

## USO DE LA HARINA DEL PEZ DIABLO (*Pterygoplichthys* spp.) EN LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Use of devil fish (*Pterygoplichthys* spp.) flour in the organic fertilization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

María Yesenia RUIZ-AGUILAR<sup>1</sup>, Joaquín Adolfo MONTES-MOLINA<sup>1</sup>,  
José Humberto CASTAÑÓN-GONZÁLEZ<sup>1</sup>, Federico Antonio GUTIÉRREZ-MICELI<sup>1</sup>,  
Mario HERNÁNDEZ-GUZMÁN<sup>2</sup>, Henry LÓPEZ-LÓPEZ<sup>3</sup>,  
Víctor Manuel RUIZ-VALDIVIEZO<sup>1</sup> y Juan José VILLALOBOS-MALDONADO<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, km 1080 Carretera Panamericana, A.P. 599, 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, Colonia San Pedro Zacatenco, 07360 Ciudad de México, México.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor para correspondencia: juan.vm@tuxtla.tecnm.mx

(Recibido: junio de 2022; aceptado: junio de 2022)

Palabras clave: residuos de pescado, especie invasora, agricultura sostenible, biofertilizante, macronutrientes.

### RESUMEN

Se ha reportado al pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) como especie invasora en diversos ecosistemas del estado de Chiapas, México. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los tiempos de aplicación de la harina del pez diablo (HPD) como fuente de fertilización orgánica en el cultivo de *Solanum lycopersicum* L. var. Río Grande en condiciones de invernadero. En el experimento se utilizó suelo sin harina (SHPD), suelo y harina 15 días antes del trasplante (HPD15) y suelo con harina al momento del trasplante (HPD0). Se identificó que la HPD presentó un elevado contenido en proteínas, cenizas, fósforo y potasio (46.22, 31.13, 3.43 y 2.3 %, respectivamente). La altura de la planta mostró un aumento del 13 % a los 126 días después del trasplante con HPD15, así como un aumento del 52 % en el grosor del tallo en comparación con SHPD. El peso seco del follaje aumentó 5.8 veces en HPD0 y 1.8 veces para la longitud de la raíz en HPD15. Además, HPD15 pudo aumentar el contenido de clorofila en las hojas de tomate hasta en un 39.8 %. Los frutos de HPD15 fueron los únicos que lograron madurez fisiológica y comercial, cumpliendo con los criterios de consumo en el diámetro polar y ecuatorial, y contenido de licopeno (5.7 y 5.2 cm, y 0.017 mg/g de peso fresco de fruto, respectivamente). Los resultados obtenidos a partir de la harina de pez diablo, muestran que se puede utilizar como abono orgánico en la producción agrícola.

Key words: fish waste, invasive species, sustainable agriculture, biofertilizer, macronutrients.

## ABSTRACT

The devilfish (*Pterygoplichthys* spp.) has been reported as an invasive species in several ecosystems of the state of Chiapas, Mexico. The objective of this study was to evaluate the effect of the application times of devil fish flour (DFF) as a source of organic fertilization on *Solanum lycopersicum* L. var. Río Grande under greenhouse conditions. Soil without flour (SDFF), soil and flour 15 days before transplanting (DFF15), and ground with flour at the transplanting time (DFF0), respectively, constituted the experiment. It was identified that DFF had high protein, ash, phosphorus, and potassium contents (46.22, 31.13, 3.43, and 2.3 %, respectively). Plant height showed a 13 % increase at 126 days after transplanting with DFF15, and a 52 % increase in stem thickness compared to SDFF. Foliage dry weight increased 5.8-fold in DFF0 and 1.8-fold for root length in DFF15. Also, DFF15 increased the chlorophyll content in tomato leaves by up to 39.8 %. DFF15 fruits were the only ones that achieved physiological and commercial maturity, meeting consumption criteria for polar and equatorial diameter, and lycopene content (5.7 and 5.2 cm, and 0.017 mg/g fruit fresh weight, respectively). The results obtained from the devilfish meal show its suitability for use as an organic fertilizer in agricultural production.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura enfrenta el desafío de aumentar su producción para satisfacer las necesidades de una población en crecimiento, donde el empleo de fertilizantes químicos es la principal fuente común de nutrientes para las plantas (Abebe et al. 2022). Aunque se considera que los fertilizantes químicos son el contribuyente más importante a la productividad agrícola mundial en las últimas décadas, los efectos negativos en el suelo y el ambiente han limitado su uso en los sistemas de agricultura sostenible (Adekiya y Agbede 2017).

Los fertilizantes orgánicos pueden mejorar la producción de las plantas y aumentar su resistencia. Se obtienen normalmente de la descomposición de estiércol animal, desperdicios de alimentos y restos de cultivos agrícolas (Noh et al. 2015). Adekiya y Agbede (2017) observaron que, en suelos con sistemas agrícolas orgánicos fertilizados orgánica y químicamente, la materia orgánica y el nitrógeno del suelo se incrementan con el uso de la agricultura orgánica.

A partir del procesamiento de pescado se generan desechos. Estos residuos pueden utilizarse alternativamente en la elaboración de aceite de pescado, alimentación directa en acuicultura, colágeno, péptidos bioactivos, obtención de quitina, obtención de enzimas (proteasas y peptidasas) y en la agricultura, entre otros (Coppola et al. 2021).

Sudharmaidevi et al. (2017) mencionan que, si bien este tipo de residuos orgánicos no pueden utilizarse como combustibles por su alto contenido de humedad y bajo valor calórico, por el contenido nutricional que aportan a las plantas son ideales para su uso como fertilizantes en la producción agrícola.

La conversión de residuos sólidos en fertilizantes orgánicos es una opción deseable debido al aporte de macro y micronutrientes cuando se adicionan al suelo, así como al aumento de los rendimientos de materia fresca y seca en los cultivos agrícolas resultante del mayor contenido de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio y nitrógeno (Escalera-Gallardo et al. 2012, Radziemska et al. 2019).

México padece desde hace 30 años el problema de invasión biológica causada por el género *Pterygoplichthys*, comúnmente conocido como “pleco” o “pez diablo”, que habita en 11 estados de la república mexicana (Aguilera-Flores et al. 2021). *Pterygoplichthys* es endémico de América del Sur y forma parte de la familia Loricariidae, una de las más diversas con 716 especies descritas, algunas de las cuales se comercializan como peces de acuarios y controladores de algas (Lorenzo-Márquez et al. 2016).

La harina del pez diablo (HPD) es una excelente alternativa como fertilizante orgánico, debido a que tiene valores elevados de proteínas (47.9 %) y cenizas (34.7 %), lo cual aporta un 7.74 % de nitrógeno y 4.65 % de fósforo. Además, se ha reportado una reducción en la producción de gases de efecto invernadero en actividades agrícolas como el metano (59.33 %) o el dióxido de carbono (15.25 %), lo cual sugiere su uso potencial como suplemento en nutrición vegetal al reemplazar parcialmente fertilizantes nitrogenados inorgánicos que influyen considerable en la calidad de la fruta, especialmente en el contenido y el valor de las proteínas (Escalera-Gallardo et al. 2012, Aguilar-García et al. 2019).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) forma parte de la familia de las Solanáceas y es una de las hortalizas

más consumidas en el mundo por su aporte nutricional a la dieta humana (López-López et al. 2022). México es uno de los principales exportadores de tomate fresco, siendo el principal consumidor Estados Unidos, que aumentó sus importaciones en un 75 % en 2019, incrementando la demanda del cultivo (Li et al. 2022). Sin embargo, el uso prolongado de fertilizantes químicos ha generado inconvenientes como la reducción de la seguridad alimentaria debido a los costos de producción no lineales y la contaminación ambiental (gases de efecto invernadero, salinización del suelo y eutrofización del sistema acuático) (Ye et al. 2020).

En el presente estudio se evaluó el efecto de los tiempos de aplicación de la harina del pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) como fuente de fertilización orgánica en el cultivo de *Solanum lycopersicum* L. var. Río Grande tipo saladette en condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el invernadero y el laboratorio de biotecnología del Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México.

### Sustrato

Se utilizó el suelo de los campos experimentales del Tecnológico Nacional de México, del Campus del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; se recolectó según el muestreo cinco de oros, seleccionando cinco puntos al azar formados de 10 m<sup>2</sup> y 30 cm de profundidad (González-Baca et al. 2019). Posteriormente, se tamizaron 1000 g de muestra de suelo con un tamiz de 2 mm para remover piedras, terrones y desechos inorgánicos; con la finalidad de obtener un material homogéneo para un análisis físico y químico.

### Análisis físico y químico del suelo

El pH y la conductividad eléctrica del suelo se determinaron con un potenciómetro HI 9811-5N (Hanna Instruments, Italia). La capacidad de retención de agua (CRA) se estableció por medio de la técnica de filtración descrita por Gandullo (1985). El contenido de humedad se evaluó por el método gravimétrico descrito por Radulovich (2009). La textura se determinó de acuerdo con el método de Bouyoucos (Day 1965).

El nitrógeno total se obtuvo mediante la técnica Micro-Kjeldahl NOM-F-68-S-1980 (SEPAFIN 1980). Por otro lado, el fósforo se determinó con el

procedimiento de Olsen et al. (1954) y el carbono orgánico se determinó según la técnica de Walkley y Black (1934).

### Sitio de muestreo y producción de harina de residuos de *Pterygoplichthys* spp.

La recolección se llevó a cabo en la laguna de la localidad Paraíso, en el municipio Playas de Catájá, Chiapas, México (17° 79' 08" N y 92° 04' 19" O). Los peces se recolectaron de acuerdo con las características morfológicas descritas por Nico et al. (2012): superficie lateral del pez cubierta con una placa ósea cartilaginosa espinosa; aleta dorsal grande rayada, con manchas oscuras y espinas; patrón ventral con manchado vermiculado; aletas pectorales con espinas dentadas y gruesas, y boca ubicada en la parte inferior de la cabeza en posición ventral con los labios formando un disco succionador. Los especímenes fueron transportados en hielo al laboratorio de biotecnología del campus del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, para su posterior procesamiento.

Para el ensayo se utilizaron el esqueleto, la placa ósea cartilaginosa con espinas que cubre los laterales del pez, las aletas pectorales y la aleta dorsal. Dichos residuos se lavaron con agua destilada para remover todas las impurezas y se secaron a 65 °C hasta un 10 % de humedad según la norma NMX-Y-013-1998-SCFI (SECOFI 1998). Despues, se molieron y tamizaron a 25 µm para obtener una consistencia de harina y se almacenaron en refrigeración a 4 °C para su posterior análisis.

Los análisis físicos y químicos se realizaron sobre la HPD. La humedad se determinó según el método AOAC (2000). La ceniza se determinó por la técnica AOAC (2000). El contenido total de proteína se determinó de acuerdo con el método AOAC (2005). Los lípidos se determinaron mediante la técnica descrita en la NOM-F-089-S-1978 (SEPAFIN 1978). La fibra cruda se determinó usando la técnica descrita en la NOM-F-90-S-1978 (SEPAFIN 1979).

### Preparación del invernadero

Las dimensiones del invernadero fueron 4 m de largo y 3 m de ancho. Un mes antes de la instalación del experimento se limpió y fumigó con Cupravit (oxicloruro de cobre) y Arrivo 200 CE (cipermetrina). La humedad ambiental estuvo en el rango de 60-80 %, con temperatura de 28 a 35 °C e iluminación solar al 50 %. La aireación ambiental no fue controlada.

### Preparación de plántulas y trasplante

La semilla de tomate utilizada fue de la variedad Río Grande tipo saladette de la compañía de semillas

Eterno, germinadas en bandejas de tereftalato de polietileno con 200 cavidades y empleando únicamente turba. El semillero se mantuvo con riego cada dos días hasta los 30 días después de la emergencia. Las plántulas se trasplantaron cuatro semanas después de la emergencia, colocándose en bolsas de polietileno de  $25 \times 30$  cm que contenían dos kilogramos de suelo agrícola muestrado.

### Tratamientos

Los tratamientos consistieron en un control con suelo sin harina de pez diablo (SHPD), tratamiento de suelo con harina de pez diablo 15 días antes del trasplante (HPD15) y tratamiento de suelo y harina de pez diablo al momento del trasplante (HPD0).

La cantidad de HPD utilizada se determinó de acuerdo con la dosis recomendada por el INIFAP (2012): 233 N, 100 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 160 K<sub>2</sub>O, 5 Fe y 1.3 B kg/ha. Para el trasplante se agregaron 54 g de HPD mezclada con 2 kg de suelo (de acuerdo con los tratamientos). La planta recibió 5.2 g de nitrógeno total por kilogramo de suelo, integrados por 4.3 g equivalentes de nitrógeno por kilogramo en la harina más 0.9 g de nitrógeno presente en un kilogramo de suelo. Durante el desarrollo del cultivo se mantuvo una CRA de 40 a 60 %, lo cual se logró regando cada 48 h.

### Evaluación de variables morfométricas del cultivo de tomate

La biomasa aérea se consideró como parte de la planta que está por encima del sustrato, incluyendo tallos, hojas, flores y frutos. Se midieron las siguientes variables: longitud del follaje en centímetros (longitud desde la base del suelo hasta el ápice de la planta) y diámetro del tallo en milímetros medido con un Vernier a un centímetro del suelo (Pérez-Luna et al. 2012). Los parámetros se midieron cada siete días hasta finalizar el estudio a los 126 días después del trasplante (DDT).

El peso fresco y seco de la planta, incluyendo la raíz, se obtuvo con una balanza analítica de precisión marca Sartorius; el peso seco se determinó después del secado de una planta y raíz a 60 °C hasta peso constante (Ayala 2012). Inmediatamente después de concluir las mediciones morfométricas a los 126 DDT, se contaron y cosecharon los frutos de cada tratamiento.

### Medición del contenido de clorofila en plantas de tomate

El porcentaje de clorofila se determinó con un medidor de clorofila de la marca Konica Minolta, modelo SPAD-502. El contenido de clorofila de cada planta se midió por triplicado. La primera medición

se realizó en una de las hojas de la parte superior de la planta, la segunda en una de las secciones medias y finalmente en las hojas de la parte inferior; después, se promedió el contenido de clorofila (Sánchez-Roque et al. 2016). Este proceso se repitió cada siete días, hasta los 126 DDT.

### Concentración del contenido de carotenos, licopenos y clorofila en el fruto del tomate

La determinación del contenido de carotenos, licopenos y clorofila en los frutos de tomate se realizó de acuerdo con lo descrito por Wang et al. (2005). Los frutos se cortaron en seis piezas a lo largo del eje vertical. Tres se cortaron en trozos muy pequeños y se mezclaron bien. Se molieron dos gramos de fruta fresca en un mortero previamente enfriado con 5 mL de hexano y acetona (60:40) y una pequeña proporción de arena lavada con ácido. La capa orgánica superior se transfirió a un tubo previamente colocado sobre hielo. La capa acuosa se extrajo con 5 mL del disolvente inicial, hasta que se tornó incolora. Se tomó 1 mL del volumen total del extracto orgánico para determinar la absorbancia en un espectrofotómetro a 450 nm (carotenos), 502 nm (licopenos), y 645 y 663 nm (clorofila), mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila } (\mu\text{g/mL}) = (20.2 \times DO_{645}) + (8.2 \times DO_{663})$$

$$\text{Carotenoides } (\mu\text{g/mL}) = 4 \times DO_{450}$$

$$\text{Licopenos } (\mu\text{g/mL}) = 3.12 \times DO_{502}$$

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres tratamientos y 10 repeticiones (30 unidades experimentales en total). El análisis estadístico se efectuó con análisis de varianza unidireccional a un nivel de confianza del 95 %. La comparación de medias se realizó con la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los análisis estadísticos se procesaron con el paquete informático Statgraphics Centurión Versión 16 (SGP 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros físicos y químicos de la harina de pez diablo

La HPD mostró un alto contenido de proteínas, elevado contenido de cenizas y un pH ligeramente

alcalino (**Cuadro I**). Los valores de extracto etéreo (16.1 %), humedad (6.1 %) y presencia de macronutrientes (P y K), se muestran también en el **cuadro I**.

Se dispone de poca información acerca del pez diablo, pero en el orden de los Siluriformes se encontraron datos similares del pez *Pangasianodon hypophthalmus* en cuanto a contenido de grasa, mayor contenido de proteínas y cenizas (Begum et al. 2012). Oliveira et al. (2003) obtuvieron un contenido de extracto etéreo del 17.24 %, proteína del 14.27 % y cenizas del 1.11 % a partir de tejido muscular dorsal de *Hypophthalmus edentatus*. Nuestros resultados fueron muy similares en términos de extracto etéreo y más altos para proteínas y cenizas. De igual forma, Murillo-Pacheco et al. (2012) reportaron el contenido de proteínas, lípidos y cenizas para *Leiarius marmoratus*, los cuales fueron inferiores a nuestros resultados.

Respecto al género *Pterygoplichthys*, Guillén et al. (2015) hicieron una caracterización parcial de huevos de *P. disjunctivus* con contenidos de proteínas, lípidos y cenizas de 23.7, 8.05 y 1.9 %, respectivamente. Ariyathne et al. (2014) informaron que la carne de *P. multiradiatus* presentó un contenido de proteínas, lípidos y cenizas de 17.79, 0.58 y 1.2 %, respectivamente. En este estudio, encontramos casi tres veces más contenido de proteínas que en los mencionados anteriormente. Además, Mohanty et al. (2017) obtuvieron fósforo y potasio (222 y 178 mg/kg, respectivamente) de *P. disjunctivus*, mostrando concentraciones bajas en comparación con las reportadas en HPD (**Cuadro I**).

Zachry et al. (2015) estudiaron el uso del hidrolizado de pescado como única fuente de nitrógeno en el cultivo de calabaza y col, demostrando que tienen la posibilidad de ser empleados como suplemento

orgánico. Se puede inferir que la planta podría absorber la proteína de la HPD en forma de nitratos, después de la degradación a través de las bacterias nitrificantes en el suelo (Yavarian et al. 2021), ya que el suelo utilizado no fue esterilizado en este experimento, lo que indica la posible existencia de este tipo de bacterias.

Choi (2020) demostró que el fertilizante líquido de harina de residuos de pescado presenta un alto contenido de minerales debido al contenido de cenizas. Esto a su vez pudo influir positivamente en la planta de *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* y en la calidad del fruto, debido al contenido de micronutrientes como calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, zinc y boro.

#### Caracterización física y química del suelo

Las características físicas y químicas del suelo indicaron que la proporción del contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) no eran los óptimos (**Cuadro II**); sin embargo, con la incorporación de la harina se adicionaron 4.3 g de nitrógeno por kg de suelo, mejorando así las propiedades nutrimentales del suelo (que originalmente contenía 0.9 g de nitrógeno por kg de suelo) para el cultivo de tomate.

Una alternativa para abordar la necesidad de macronutrientes (N, P y K) para un cultivo vegetal es el uso de fuentes naturales como el hidrolizado de pez, debido a que el N y K son los nutrientes que se requieren en mayor medida para que la planta se desarrolle y produzca (Bangarwa et al. 2012).

Es fundamental que el uso de estas fuentes orgánicas se ajuste a la disponibilidad, el costo y aprobación del Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos (OMRI, por su sigla en inglés). Se ha demostrado que la harina de pescado (10 a 14 %) es una fuente

**CUADRO I. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA HARINA DE PEZ DIABLO.**

pH	Humedad (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Fósforo total (%)	Potasio total (%)	Proteína total (%)
7.26 ± 0.1	6.14 ± 0.72	31.13 ± 0.36	16.14 ± 0.14	0.37 ± 0.03	3.43 ± 0.30	2.3 ± 0.20	46.22 ± 0.49

Nota: el primer valor indica la media de tres muestras con tres réplicas (n = 9) y el segundo valor el error estándar.

**CUADRO II. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO.**

pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica (Ds/m)	Capacidad de retención de agua (g H <sub>2</sub> O/kg <sup>1</sup> )	Carbono (g/kg SS)	Fósforo (mg/kg)	Nitrógeno (g/kg)	Textura
8.4 ± 0.1	4.76 ± 0.3	0.6 ± 0.002	246.4	6.07 ± 0.4	11.49 ± 0.5	0.9 ± 0.2	Franco arenoso

Nota: el primer valor indica la media de tres muestras con tres réplicas (n = 9) y el segundo valor el error estándar.

de nitrógeno (ya que muestra mineralización aproximadamente dos semanas después de la aplicación) y también actúa como fuente alternativa de fósforo. El empleo de harina de hueso ha sido una de las primeras fuentes utilizadas en la agricultura, con un contenido de 7 a 12 % de fósforo (INTAGRI 2017).

Alameda y Villar (2009) determinaron que la compactación del suelo (generalmente arcilloso) puede mejorarse mediante la aplicación de fertilizantes orgánicos debido a la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo, lo cual beneficia de manera positiva a la biomasa total de la planta.

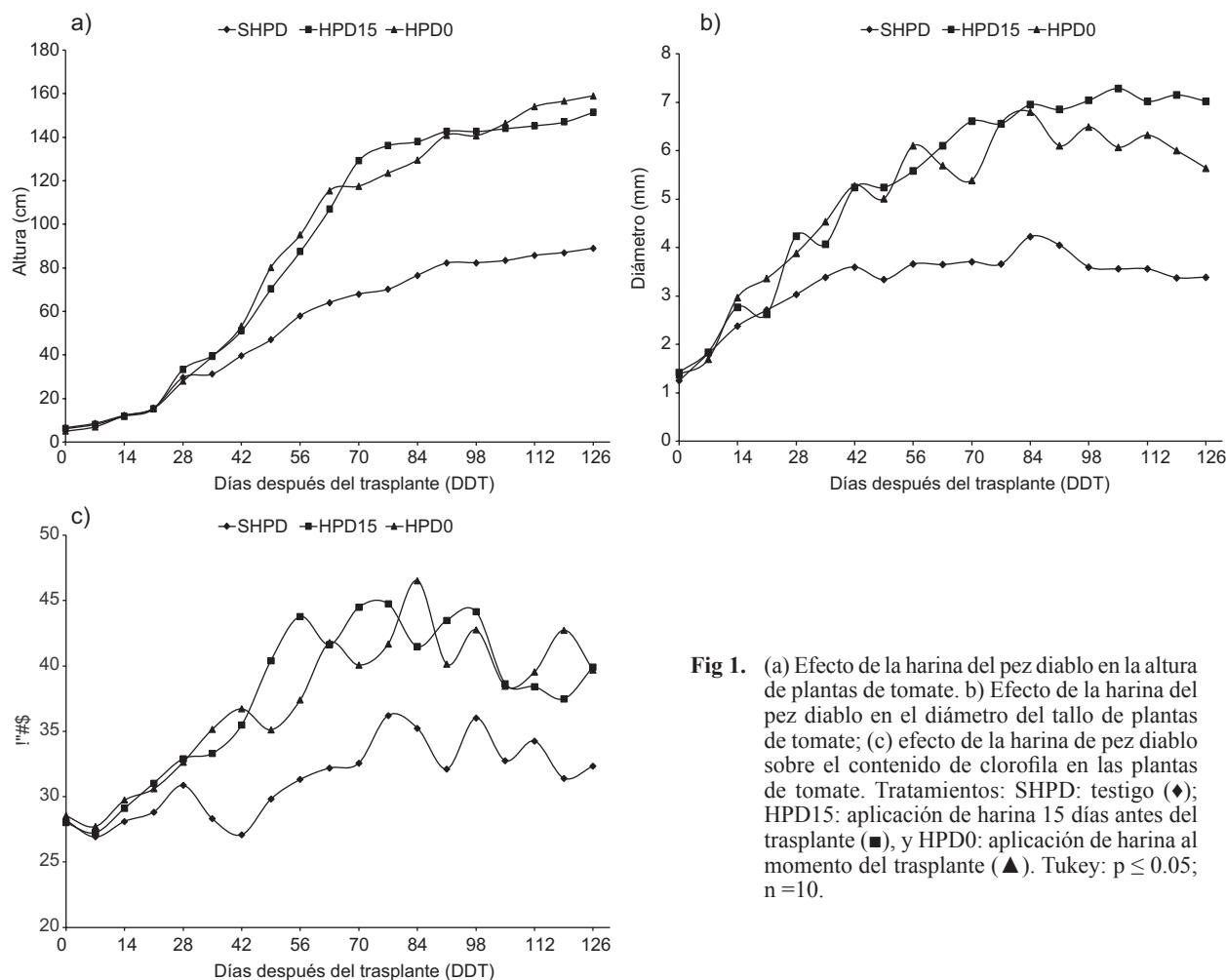
#### Evaluación de variables morfométricas del cultivo de tomate

Para la variable altura de la planta hubo diferencia estadísticamente significativa entre HPD15 y HPD0 en comparación con el testigo (SHPD). Sin embargo,

no se observaron diferencias entre ellos, destacándose únicamente que HPD15 aumentó en altura un 13 % al final del experimento (Fig. 1a). Debido a que el suelo utilizado tenía niveles bajos del N, P y K requeridos para el crecimiento de las plantas (Cuadro II), la adición de HPD en los diferentes tratamientos mostró un aumento de 78.6 % en la altura a lo largo del ciclo de cultivo.

Los nutrientes involucrados en la producción de reguladores del crecimiento vegetal son N, P y K, los cuales pudieron incrementarse con el uso de compostaje de desechos de pescado en el cultivo de lechuga, logrando un incremento de hasta el 4 % (López-Mosquera et al. 2011). Además, el N aumenta la mayor superficie de las células del parénquima en empalizada, lo que estimula el crecimiento de las plantas (Moriwaki et al. 2019).

Dichos nutrientes también estimulan la producción de hormonas vegetales que pueden actuar como



**Fig 1.** (a) Efecto de la harina del pez diablo en la altura de plantas de tomate. b) Efecto de la harina del pez diablo en el diámetro del tallo de plantas de tomate; (c) efecto de la harina de pez diablo sobre el contenido de clorofila en las plantas de tomate. Tratamientos: SHPD: testigo (♦); HPD15: aplicación de harina 15 días antes del trasplante (■), y HPD0: aplicación de harina al momento del trasplante (▲). Tukey:  $p \leq 0.05$ ;  $n = 10$ .

reguladores del crecimiento, como giberelinas y brasinoesteroides (BR), desarrollando la cantidad de biomasa vegetal aérea (de Freitas et al. 2017). En el caso de los BR, éstos estimulan la elongación y división celular, la inclinación de la lámina y cambios en el potencial de membrana con relación al crecimiento de la planta (Terry y Ruiz 2008).

En la variable diámetro del tallo (**Fig. 1b**), el análisis de varianza mostró una diferencia significativa en el tratamiento HPD15 a los 126 DDT, con un grosor del 29 % más que en plantas de HPD0 y 52 % más que en plantas de SHPD. En cuanto al aumento del diámetro del tallo, éste se debe a la inducción de fitohormonas, principalmente auxina, la cual está implicada en la formación de diversos tejidos y procesos morfogenéticos; es decir, se presenta con diferentes gradientes, polaridades y formas de síntesis (Garay-Arroyo et al. 2014).

Niemenen et al. (2015) mencionan que el engrosamiento del tallo se debe a la acumulación de tejidos secundarios de floema y xilema producidos por el cambium vascular, debido a que el cambium es el responsable del crecimiento lateral de las plantas junto con los meristemos, los cuales se dividen y la expansión celular es impulsada por la turgencia, ocasionando una diferenciación celular especializada. Esto produce tres órganos importantes: un xilema secundario prominente que consiste de vasos conductores de agua, fibras de xilema y células de parénquima.

Las células vasculares en el meristemo apical de la raíz generan xilema y floema primarios, que pueden aumentar la función de absorción de la raíz, generando tallos más vigorosos y el aumento de su diámetro. Este intercambio está regulado por fitohormonas que afectan directamente factores como el fotoperíodo,

la temperatura, y la disponibilidad de nutrientes y agua (Matsumoto-Kitano et al. 2008, Nieminen et al. 2015). De igual manera, las citoquininas y las giberelinas influyen en la absorción de agua, provocando un efecto sobre la elasticidad de la pared celular, lo que resulta en mayor masa fresca (Ortega et al. 2013).

En el **cuadro III** se observa que los tratamientos HPD0 y HPD15 no presentaron diferencia estadísticamente significativa entre ellos, pero sí con el testigo (SHPD) en cuanto a PF de raíz, PS de raíz, PF de follaje, número de flores y número de frutos (8.6, 9.6, 4.5, 21.7 y 10 veces más, respectivamente). Sin embargo, el tratamiento HPD0 mostró la mejor respuesta en PS de follaje aumentando 5.8 veces y HPD15 fue el mejor en la longitud de raíz con 1.8 veces.

La disponibilidad de macronutrientes como el N incrementa el rendimiento de peso seco de las plantas, debido a la baja inversión de recursos en la formación de nuevas células y la respiración oscura de las plantas (Moriwaki et al. 2019). Igualmente, contribuye a la producción de fitohormonas como la citoquinina y los BR, que promueven el crecimiento de hojas y órganos florales a través de la activación de las enzimas de los citocromos P450, KLUH/CYP78A5 y CP78A7 (Powell y Lenhard 2012).

### Contenido de clorofila en plantas de tomate

La **figura 1c** muestra que el tratamiento HPD15 tiene un contenido de clorofila mayor que el resto a los 49, 56, 70 y 91 DDT, logrando un incremento de hasta el 39.8 %; en cambio, HPD0 sólo mostró un incremento del 32.1 % a los 84 DDT. No obstante, se observó que SHPD tuvo un bajo contenido de clorofila durante todo el experimento. Kalaji et al. (2014) encontraron que, en plantas de tomate y maíz,

**CUADRO III.** EFECTO DE LA HARINA DE PEZ DIABLO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA CALIDAD DE LAS PLANTAS DE TOMATE VARIEDAD SALADETTE.

Tratamiento	PF raíz (g)	PS raíz (g)	PF follaje (g)	PS follaje (g)	Longitud raíz (cm)	Número de flores	Número de frutos
SHPD	1.5 ± 0.5 <sup>b</sup>	0.3 ± 0.3 <sup>b</sup>	18.0 ± 3.5 <sup>b</sup>	2.1 ± 0.3 <sup>c</sup>	11.7 ± 2.5 <sup>b</sup>	1.0 ± 1.73 <sup>b</sup>	0.3 ± 0.6 <sup>b</sup>
HPD15	13.0 ± 2.0 <sup>a</sup>	2.7 ± 0.2 <sup>a</sup>	78.3 ± 3.1 <sup>a</sup>	8.7 ± 0.5 <sup>b</sup>	21.3 ± 1.5 <sup>a</sup>	21.7 ± 3.2 <sup>a</sup>	3.0 ± 1.0 <sup>a</sup>
HPD0	11.7 ± 1.5 <sup>a</sup>	2.9 ± 2.9 <sup>a</sup>	81.0 ± 2.6 <sup>a</sup>	12.3 ± 1.3 <sup>a</sup>	15.0 ± 1.0 <sup>b</sup>	21.3 ± 1.5 <sup>a</sup>	2.7 ± 0.6 <sup>a</sup>
dms	3.7	0.3	7.7	2.0	4.5	5.7	1.9

Nota: el primer valor indica la media de los datos obtenidos en las repeticiones, el segundo valor indica el error estándar entre los valores de un mismo tratamiento (entre repeticiones) y el exponente (<sup>a</sup>) la diferencia significativa al comparar las medias entre los tratamientos. Tukey:  $p \leq 0.05$  (letras iguales en cada columna significan que no hay diferencia estadísticamente significativa). dms: diferencia mínima significativa (SGP 1999); SHPD: testigo (suelo sin harina); HPD15: aplicación de harina 15 días antes del trasplante; HPD0: aplicación de harina al momento del trasplante; PF: peso fresco; PS: peso seco.

**CUADRO IV. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL FRUTO Y CONCENTRACIONES DE CLOROFILA, CAROTENOIDES, LICOPENO Y GRADOS BRIX, DEL FRUTO DEL TOMATE (HPD15).**

Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Peso (g)	Dureza (kgf)	Clorofila (μg/g PF)	Carotenos (mg/g PF)	Licopeno (mg/g PF)	°Brix
5.7 ± 0.4	5.2 ± 1.2	56.4 ± 8.6	4.1 ± 0.3	6.0 ± 0.003	0.024 ± 0.002	0.017 ± 0.002	6.04 ± 0.6

Nota. El primer valor indica la media de tres muestras con tres réplicas ( $n = 9$ ) y el segundo valor el error estándar.

la ausencia o bajo contenido de nutrientes como Mg, Ca y S afecta la fotosíntesis al reducir la donación de electrones, resultando en bajas concentraciones de clorofila.

Başak (2020) detectó en plantas de tomate variedad Kahraman que la producción de clorofila también se debía a N y Mg, lo que aumentaba la clorofila total (5.82 mg/g de peso de hoja fresca) y estimulaba en las plantas tanto la capacidad de resistir el estrés hídrico como la absorción de nutrientes en el suelo.

A su vez, la disponibilidad de N en las plantas de tomate inducía la formación de pigmentos fotosintéticos debido a la presencia de una gran cantidad de gránulos en el cloroplasto y mayor apilamiento de tilacoides; esto se debe a que la clorofila en las hojas optimiza la absorción de luz verde (Moriwaki et al. 2019). En nuestro ensayo pudimos demostrar que el alto contenido de proteínas en la HPD puede hacer que el nitrógeno esté disponible para las plantas de tomate.

#### Concentración del contenido de carotenos, licopenos y clorofila en el fruto del tomate

Los frutos del tratamiento HPD15 (**cuadro IV**) fueron los únicos que llegaron a la madurez fisiológica y comercial al final del experimento (126 DDT).

El tamaño y diámetro del fruto se pueden atribuir al contenido de K que garantiza el desarrollo de éste. Cuando se encuentra en proporciones adecuadas, se obtendrá un producto de mayor diámetro (Luna et al. 2015). Fernández-Salvador y Strik (2015) utilizaron un fertilizante líquido obtenido a partir de la digestión de los desechos de pescado (con pequeñas cantidades de macro y micronutrientes) para producir mora, el cual proporcionó suficientes nutrientes para lograr un mayor rendimiento sobre el peso del fruto.

Además, Salas-Pérez et al. (2016) demostraron que el uso de compost y arena (25:75) en tomates produce rendimientos de 82 g y 4.8 y 6.2 cm en términos de peso y diámetros ecuatorial y polar del fruto, respectivamente, en comparación con el control (solución nutritiva Steiner). Estos resultados son muy similares a los obtenidos en esta investigación. Se ha

determinado que el contenido de licopeno en tomates varía de 0.03 a 0.12 mg/g de peso fresco. El licopeno puede ser una característica química intrínseca del fruto debido a su composición de carotenoides (Martínez-Valverde et al. 2002).

#### CONCLUSIONES

Añadir HPD en suelos pobres en nutrientes promueve el crecimiento del cultivo de tomate por su alto contenido proteico, generando un efecto positivo en variables agronómicas como altura, grosor del tallo, peso seco del follaje y longitud de la raíz, así como mayor presencia de clorofila en las hojas. El tratamiento HPD15 fue el único que logró fructificación fisiológica y comercial, obteniendo variables de calidad acordes con los criterios de consumo (grados Brix, contenido de licopeno, carotenoides, y diámetro polar y ecuatorial del fruto). Por lo tanto, el uso de HPD podría ser una alternativa de la que se obtiene doble beneficio: primero, la reducción del uso de fertilizantes comerciales que causan efectos negativos a largo plazo y, segundo, el aprovechamiento de especies invasoras que se consideran un signo de contaminación en comparación con otras especies comestibles, algunas de las cuales se encuentran en peligro de extinción debido a la presencia del pez diablo en diversos ecosistemas.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a María Yesenia Ruiz Aguilar para la realización del posgrado (número de beca 594696).

#### REFERENCIAS

Abebe T.G., Tamtam M.R., Abebe A.A., Abtemariam K.A., Shigut T.G., Dejen Y.A. y Haile E.G. (2022). Growing

use and impacts of chemical fertilizers and assessing alternative organic fertilizer sources in Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science* 2022, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2022/4738416>

Adekiya A.O. y Agbede T.M. (2017). Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16 (4), 383-388. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.006>

Aguilar-García E.D., Khusro A., Figueroa-Pacheco E.B., Adegbeye M.J., Barbabosa-Pliego A., Cruz-Lagunas B., Castro-Salas J.M., González-Mateos R., Aarti C. y Elghandour M.M.M.Y. (2019). Influence of dietary supplementation of ensiled devil fish and *Staphylococcus saprophyticus* on equine fecal greenhouse gases production. *Journal of Equine Veterinary Science* 79, 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.05.023>

Aguilera-Flores M.M., Ávila-Vázquez V., Medellín-Castillo N.A., Carranza-Álvarez C., Cardona-Benavides A., Ocampo-Pérez R., Labrada-Delgado G.J. y Durón-Torres S. M. (2021). Ibuprofen degradation and energy generation in a microbial fuel cell using a bioanode fabricated from devil fish bone char. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 56 (8), 874-885. <https://doi.org/10.1080/10934529.2021.1934357>

Alameda D. y Villar R. (2009). Moderate soil compaction: implications on growth and architecture in seedlings of 17 woody plant species. *Soil and Tillage Research* 103 (2), 325-331. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.029>

AOAC (2000). Official methods of analysis of AOAC International. Analytical method validation. Association of Official Analytical Chemists. Ediciones Mundial, Madrid, España, 570 pp.

AOAC (2005). Official methods of analysis. Determination of moisture, ash, protein and fat. 18a ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, EUA, 700 pp.

Ariyarathne D., Jinadasa B., Ahmad S., Jayawardena J. y Wickramasinghe I. (2014). Evaluation of importance of Orinoco sailfin catfish (*Pterygoplichthys multiradiatus*) as a food source. International Institute of Fisheries Economics and Trade, Brisbane, Australia [en línea]. [https://ir.library.oregonstate.edu/concern/conference\\_proceedings\\_or\\_journals/9s161720x01/07/2018](https://ir.library.oregonstate.edu/concern/conference_proceedings_or_journals/9s161720x01/07/2018)

Ayala V.M.J. (2012). Análisis del crecimiento y calidad de semilla de tres tipos de chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, 78 pp.

Bangarwa S.K., Norsworth J.K. y Gbur E.E. (2012). Comparison of the herbicidal activity of phenyl isothiocyanate with methyl bromide in polyethylene-mulched tomato. *Weed Technology* 26 (4), 666-672. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00040.1>

Başak H. (2020). The effects of super absorbent polymer application on the physiological and biochemical properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants grown by soilless agriculture technique. *Applied Ecology and Environmental Research* 18 (4), 5907-5921. [https://doi.org/10.15666/aeer/1804\\_59075921](https://doi.org/10.15666/aeer/1804_59075921)

Begum M., Akter T. y Minar M. (2012). Analysis of the proximate composition of domesticated stock of pangas (*Pangasianodon hypophthalmus*) in laboratory condition. *Environmental Sciences and Natural Resources* 5 (1), 69-74. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v5i1.11555>

Choi H.S. (2020). Effects of organic liquid fertilizers on biological activities and fruit productivity in open-field cherry tomato. *Bragantia* 79 (3), 447-457. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200053>

Coppola D., Lauritano C., Palma-Esposito F., Riccio G., Rizzo C. y de Pascale D. (2021). Fish waste: from problem to valuable resource. *Marine Drugs* 19 (2), 1-39. <https://doi.org/10.3390/MD19020116>

Day P.R. (1965). Particle fractionation and particle-size analysis. En: *Methods of soil analysis: Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling* (Black C.A., Ed.). Soil Science Society of America Journal, 545-567. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c43>

De Freitas M.L., Eloy N.B., de Siqueira J.A.B., Inzé D., Hemerly A.S. y Gomes F.P.C. (2017). Molecular mechanisms of biomass increase in plants. *Biotechnology Research and Innovation* 1 (1), 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.08.001>

Escalera-Gallardo C., Arroyo-Damián M., Moncayo-Estrada R. y Zarazúa J.A. (2012). Pesquería sustentable y desarrollo local. Uso y aprovechamiento potencial del pez diablo. En: *Desarrollo local y empresa* (Cárcamo S.M. de L., Martín C.M. de la L. y Ortega H.A., Eds.). Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México, 39-58.

Fernández-Salvador J. y Strik C.B. (2015). Liquid corn and fish fertilizers are good options for fertigation in blackberry cultivars grown in an organic production system. *HortScience* 50 (2), 225-233. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.2.225>

Gandullo J.M. (1985). Ecología vegetal. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 208 pp.

Garay-Arroyo A., de la Paz M., García-Ponce B., Álvarez-Buylla E.R. y Gutiérrez C. (2014). La homeostasis de las auxinas y su importancia en el desarrollo de *Arabidopsis thaliana*. *Revista de Educación Bioquímica* 33 (1), 13-22.

González-Baca G., Venegas-Barrera C.S., González-Gaona O.J., Vargas-Madriz H., Jiménez-Gómez M.A., Pérez-Arriaga E. y Azuara-Domínguez A. (2019). Abundancia y distribución de hongos entomopatógenos en diferentes localidades y ambientes del sur de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10 (3), 669-681. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1550>

Guillén S., Pacheco A., Lugo S., Scheuren A., Calvallo R., Navarro G. y Ramírez S. (2015). Partial characterization of loricariid catfish (*Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber, 1991) ROE. *Biotecnia* 17 (3), 15-21.

INIFAP (2012). Muestreo de suelos y preparación de muestras. Código INIFAP MX-00310391-52-03-13-12-23 [en línea]. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/935.pdf> 06/03/2020

INTAGRI (2017). Fuentes orgánicas de N-P-K para la nutrición de los cultivos. Serie agricultura orgánica número 10. Artículos técnicos. INTAGRI, México, 5 pp [en línea]. <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/fuentes-organicas-de-n-p-k-para-la-nutricion-de-cultivos> 20/07/2019

Kalaji H., Oukarroum A., Alexandrov V., Kouzmanova M., Brestic M., Zivcak M., Samborska I., Cetner M., Allakhverdiev S. y Goltsev V. (2014). Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. *Plant Physiology and Biochemistry* 81, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.029>

Li S., Wu F., Guan Z. y Luo T. (2022). How trade affects the US produce industry the case of fresh tomatoes. *International Food and Agribusiness Management Review* 25 (1), 121-133. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2021.0005>

López-López H., Beltrán-Beache M., Ochoa-Fuentes Y.M., Castro-del Ángel E., Cerna-Chávez E. y Delgado O.J.C. (2022). Extracto metanólico de *Crotalaria longirostrata*: identificación de metabolitos secundarios y su efecto insecticida. *Scientia Agropecuaria* 13 (1), 71-78. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.007>

López-Mosquera M.E., Fernández-Lema E., Villares R., Coral R., Alonso B. y Blanco C. (2011). Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture. *Procedia Environmental Sciences* 9, 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.11.018>

Lorenzo-Márquez H., Torres-Dosal A., Barba-Macías E., Ilizaliturri-Hernández C.A., Martínez-Salinas R.I., Morales-López J.J. y Sánchez-Moreno I. (2016). Estimación de riesgo de exposición a metales pesados por consumo de plecos (*Pterygoplichthys* spp.) en infantes de comunidades ribereñas de los ríos Grjala y Usumacinta, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32 (2), 153-164. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.02>

Luna M.R.A., Reyes P., López B., Reyes B., Murillo C., Samaniego A., Espinoza C., Ulloa M. y Travez T. (2015). Abonos orgánicos su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Centro Agrícola* 42 (4), 67-74.

Martínez-Valverde I., Periago M., Provan G. y Chesson A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82 (3), 323-330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>

Matsumoto-Kitano M., Kusomoto T., Tarkowski P., Kinoshita K., Václavíkova K., Miawaki K. y Kakimoto T. (2008). Cytokinins are central regulators of cambial activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (50), 20027-20031. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805619105>

Mohanty B.P., Ganguly S., Mahanty A., Mitra T., Mahaev L., Bhowmick S., Paul S.K. y Das B.K. (2017). Nutritional composition of the invasive *Pterygoplichthys disjunctivus* from east Kolkata Wetland, India. *Journal of Inland Fisheries Society of India* 49 (2), 48-54.

Moriwaki T., Falcioni R., Tanaka F.A.O., Cardoso K.A.K., Souza L.A., Benedito E., Nanni M.R., Bonato C.M. y Antunes W.C. (2019). Nitrogen-improved photosynthesis quantum yield is driven by increased thylakoid density, enhancing green light absorption. *Plant Science* 278, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.10.012>

Murillo-Pacheco R., Cruz-Casallas N.E., Ramírez-Merlano J.A., Marciales-Caro L.J., Medina-Robles V.M. y Cruz-Casallas P.E. (2012). Efecto del nivel de proteína sobre el crecimiento del yaque *Leiarius marmoratus* (Gill, 1870) bajo condiciones de cultivo. *Orinoquía* 16 (2), 52-61.

Nico L.G., Butt P.L., Johnston G.R., Jelks H.L., Kail M. y Walsh S.J. (2012). Discovery of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Santa Fe River drainage, Suwannee River basin, USA. *BioInvasions Reccords* 1 (3), 179-200. <https://doi.org/10.3391/bir.2012.1.3.04>

Niemenen K., Blomster T., Helariutta Y. y Mähönen, A.P. (2015). Vascular cambium development. *The Arabidopsis Book* 2015 (13), e0177. <https://doi.org/10.1199/tab.0177>

Noh M.N., Azhari N.A. y Mohamad S.N.M. (2015). Rosa Bitamina (organic fertilizer) effects in enhancing *Rosa centifolia* resistancy and flowering process. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 195, 1715-1718. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.282>

Oliveira E.R.N., Agostinho A.A. y Matsushita M. (2003). Effect of biological variables and capture period on the proximate composition and fatty acid composition of the dorsal muscle tissue of *Hypophthalmus edentatus* (Spix, 1829). Brazilian Archives of Biology and Technology 46 (1), 105-114. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132003000100015>

Olsen S.R., Watanabe F.S., Cosper H.R., Larson W.E y Nelson L.B. (1954). Residual phosphorus availability in long-time rotations on calcareous soils. Soil Science 78 (2), 141-152. <https://doi.org/10.1097/00010694-195408000-00008>

Ortega-Martínez L.D., Ocampo M.J., Martínez V.C., Pérez S.A. y Sánchez O.J. (2013). Efecto de la giberelina sobre el crecimiento y la calidad de plántulas de tomate. Biotecnia 15 (3), 56-60.

Pérez-Luna Y.C., Álvarez-Solís J.D., Pat-Fernández J.M., Gómez-Álvarez R. y Cuevas L. (2012). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. Gayana Botanica 69 (1), 46-56. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432012000100006>

Powell A. E. y Lenhard M. (2012). Control of organ size in plants. Current Biology 22 (9), 360-367. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.02.010>

Radulovich R. (2009). Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. Agronomía Costarricense 33 (1), 121-124.

Radziemska M., Vaverková M.D., Adamcová D., Brtnický M. y Mazur Z. (2019). Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use. Waste Biomass Valorization 10 (9), 2537-2545. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0288-8>

Salas-Pérez L., González J.A.F., García M.C., Sifuentes-Ibarra E., Parra-Terrazas S. y Preciado-Rangel P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de los frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. Nova Scientia 8 (17).

Sánchez-Roque Y., Pérez-Luna Y., Becerra-Lucio A., Álvarez-Gutiérrez P., Pérez-Luna E., González-Mendoza D., Canseco-Pérez M., Saldaña-Trinidad S. y Berrones-Hernández R. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi in the development of cultivars of chili. International Journal of Advance Agricultural Research 4 (2), 10-15.

SECOFI (1998). Norma Mexicana NMX-Y-013-1998-SCFI. Alimento para animales. Harinas de pescado, especificaciones. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 2 de abril.

SEPAFIN (1978). Norma Oficial Mexicana NOM-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación, 3 de noviembre.

SEPAFIN (1979). Norma Oficial Mexicana NOM-F-90-S-1978. Determinación de fibra cruda en alimentos. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación, 27 de marzo.

SEPAFIN (1980). Norma Oficial Mexicana NOM-F-68-S-1980. Determinación de proteínas en alimentos. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación, 4 de agosto.

SGP (1999). Design of experiments analysis software. Statgraphics Plus for Windows. Manugistics, Rockville, Maryland 20852, EUA.

Sudharmaidevi C.R., Thampatti K.C.M. y Saifudeen N. (2017). Rapid production of organic fertilizer from degradable waste by thermochemical processing. International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture 6 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0147-1>

Terry y Ruiz J. (2008). Evaluación de bioproductos para la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*, Mill) bajo sistema de cultivo protegido. Cultivos Tropicales 29 (3), 11-15.

Walkley A.J. y Black I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Science 37 (1), 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Wang Z., Ying T., Bao B. y Huang X. (2005). Characteristics of fruit ripening in tomato mutant epi. Journal of Zhejiang University Science B 6 (6), 502-507. <https://doi.org/10.1631/jzus.2005.B0502>

Yavarian S., Jafari P., Akbari N. y Feizabadi M.M. (2021). Selective screening and characterization of plant growth promoting bacteria for growth enhancement of tomato, *Lycopersicon esculentum*. Iranian Journal of Microbiology 13 (1), 121-129. <https://doi.org/10.18502/ijm.v13i1.5502>

Ye L., Zhao X., Bao E., Li J., Zou Z. y Cao K. (2020). Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. Scientific Reports 10, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56954-2>

Zachry C.O., Kemble J.M., Wright A.N. y Guertal E.A. (2015). Evaluation of an organic nitrogen source in a yellow squash-collard rotation. HortScience 50 (1), 51-58. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.1.51>