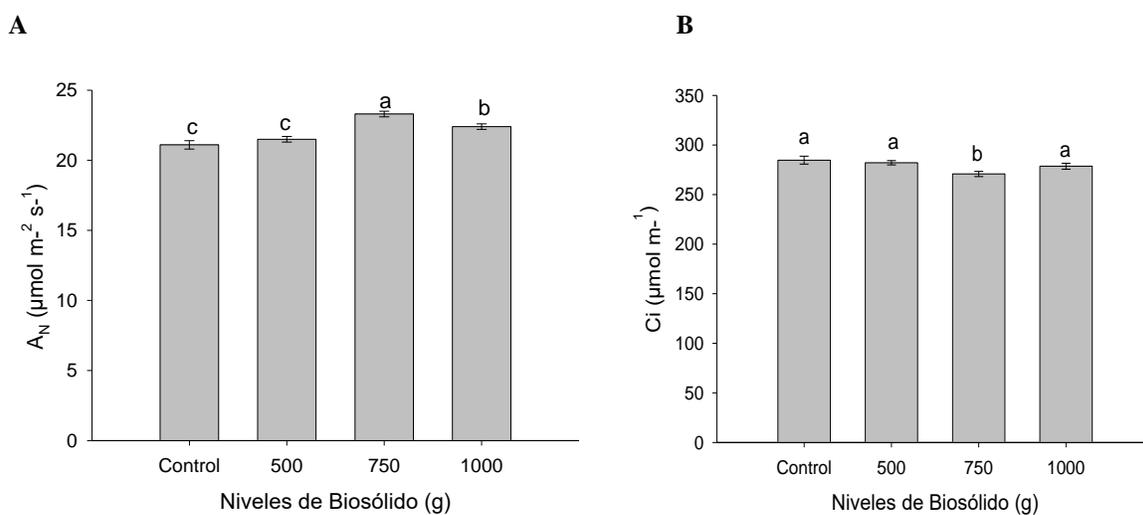


Figura 1. Tasa de asimilación neta (A) y carbono intercelular (B) en cultivo de Chile X'catik abonado con diferentes niveles de biosólido. Medias (\pm EE) con diferente letra son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$; Tukey).

Con respecto a la incidencia y severidad de *P. latus*, se observó alta incidencia, pero baja severidad. La incidencia final tuvo tendencia a ser menor en el tratamiento de 750 g de biosólido ($93.75 \pm 3.6\%$) comparado con el control y los otros tratamientos ($100 \pm 0\%$), aunque no se observó diferencia significativa ($gl= 3,12; F=3.00, P=0.07$). Sobre la severidad del daño, no se observó diferencia significativa ($gl= 3,12; F=1.04, P=0.41$), los grados de daño estuvieron entre 1.22 y 1.53, que se describe como débil encrespado hacia arriba en la lámina foliar de hojas nuevas y brotes nuevos.

Parámetros de rendimiento del chile X'catik

En el análisis de los parámetros del rendimiento se observó que no hubo diferencias significativas entre las plantas tratadas y las del control (Tabla 3). El rendimiento total fue similar en todos los tratamientos ($gl= 3,8; F=3.08; P=0.5$), con valores de 1.09 ± 0.1 a 1.43 ± 0.1 kg. El número de frutos por planta (40.3 ± 3.3 a 48.7 ± 2.6 frutos) fue similar en todos los tratamientos ($gl= 3,8; F=1.21; P=0.32$). El peso de un fruto ($gl= 3,46; F=0.31; P=0.82$) y diámetro polar del fruto ($gl= 3,46; F=0.76; P=0.53$) también fue similar entre los tratamientos, con valores de 27 ± 3.2 a 31.1 ± 3.1 g fruto⁻¹ y 14.8 ± 0.2 a 15.2 ± 0.2 cm, respectivamente. Para el diámetro ecuatorial del fruto, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($gl= 3,46; F=3.37; P=0.02$), los frutos de las plantas tratadas con 750 g de biosólido (3.9 ± 0.5 cm) tuvieron mayor diámetro que aquellos de las plantas tratadas con 500 g de biosólido planta⁻¹. Se observó en general una tendencia que el tratamiento 750 g de biosólido tuvo las plantas con mayor peso de fruto, número de frutos, así como diámetro polar y ecuatorial de los frutos (Cuadro 2).

DISCUSIÓN

En este estudio se evaluó el efecto de la adición de tres niveles de biosólido porcino en las variables fisiológicas y en el daño por plagas en chile X'catik. Se encontró que la adición de 750 g planta⁻¹, incrementó la tasa de asimilación neta (A_N) y disminuyó los valores de carbono intercelular (C_i). Estos efectos pueden deberse a que la aplicación de los biosólidos, hasta cierto nivel, provocan aumento en la fertilidad del suelo, y en consecuencia el incremento de la absorción de nutrientes por la planta y mejora de los parámetros de intercambio de gases (Potisek-Talavera *et al.*, 2010). El nivel más alto de biosólido evaluado en este estudio (1000 g planta⁻¹) no produjo efecto en los parámetros fisiológicos, lo cual probablemente se debió a un incremento excesivo de elementos minerales y sales en el suelo, lo que pudo derivar en la disminución de la absorción de nutrientes del suelo, que ya no permitió el aumento en A_N ni la disminución en C_i . El efecto positivo de la adición de biosólido en varios cultivos se ha documentado con anterioridad. Por ejemplo, Mohamed *et al.* (2018) aplicaron biosólidos (aguas residuales) en plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.), donde observaron aumento en la A_N . Pero también se ha reportado que aplicar abono orgánico de origen porcino en exceso, puede afectar negativamente la fisiología y crecimiento de las plantas (Chang *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2017). Adicionar en exceso (1 kg planta⁻¹ o más) de biosólido de origen porcino como abono vegetal puede causar efectos físico-químicos negativos al suelo, como aireación reducida, aumento en las concentraciones de sal y metales pesados (Atiyeh *et al.*, 2000). Por ejemplo, se ha documentado que los biosólidos contienen elementos que en exceso son de alto riesgo para los cultivos, como son el Na, Fe, Cu,

Tabla 2. Densidad poblacional de adultos de *B. tabaci* por hoja e incidencia y severidad final de los síntomas asociados a la presencia de *P. latus* en plantas de chile X'catik abonadas con diferentes niveles de biosólido.

Niveles de Biosólido	Densidad de <i>B. tabaci</i> por hoja	Incidencia final de <i>P. latus</i>	Severidad final de <i>P. latus</i>
Control	2.44 ± 0.25 a	100 ± 0.0 a	1.44 ± 0.16 a
500 g	2.8 ± 0.19 a	100 ± 0.0 a	1.5 ± 0.15 a
750 g	2.82 ± 0.21 a	93.8 ± 3.6 a	1.22 ± 0.16 a
1000 g	2.72 ± 0.14 a	100 ± 0.0 a	1.53 ± 0.03 a

Las medias (\pm EE) no fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$; Tukey).

Tabla 3. Efecto del Biosólido en el rendimiento total, número de frutos por planta, peso de un fruto y longitud y diámetro en plantas de Chile X'catik.

Niveles de Biosólido (g)	Rendimiento total (kg/planta)	Frutos por planta	Peso de un fruto (g)	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
Control	1.21 ± 0.10 a	45 ± 3.9 a	28.6 ± 3.1 a	14.8 ± 0.2 a	3 ± 0.3 ab
500	1.09 ± 0.10 a	40.3 ± 3.3 a	27 ± 3.2 a	14.9 ± 0.2 a	2.7 ± 0 a
750	1.43 ± 0.01 a	46.3 ± 3.4 a	31.1 ± 3.1 a	15.2 ± 0.2 a	3.9 ± 0.5 b
1000	1.42 ± 0.09 a	48.7 ± 2.6 a	29.4 ± 2.9 a	14.9 ± 0.3 a	2.9 ± 0 ab

Medias (\pm EE) con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$; Tukey).

Zn, Mn y Al, lo cual puede inducir alteración en el funcionamiento de algunas enzimas relacionadas con los procesos fisiológicos (Martínez-Martínez *et al.*, 2018; Rusli *et al.*, 2022). Así mismo, se ha visto que la aplicación de biosólido puede afectar negativamente la densidad aparente y la estabilidad de los agregados de suelo, lo que conduce a una alteración en la absorción de los elementos minerales por las raíces de las plantas cultivadas (Jin *et al.*, 2015).

En este estudio no se registró efecto significativo de la adición de biosólido en la densidad poblacional de *B. tabaci* y daño por *P. latus*. Existen diversos estudios con resultados contrastantes en este sentido. Por ejemplo, hay estudios que documentan el aumento en la susceptibilidad a las plagas cuando se aplican abonos orgánicos, esto debido al aumento de algunos elementos disponibles en el suelo, como nitrógeno total, que permite a las plantas mayor absorción y posterior acumulación en las hojas, mismas que se vuelven más atractivas para las plagas, al aumentar los niveles de aminoácidos libres (Balakrishnan *et al.*, 2007; Saranraj y Stella 2012; Isman *et al.*, 2017). Se ha documentado que *B. tabaci* prefiere alimentarse de las plantas de mejor calidad, es decir, con mayor contenido de nitrógeno y aminoácidos (Jiao *et al.*, 2018). Sin embargo, existen una serie de datos que indican lo contrario, donde los abonos orgánicos reducen los daños por plagas, debido a que estos abonos favorecen la inducción de resistencia a través de mecanismos bioquímicos y morfológicos de las plantas (Chatterjee *et al.*, 2013) o hace que las plantas sean menos atractivas para las plagas (Brown, 2010; Andrade *et al.*, 2017). Por ejemplo, al aplicar el estiércol en plantas de calabaza aumenta el ácido fenólico en las hojas, lo que hace que se reduzca la incidencia de las plagas (Boeckler *et al.*, 2011; Krishnaveni *et al.*, 2019). Un trabajo similar en plantas de girasol, menciona que al aplicar estiércol se reduce la incidencia de plagas chupadoras por el aumento en el nivel de metabolitos secundarios (Ravi *et al.* 2006)

El efecto del biosólido sobre el rendimiento de fruto no fue significativo. Aunque los diferentes niveles de biosólido no mostraron efecto contundente, se vio una fuerte tendencia en el aumento del rendimiento total, peso y diámetro polar del fruto, en las plantas del tratamiento 750 g planta⁻¹. La adición de abonos orgánicos mejora el aporte de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo) a las plantas, lo que se puede traducir en el incremento del rendimiento, como se ha documentado en el cultivo de tomate (Stavridou *et al.*, 2021; Tzortzakis *et al.*, 2020; Hasnain *et al.*, 2020). Sin embargo, cantidades altas de abonos orgánicos o biosólidos pueden tener efectos negativos en la producción de frutos (Ali *et al.*, 2021), debido al exceso de algunos elementos que pueden llegar a niveles tóxicos para las plantas o que evitan la

absorción de elementos esenciales (Ramírez-Builes, 2007; López *et al.*, 2008).

Por lo tanto, la aplicación de biosólido porcino en niveles de 750 g planta⁻¹ en Chile X'catik, pudo haber favorecido la absorción de nutrientes, lo que se tradujo en aumento de la tasa de asimilación neta y disminución del carbono intercelular. Así mismo, los niveles de biosólido porcino no mostraron efectos sobre las plagas estudiadas, pero sí una marcada tendencia al incremento en el rendimiento de fruto.

CONCLUSIÓN

La aplicación de 750 g de biosólido porcino en el cultivo de Chile X'catik incrementó significativamente los valores en la tasa de asimilación neta (A_N) y la disminución de los valores del carbono intercelular (C_i). La aplicación de diferentes niveles de biosólido porcino no tuvo efectos en la población de adultos de *B. tabaci*, ni en el daño por *P. latus*. Sin embargo, hubo una tendencia de incremento en la producción del cultivo, con cual se evidencia el efecto benéfico que genera el uso del biosólido en la agricultura.

Se sugiere realizar estudios sobre la evaluación de biosólido porcino en combinación o en aplicación alternada con algún abono orgánico o inoculante microbiano promotor de crecimiento vegetal para que la comunidad microbiana pueda aprovechar las bondades del biosólido. También es importante estudiar la concentración de elementos minerales y posibles metales pesados en el perfil de suelo durante la aplicación de biosólido a mediano y largo plazo en la producción de hortalizas.

Funding. This research was funded by Tecnológico Nacional de México, research project 14615.22-P.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. The data is available upon request, with the corresponding author esau.ruiz@itconkal.edu.mx

Author contribution statement (CRediT). **F. del R. Yam-Herrera**- Methodology, Visualization and Writing original draft., **E. Ruiz-Sánchez** – Conceptualization, Visualization and writing original draft., **S. López-Vázquez**- Methodology, and visualization., **J. Díaz-Mayo** – Methodology and Validation, **J. I. Tucuch-Haas** – Formal analysis and Writing –review and editing., **L. Latournerie-Moreno** - Validation, Writing –review and editing., **A. M. Herrera-Gorocica** - Methodology, Formal Analysis and Writing original draft.

REFERENCIAS

- Ali, M., Ahmed, T., Abu-Dieyeh, M. and Al-Ghouti, M.A., 2021. Investigating the quality and efficiency of biosolid produced in qatar as a fertilizer in tomato production. *Agronomy*, 11 (12), pp.25-52. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122552>
- Allee, L.L. and Davis, P.M., 1996. Effect of manure on maize tolerance to western corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*). *Journal of economic entomology*, 89 (6), pp. 1608-1620. <https://doi.org/10.1093/jee/89.6.1608>
- Alyokhin, A., Mota-Sanchez, D., Baker, M., Snyder, W.E., Menasha, S., Whalon, M. and Moarsi W.F., 2014. The Red Queen in a potato field: integrated pest management versus chemical dependency in Colorado potato beetle control. *Pest Management Science*, 71 (3), pp. 343-356. <https://doi.org/10.1002/ps.3826>
- Alyokhin, A., Porter, G., Groden, E. and Drummond, F., 2005. Colorado potato beetle response to soil amendments: a case in support of the mineral balance hypothesis? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109 (3-4), pp. 234-244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.03.005>
- Andrade, M.C., Da, Silva, A.A., Neiva, I.P., Oliveira, I.R.C., De Castro, E.M., Francis, D.M. and Maluf, W.R., 2017. Inheritance of type IV glandular trichome density and its association with whitefly resistance from *Solanum galapagense* accession LA1401. *Euphytica*, 213 (2), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1792-1>
- Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A. and Metzger, J.D., 2000. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology*, 75 (3), pp. 175-180. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00064-X)
- Balakrishnan, N., Baskaran, R.K., and Mahadevan, N.R. 2007. Impact of manures and fertilizers on sucking pests of cotton. *Annals of Plant Protection Sciences*, 15 (1), pp. 235-236.
- Banfield-Zanin, J.A., Rossiter, J.T., Wright, D.J., Leather, S.R. and Staley, J.T., 2012. Predator mortality depends on whether its prey feeds on organic or conventionally fertilised plants. *Biological control*, 63 (1), pp. 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.05.008>
- Boeckler, G.A., Gershenzon, J., and Unsicker, S.B., 2011. Phenolic glycosides of the Salicaceae and their role as anti-herbivore defenses. *Phytochemistry*, 72 (13), pp. 1497-1509. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.038>
- Boiteau, G., Lynch, D.H. and Martin, R.C., 2008. Influence of fertilization on the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, in organic potato production. *Environmental Entomology*, 37 (2), pp. 575-585. <https://doi.org/10.1093/ee/37.2.575>
- Brito, A.N., Peña, Y.J. and de la Vega Báez, D., 2015. Efecto agronómico sobre el tomate del biosólido resultante de una planta de tratamiento anaeróbico de residuales pecuario. *Centro Agrícola*, 42 (4), pp. 53-60.
- Brown, J.K., 2010. Phylogenetic biology of the *Bemisia tabaci* sibling species group. *Bemisia: bionomics and management of a global pest*, Springer, Dordrecht, pp. 31-67. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2460-2_2.
- Chang, R., Guo, Q., Pandey, P., Li, Y., Chen, Q. and Sun, Y., 2021. Pretreatment by composting increased the utilization proportion of pig manure biogas digestate and improved the seedling substrate quality. *Waste Management*, 129, pp. 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.010>
- Chang, R.X., Michel Jr, F.C., Gan, J.J., Wang, Q., Wang, Z.Z. and Li, Y.M., 2017. Effect of single and combined herbicides in compost on growth of sensitive crops: green bean, cucumber, and tomato. *Compost Science & Utilization*, 25 (sup1), pp. S23-S30. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1385430>
- Chatterjee, R., Choudhuri, P., Laskar, N. and Pundibari, C.B., 2013. Influence of nutrient management practices for minimizing whitefly (*Bemisia tabaci* Genn.) population in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Int J Sci Environ Technol*, 2 (5), pp. 956-962.
- Chow, H.Y. and Pan, M., 2020. Fertilization value of biosolids on nutrient accumulation and environmental risks to agricultural plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231 (12), pp. 1-

13. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04946-8>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. and Robledo, C.W., 2020. InfoStat, version 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Duarte, A.D.F., Andrezza, F., Nava, D.E. and Da Cunha, U.S., 2021. *Polyphagotarsonemus latus* (Trombidiformes: Tarsonemidae) on *Laurus nobilis* (Polycarpicae: Lauraceae): Report of infestation and damage. *Systematic and Applied Acarology*, 26 (8), pp. 1614-1618. <https://doi.org/10.11158/saa.26.8.14>
- Eigenbrode, S.D. and Pimentel, D., 1988. Effects of manure and chemical fertilizers on insect pest populations on collards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 20 (2), pp. 109-125. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90151-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90151-X)
- Gamboa-Angulo, J., Ruiz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V.M., Medina-Dzul, Kati., 2020. Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38 (4), pp. 817-826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- Garruña-Hernandez, R., Orellana, R., Larque-Saavedra, A. and Canto, A., 2014. Understanding the physiological responses of a tropical crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at high temperature. *PLoS one*, 9 (11), pp. e111402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111402>
- Gou, J.Y., Suo, S.Z., Shao, K.Z., Zhao, Q., Yao, D., Li, H.P. and Rensing, C., 2020. Biofertilizers with beneficial rhizobacteria improved plant growth and yield in chili *Capsicum annum* L. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36 (6), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02863-w>
- Hasnain, M., Chen, J., Ahmed, N., Memon, S., Wang, L., Wang, Y. and Wang, P., 2020. The effects of fertilizer type and application time on soil properties, plant traits, yield and quality of tomato. *Sustainability*, 12 (21), pp. 90-65. <https://doi.org/10.3390/su12219065>
- Herrera-Gorocica, A.M., Ruiz-Sánchez, E., Ballina-Gómez, H.S., Reyes-Solís, G. and Sánchez-Lázaro, A., 2022. Response of *Bemisia tabaci* Genn to the association tomato– aromatic plant. *Agrociencia*. 56 (4), pp. 830-853. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i4.2809>
- Horowitz, A.R., Ghanim, M., Roditakis, E., Nauen, R. and Ishaaya, I., 2020. Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species. *Journal of Pest Science*, 93, pp. 893-910. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01210-0>
- Islam, M.N., Hasanuzzaman, A.T.M., Zhang, Z.F., Zhang, Y. and Liu, T.X., 2017. High level of nitrogen makes tomato plants releasing less volatiles and attracting more *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Frontiers in plant science*, 8, pp. 466. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00466>
- Jaiswal, V., Gahlaut, V., Kumar, N. and Ramchiary, N., 2021. Genetics, genomics and breeding of chili pepper *Capsicum frutescens* L. and other *Capsicum* species. *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. Springer, Cham, 9: Fruits and Young Shoot, pp. 59-86. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66961-4_2
- Jiao, X., Xie, W., Zeng, Y., Wang, C., Liu, B., Wang, S. and Zhang, Y., 2018. Lack of correlation between host choice and feeding efficiency for the B and Q putative species of *Bemisia tabaci* on four pepper genotypes. *Journal of pest science*, 91 (1), pp. 133-143. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0906-4>
- Jiménez-Martínez, E., Izaguirre, R.M. and Mario, M.C., 2013. Plaguicidas botánicos y químicos para el control del ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus* Bank) (ACARINA: TARSONEMIDAE) en chiltoma (*Capsicum annum* L.), Tisma, Masaya. *La Calera*, 13 (20), pp. 9-15. <https://doi.org/10.5377/calera.v13i20.1619>
- Jin, V.L., Potter, K.N., Johnson, M.V.V., Harmel, D. and Arnold, J.G., 2015. Surface-applied biosolids enhance soil organic carbon and nitrogen stocks but have contrasting effects on soil physical quality. *Applied and Environmental Soil Science*, 2015, pp. 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/715916>
- Kajimura, T., Widiarta, I.N., Nagai, K., Fujisaki, K. and Nakasuji, F., 1995. Effect of organic rice

- farming on planthoppers 4. Reproduction of the white backed planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae). *Population Ecology*, 37, pp. 219-224. <https://doi.org/10.1007/BF02515823>
- Krishnaveni, M., Ravi, M., Allwin, L. and Sabarinathan, K.G. 2019. Effect of organic amendments on the incidence of major pests of ash gourd, *Benincasa hispida* Thunb. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8 (6), pp. 538-542.
- López-Castilla, L., Garruña-Hernández, R., Castillo-Aguilar, C., Martínez-Hernández, A., Ortiz-García, M. and Andueza-Noh, R.H., 2019. Structure and genetic diversity of nine important landraces of *Capsicum* species cultivated in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Agronomy*, 9 (7), pp. 376. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070376>
- López, M.D., Jordán, M.J. and Pascual-Villalobos, M.J. 2008. Toxic compounds in essential oils of coriander, caraway and basil active against stored rice pests. *Journal of Stored Products Research*, 44 (3), pp. 273-278. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2008.02.005>
- Martínez-Martínez, V., Gomez-Gil, J., Machado, M.L. and Pinto, F.A., 2018. Leaf and canopy reflectance spectrometry applied to the estimation of angular leaf spot disease severity of common bean crops. *PLoS One*, 13 (4), pp. 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196072>
- Misal, S., Warghane, A. and Patil, G., 2022. Chilli leaf curl disease: an Indian scenario. *Indian Phytopathology*, 7 (5), pp. 627-637. <https://doi.org/10.1007/s42360-022-00531-7>
- Mohamed, B., Mounia, K., Aziz, A., Ahmed, H., Rachid, B. and Lotfi, A., 2018. Sewage sludge used as organic manure in Moroccan sunflower culture: Effects on certain soil properties, growth and yield components. *Science of the Total Environment*, 627, pp. 681-688. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.258>
- Morales, H., Perfecto, I. and Ferguson, B., 2001. Traditional fertilization and its effect on corn insect populations in the Guatemalan highlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84 (2), pp. 145-155. [https://doi.org/10.1016/S0167-6369\(00\)00200-0](https://doi.org/10.1016/S0167-6369(00)00200-0)
- Pahalvi, H.N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., and Kamili, A.N., 2021. Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In: Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood, M.A., Hakeem, K.R. (eds) *Microbiota and Biofertilizers*, *Springer, Cham*, 2, pp. 1-20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
- Pan, M., Yau, P.C., Lee, K.C., Zhang, H., Lee, V., Lai, C.Y. and Fan, H.J., 2021. Nutrient Accumulation and Environmental Risks of Biosolids and Different Fertilizers on Horticultural Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232 (12), pp. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05424-5>
- Pantoja, K.F., Rocha, K.C., Melo, A.M., Marubayashi, J.M., Baldin, E.L., Bentivenha, J.P. and Krause-Sakate, R., 2018. Identification of *Capsicum* accessions tolerant to Tomato severe rugose virus and resistant to *Bemisia tabaci* Middle East-Asia Minor 1 (MEAM1). *Tropical Plant Pathology*, 43 (2), pp. 138-145. <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0212-6>
- Peñuela, M., Arias, L.L., Viáfara-Vega, R., Rivera Franco, N. and Cárdenas, H., 2021. Morphological and molecular description of three commercial *Capsicum* varieties: a look at the correlation of traits and genetic distancing. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68 (1), pp. 261-277. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00983-8>
- Poornima, R., Suganya, K. and Sebastian, S.P., 2022. Biosolids towards Back-To-Earth alternative concept (BEA) for environmental sustainability: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (3), pp. 3246-3287. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16639-8>
- Potisek-Talavera, M.D.C., Figueroa-Viramontes, U., González-Cervantes, G., Jasso-Ibarra, R. and Orona-Castillo, I., 2010. Soil applied biosolids and its effect on soil organic matter and nutrient content. *Terra Latinoamericana*, 28 (4), pp. 327-333.
- Ramírez-Builes, V.H., 2007. Los sistemas agroforestales en el trópico y la fertilidad del suelo. Artículo Publicado en la Revista: *Investigaciones de Unisarc*. 5 (2) pp. 11-21.

- Ravi, M., Dhandapani, N., Sathiah, N. and Murugan, M., 2006. Influence of organic manures and fertilizers on the incidence of sucking pests of sunflower, *Helianthus annuus* L. *Annals of Plant Protection Sciences*, 14 (1), pp. 41-44.
- Rowen, E., Tooker, J.F. and Blubaugh, C.K., 2019. Managing fertility with animal waste to promote arthropod pest suppression. *Biological Control*, 134, pp. 130-140. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.012>
- Ruíz, J.L.P., Peña, Y.J., Carrera, J.S. and Santana, I.A.R., 2021. Use of biosolid as a fertilizer in the tomato culture. *Universidad & Ciencia*, 10 (2), pp. 1-12.
- Rusli, L.S., Abdullah, R., Yaacob, J.S. and Osman, N., 2022. Organic amendments effects on nutrient uptake, secondary metabolites, and antioxidant properties of *Melastoma malabathricum* L. *Plants*, 11 (2) pp. 153. <https://doi.org/10.3390/plants11020153>
- Saranraj, P. and Stella, D., 2012. Vermicomposting and its importance in improvement of soil nutrients and agricultural crops. *Novus Natural Science Research*, 1 (1), pp. 14-23.
- Singh, R.P. and Agrawal, M., 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste management*, 28 (2), pp. 347-358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>
- Stafford, D.B., Tariq, M., Wright, D.J., Rossiter, J.T., Kazana, E., Leather, S.R. and Staley, J.T., 2012. Opposing effects of organic and conventional fertilizers on the performance of a generalist and a specialist aphid species. *Agricultural and Forest Entomology*, 14 (3), pp. 270-275. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00565.x>
- Stavridou, E., Giannakis, I., Karamichali, I., Kamou, N.N., Lagiotis, G., Madesis, P. and Lagopodi, A.L., 2021. Biosolid-Amended Soil Enhances Defense Responses in Tomato Based on Metagenomic Profile and Expression of Pathogenesis-Related Genes. *Plants*, 10 (12), pp. 2789. <https://doi.org/10.3390/plants10122789>
- Tzortzakis, N., Saridakis, C. and Chrysargyris, A., 2020. Treated wastewater and fertigation applied for greenhouse tomato cultivation grown in municipal solid waste compost and soil mixtures. *Sustainability*, 12 (10), pp. 4287. <https://doi.org/10.3390/su12104287>
- Utria-Borges, E., Cabrera-Rodríguez, J.A., Reynaldo-Escobar, I.M., Morales-Guevara, D., Fernández, A.M. and Toledo Toledo, E., 2008. Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 14 (1), pp. 33-39.