

MICROPLÁSTICOS Y NANOPLÁSTICOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE SU IMPACTO EN EL CRECIMIENTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

MICROPLASTICS AND NANOPLASTICS: A SYSTEMATIC REVIEW OF THEIR IMPACT ON TOMATO GROWTH (*Solanum lycopersicum*)

Hernández-Sánchez, L.*; Cruz-López, V.; Román-Doval, R.; Cruz-Martínez, H.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etla. Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca 68230, México.

* E-mail: laura.hernandez@itvalletla.edu.mx

Fecha de envío: 19, mayo, 2025

Fecha de publicación: 20, septiembre, 2025

Resumen:

Los microplásticos (MP) y los nanoplásticos (NP) contaminan los ecosistemas terrestres. En el caso del suelo, su presencia altera las propiedades físicas y químicas, impactando consecuentemente en el crecimiento de los cultivos. Esta revisión de literatura analiza los impactos de diferentes MPs y NPs sintéticos en el crecimiento del tomate (*Solanum lycopersicum*). Los datos recopilados indican que la exposición a estos contaminantes afecta negativamente a varios parámetros del crecimiento y desarrollo del tomate, incluyendo la acumulación de biomasa, la altura de la planta, la producción de flores y frutos, y la longitud de raíces, brotes y hojas. La magnitud de este impacto varía en función del tipo de polímero, el tamaño de sus partículas, su concentración y el medio de cultivo empleado. Por ejemplo, las concentraciones crecientes de microplásticos se correlacionaron con variables como el crecimiento y el desarrollo del tomate. En cuanto a los tipos de polímeros, el ácido poliláctico (PLA) provoca la muerte de las plántulas, mientras que el cloruro de polivinilo (PVC) y el tereftalato de polietileno (PET) afectan a variables de rendimiento como el peso del fruto y el número de flores y frutos. Por otra parte, las escasas investigaciones realizadas sobre los NPs sugieren que son más tóxicos que los MPs, sin embargo, es necesario realizar más estudios para tener un panorama más claro de su impacto. Además, llevar a cabo estudios a largo plazo que abarquen todo el ciclo de crecimiento del tomate y de evaluar los efectos de diversas mezclas de microplásticos y nanoplásticos en este cultivo, es esencial para adquirir un conocimiento más amplio de los riesgos potenciales que plantean estos contaminantes.

Palabras clave: Polímeros derivados del petróleo, bioplásticos, producción agrícola, calidad de suelos, toxicidad.

Abstract:

Microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) contaminate terrestrial ecosystems. In the case of soil, their presence alters the physical and chemical properties, consequently impacting the growth of crops. This literature review analyzes the impacts of different synthetic MPs and NPs on the growth of tomatoes (*Solanum lycopersicum*). The collected data indicate that exposure to these contaminants adversely affects various parameters of tomato growth and development, including biomass accumulation, plant height, flower and fruit production, and the length of roots, shoots, and leaves. The magnitude of this impact varies depending on the type of polymer, its particle size, concentration, and the culture medium employed. For example, increasing concentrations of microplastics correlated with variables such as tomato growth and development. Regarding polymer types, polylactic acid (PLA) causes seedling death, while polyvinyl chloride (PVC) and polyethylene terephthalate (PET) affect yield variables such as fruit weight and the number of flowers and fruits. The limited research carried out on NPs suggests that they are more toxic than MPs. Therefore, it is necessary to conduct further studies to understand the impact of NPs. In addition to conducting long-term studies on covering the entire tomato growth cycle and assessing the effects of various mixtures of microplastics and nanoplastics on this crop, it is essential to gain a broader understanding of the potential risks these contaminants pose to agricultural systems.

Keywords: Petroleum-derived polymers, bioplastics, agricultural production, soil quality, toxicity.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por plásticos representa un problema ambiental en crecimiento, que ha cobrado relevancia debido a su impacto en diversos ecosistemas (Kumar et al., 2021). La presencia cada vez mayor de microplásticos y nanoplásticos en el medio ambiente, especialmente en el suelo, plantea serios desafíos para la sostenibilidad de la producción agrícola. De acuerdo con Casso-Gaspar et al. (2022), los polímeros más encontrados en los suelos agrícolas son: polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), polietileno de baja densidad (LDPE), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), plásticos biodegradables, poliéster (PES), polietileno de alta densidad (HDPE), caucho termopolímero de etileno propileno (EPDM) y nylon (NL). Estos contaminantes, provenientes tanto de la degradación de plásticos de mayor tamaño como de la liberación directa de productos fragmentados, pueden generar efectos adversos sobre la calidad del suelo, y por lo tanto, afectar el desarrollo de los cultivos (Stubenrauch y Ekardt, 2020). Además, la posible absorción y translocación de estos contaminantes por las plantas podría tener consecuencias para la calidad del producto y su seguridad alimentaria (Shi, et al., 2023).

Entre los cultivos de importancia mundial más afectados por la presencia de microplásticos y nanoplásticos, se encuentra el tomate (*Solanum lycopersicum*), ya que para aumentar la producción de este cultivo, generalmente se produce bajo condiciones controladas en invernaderos o en sistemas hidróponicos, en los cuales se utilizan grandes cantidades de plásticos (Gojiya, 2022). Considerando el riesgo del cultivo de tomate a la exposición de microplásticos y nanoplásticos, en esta revisión se analizan los efectos de estos materiales en el crecimiento de tomate. De manera específica, se examinan dichos efectos en función al tipo, tamaño, concentración y tiempo de exposición de estos polímeros, así como al sistema de producción bajo el cual se maneja el cultivo de tomate, ya sea invernadero o hidropónico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de artículos científicos se realizó en febrero de 2025, considerando las bases de datos científicas Scopus, Web of Science y Google Scholar. Los motores de búsqueda en español e inglés fueron “tomate” y “microplásticos” o “nanoplásticos”; obteniendo como resultados artículos en el idioma inglés de años que van del 2022 al 2025. El análisis y búsqueda de la selección de la muestra, se llevó a cabo utilizando el siguiente procedimiento: primero se hizo una revisión general del contenido de cada artículo, segundo se examinaron los resúmenes y evaluaron los contenidos, finalmente, se realizó la lectura de cada documento y se extrajeron datos principales, como el tipo y tamaño del polímero evaluado, concentración, variable evaluada y resultados obtenidos. Se excluyeron aquellos trabajos que no abordaran específicamente el efecto de los MP y NP en el desarrollo de la planta de tomate, así como aquellos en los que se probaron los efectos combinados de los plásticos con otros elementos que buscan minimizar el efecto de los plásticos, como lombrices de tierra, reguladores de crecimiento, mejoradores de propiedades de suelo. En total se obtuvieron 30 documentos, de los cuales considerando los criterios de exclusión de la figura 1, se eliminaron 11 quedando un total de 19 artículos que se incluyeron en este documento.



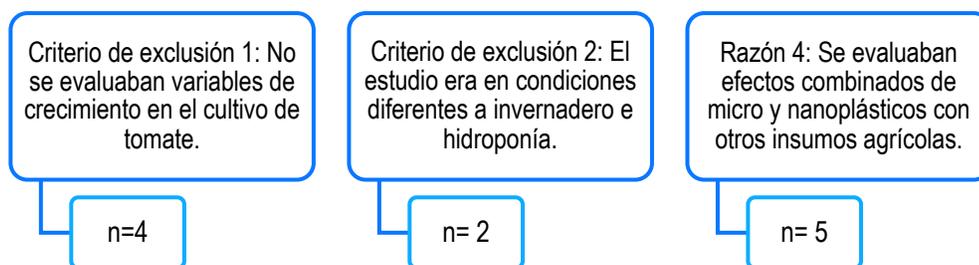


Figura 1. Criterios de exclusión.

Figure 1. Exclusion criteria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Impacto de los microplásticos en el crecimiento del tomate

Los documentos revisados evidencian que la exposición de plantas de tomate a microplásticos genera efectos significativos sobre diversos parámetros de crecimiento, no obstante, estos dependieron de factores, como el tipo de polímero, el tamaño de las partículas, la concentración aplicada y el tiempo de duración del experimento (Changmai et al., 2024; Fan et al., 2025; Shi et al., 2024).

De la revisión se obtuvo que se han desarrollado dos experimentos bajo condiciones hidropónicas (Shi et al., 2022; Shi et al., 2023), en los que se evaluaron individualmente los efectos de 3 tipos de polímeros, cuyos efectos en el cultivo de tomate se presentan en el Cuadro 1. Se observa en el caso del PE, las partículas pequeñas (11.15 μm) y grandes (241.97 μm) afectaron significativamente la biomasa y longitud de las raíces, especialmente a concentraciones altas (500 mg L^{-1}), mientras que tamaños intermedios (59.84 - 75.37 μm) no generaron efectos notables (Shi et al., 2022; Shi et al., 2023). Por su parte, el PP no presentó efectos significativos cuando se aplicaron partículas de mayor tamaño (88-273 μm), sin embargo, partículas pequeñas (10.29-57.86 μm) redujeron significativamente la longitud de raíces y la biomasa total, incluso a bajas concentraciones (Shi et al., 2022; Shi et al., 2023). El PS mostró una toxicidad particularmente alta, las partículas pequeñas (5 μm) redujeron notablemente la longitud y la biomasa, mientras partículas intermedias (52.48 μm) produjeron efectos inhibitorios en la longitud y peso de la raíz a concentraciones altas (500 mg L^{-1}) (Shi et al., 2022; Shi et al., 2023).

Cuadro 1. Efectos de los microplásticos en plantas de tomate, evaluados en condiciones hidropónicas.

Table 1. Effects of microplastics on tomato plants, evaluated under hydroponic conditions.

| Polímero | Tamaño (µm) | Concentración (mg L ⁻¹) | Duración | Efecto | Referencia |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------|----------|---|------------------|
| Polietileno (PE) | 75.37 ± 17.55 | 10, 100, 500 y 1000 | 7 días | No hubo efecto significativo en la longitud de la raíz, sin embargo, el peso de la raíz se redujo. | Shi et al., 2022 |
| Polietileno (PE) | 241.97 ± 81.55 | 10, 100, 500 y 1000 | 7 días | La exposición a una concentración de 500 mg L ⁻¹ tuvo un efecto significativo en la longitud de la raíz. En cuanto al peso de la raíz, todos los tratamientos lo afectaron significativamente. | Shi et al., 2022 |
| Polietileno (PE) | 11.15 ± 3.32 | 0.1 y 1.0 | 14 días | La concentración más alta redujo significativamente el crecimiento de las plantas, así como la biomasa de brotes y raíces. | Shi et al., 2023 |
| Polietileno (PE) | 59.84 ± 24.88 | 0.1 y 1.0 | 14 días | Este tamaño de MPs no tuvo efecto significativo en el crecimiento y biomasa de brotes y raíces. | Shi et al., 2023 |
| Polipropileno (PP) | 88.11 ± 28.53 | 10, 100, 500 y 1000 | 7 días | No hubo efecto significativo en longitud y peso de raíces. | Shi et al., 2022 |
| Polipropileno (PP) | 273.52 ± 111.69 | 10, 100, 500 y 1000 | 7 días | No hubo efecto significativo en longitud y peso de raíces. | Shi et al., 2022 |
| Polipropileno (PP) | 10.29 ± 3.87 | 0.1 y 1.0 | 14 días | La longitud de la raíz se redujo significativamente en todos los tratamientos. Lo mismo ocurrió con la biomasa de raíces y brotes. | Shi et al., 2023 |
| Polipropileno (PP) | 57.86 ± 17.21 | 0.1 y 1.0 | 14 días | La longitud de la raíz se redujo significativamente en todos los tratamientos. Lo mismo ocurrió con la biomasa de raíces y brotes. | Shi et al., 2023 |
| Poliestireno (PS) | 52.48 ± 20.93 | 10, 100, 500 y 1000 | 7 días | La exposición a 500 mg L ⁻¹ tuvo el efecto inhibitorio más grande en longitud de raíz. | Shi et al., 2022 |
| Poliestireno (PS) | 368.13 ± 127.11 | 10, 100, 500 y 1000 | 7 días | La exposición a 10 y 1000 mg L ⁻¹ tuvo efecto significativo en la longitud de raíz. | Shi et al., 2022 |
| Poliestireno (PS) | 5.23 ± 1.07 | 0.1 y 1.0 | 14 días | Ambos tratamientos redujeron considerablemente la longitud de brotes y raíces. | Shi et al., 2023 |
| Poliestireno (PS) | 63.06 ± 17.36 | 0.1 y 1.0 | 14 días | No hubo efecto significativo en el crecimiento ni en biomasa. | Shi et al., 2023 |

Los efectos más consistentes observados en los diferentes tipos de MPs fueron la disminución de la longitud de raíces y la reducción de la biomasa de raíces y brotes. Además, los estudios con una duración de 14 días permitieron observar con mayor claridad los efectos acumulativos sobre la biomasa, mientras que la exposición a 7 días evidenció principalmente cambios en la longitud de raíz.

Respecto a los estudios realizados bajo condiciones de invernadero (Dhevagi et al., 2024; Dainelli et al., 2023), se ha evaluado una gran cantidad de polímeros derivados del petróleo, y además algunos plásticos biodegradables como polihidroxialcanoato (PHA), ácido poliláctico (PLA), polisuccinato de butileno-co-adipato de butileno) (PBSA) y poli(butilenadipato-co-tereftalato) (PBAT). Los plásticos se han evaluado principalmente de manera individual, sin embargo también se encuentran algunos estudios que evalúan combinaciones entre ellos. Los tamaños de las partículas fueron variados por cada polímero, con rangos que van de 1 a 5000 μm . En cuanto a las concentraciones estas fueron variadas desde 0.02 hasta 10 % de microplásticos, la duración de los experimentos fue de 3 a 15 semanas.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos del análisis de 12 estudios en los que se evaluaron los impactos diversos MPs en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. En el caso del polietileno, su impacto se ha estudiado considerando tamaños de partícula que oscilan entre 50 a 200 μm , y en concentraciones que van desde 0.02 % la más baja a 8.4 % la más alta (Shi et al., 2024; Weerasinghe & Madawala, 2022).

El impacto de estos MPs fue principalmente en las variables altura de planta y biomasa de raíces y brotes, las cuales se vieron reducidas a medida que la concentración de MPs aumentó (Shi et al., 2024; Weerasinghe y Madawala, 2022). Por su parte Dhevagi et al. (2024) encontraron que al 1 % de concentración en tamaño de partícula 60 μm , se presentó la máxima reducción en número de flores por racimo, número de racimos de flores por planta, número de frutos por racimo, número de frutos por planta y peso del fruto. Los efectos causados por el polietileno en el cultivo de tomate fueron similares con la presencia de polipropileno, pues se observó que la biomasa aérea y radicular se vieron afectadas de manera proporcional a la concentración de MPs utilizados (Shi et al., 2024).

Cuadro 2. Efectos de los microplásticos en plantas de tomate, evaluados bajo condiciones de invernadero.

Table 2. Effects of microplastics on tomato plants, evaluated under greenhouse conditions.

| Polímero* | Tamaño | Concentración (MPs / suelo (p/p)) | Duración (semanas) | Efecto | Referencia |
|-----------|--------------|-----------------------------------|--------------------|--|-------------------------------|
| LDPE | < 5000 µm | 0.4, 2.4, 4.4, 6.4 y 8.4 % | 13 | Mayor concentración de MPs redujo biomasa de brotes, raíces y altura de planta. | Weerasinghe y Madawala, 2022. |
| PE | 60 µm | 0.25, 0.50, 0.75 y 1 % | No indica | La exposición al 1% causó la mayor reducción en altura, flores, racimos y frutos, así como en el peso del fruto. | Dhevagiet al., 2024 |
| PE | 150 µm | 0.02 y 0.2 % | 3 | Reducción del peso seco de raíces y brotes a mayor concentración | Shi et al., 2024 |
| PE | 50–200 µm | 0.02 y 0.2 % | 3 | Biomasa de raíces y brotes reducidas con ambas concentraciones | Shi et al., 2024 |
| PP | 150 µm | 0.02 y 0.2 % | 3 | Reducción del peso seco de raíces y brotes a mayor concentración | Shi et al., 2024 |
| PP | 50–200 µm | 0.02 y 0.2 % | 3 | La biomasa de brotes se redujo con ambas concentraciones; la de raíces solo al 0.2% | Shi et al., 2024 |
| PP | 4000 µm | 0.4, 1.0 y 2.0 % | 5 | Altura, número de hojas y diámetro se afectaron significativamente al 1% y 2% de MP. | Das y Alam, 2024 |
| PS | 75 µm | 1, 5 y 10 % | 6 | Todos los tratamientos redujeron la longitud de raíces y brotes (especialmente al 10%); el índice de área foliar aumentó al 1% y 5% | Saha et al., 2024 |
| PVC | 40 and 50 µm | 0.5 % | 15 | MPs PVC afectaron significativamente el peso fresco de brotes y frutos, el rendimiento neto y el contenido de agua de la fruta | Dainelli et al., 2023 |
| PVC | 1 to 150 µm | 2.5, 5.0, 7.5, y 10.0 % | 4 | Mayor concentración de PVC-MP redujo altura, área foliar, diámetro del tallo, peso fresco y seco; disminuyó raíces secundarias y alargó las primarias. | Changmai et al., 2024 |



Continuación del Cuadro 2

| | | | | | |
|-----------|--|----------------------------|-----------|--|------------------------------|
| PET | < 5000 μm | 0.4, 2.4, 4.4, 6.4 y 8.4 % | 13 | Mayor concentración de MPs redujo altura y peso seco de raíces y brotes; la relación raíz-brote aumentó significativamente al 0.4% y 2.4% tras 13 semanas. | Weerasinghe y Madawala, 2022 |
| PET | 40 and 50 μm | 0.5 % | 15 | Reducción en el número de flores y frutos por planta. | Dainelli et al., 2023 |
| PET | 75 μm | 1, 5 y 10 % | 6 | La raíz se acortó al 5% y 10%; los brotes en todos los tratamientos (especialmente al 10%). El índice de área foliar aumentó al 1% y 5% | Saha et al., 2024 |
| NL | 75 μm | 1, 5 y 10 % | 6 | Todos los tratamientos redujeron longitud de raíz e índice de área foliar (mayor al 50% con 10%); los brotes aumentaron al 1% y se redujeron al 10%. | Saha et al., 2024 |
| PHA | ~100 μm | 0.1 y 1 % | 8 | Las plántulas expuestas al tratamiento con PHA al 1% no sobrevivieron. | Fan et al., 2025 |
| PLA | ~100 μm | 0.1 y 1 % | 8 | Las plántulas expuestas al tratamiento con 1% de PLA mostraron una reducción significativa en la biomasa de los brotes y en la altura de la planta. | Fan et al., 2025 |
| PBSA | ~100 μm | 0.1 y 1% | 8 | No hubo cambios significativos en la biomasa y la altura de los brotes. | Fan et al., 2025 |
| PBAT | ~100 μm | 0.1 y 1% | 8 semanas | No hubo diferencia significativa para las variables biomasa de los brotes y altura de la planta | Fan et al., 2025 |
| PP+PE+PS | 1000 - 5000 μm | 1% | 7 | No hubo efectos significativos en las variables altura de planta, número de frutos, longitud de raíz, volumen de raíz. | Emenike et al., 2025 |
| PP+PES+PA | 4000 μm | 0.4, 1.0 y 2.0%; | 5 | El número de hojas mostró una reducción notable en cultivos con 2% de MP combinadas. | Das y Alam 2024 |
| PBAT+PLA | 900 - 2500 and 200 - 900 μm | 1.0 y 2.5 % | 4 s | No hubo impactos significativos en el crecimiento | Liang et al., 2024 |

* LDPE= Polietileno de baja densidad; PE= Polietileno; PP= Polipropileno; PS= Poliestireno; PVC= Cloruro de polivinilo; PET= Tereftalato de polietileno; NL= Nylon; PHA= Polihidroxialcanoato; PLA = Ácido poliláctico; PBSA = Poli(succinato de butileno-co-adipato de butileno); PBAT=Poli(butilenadipato-co-tereftalato).

Por otro lado, los microplásticos de PS y PVC mostraron efectos negativos en altura de planta, longitud de brotes y raíces, área foliar, en las diferentes concentraciones aplicadas. En el caso del PVC, también se observaron alteraciones en el rendimiento de los frutos (Dainelli et al., 2023). El PET, mostró efectos significativos en la altura de planta, longitud de brotes y raíces, así como en la biomasa en las diferentes concentraciones aplicadas (0.4 a 10 %); y en la concentración a 0.5 % redujo significativamente el número de flores y frutos por planta (Dainelli et al, 2023). En lo que respecta a microplásticos biodegradables (MPB), Fan et al (2025) probaron el PHA, PLA, el PBSA y PBAT. En el caso del PHA, se observó que al 1 % de concentración las plántulas de tomate no sobrevivieron; en la misma concentración el PLA mostró una reducción significativa en altura de planta y biomasa de brotes; mientras el PBSA y el PBAT no tuvieron efectos significativos en las variables de crecimiento.

Finalmente, al evaluar el efecto combinado de los MPs, Emenike et al. (2025) reportó que la mezcla de PE, PP y PS en una concentración de 1 % y con partículas de tamaños en un rango de 1 a 5 mm, no tuvo efectos significativos en las variables de crecimiento. Por su parte, Das y Alam (2024) evaluaron el efecto combinado de PP, PES y PA, concluyendo que el crecimiento de las plantas fue más lento en comparación con el tratamiento de control, mientras que el número de hojas se redujo significativamente con la concentración al 2 %.

Impacto de los nanoplásticos en el crecimiento del tomate

En cuanto a los estudios en que se ha probado el efecto de los nanoplásticos en el cultivo del tomate, se encontraron cinco de los cuales tres son experimentos hidropónicos y dos en invernadero. Los polímeros evaluados fueron el PS y el PE, los tamaños de partícula variaron de 20 a 235.5 nm, la duración fue de 7 a 15 días para experimentos hidropónicos y para los estudios realizados bajo condiciones de invernadero fue de 50 a 90 días; en la Tabla 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en estas investigaciones.

Como se observa en el Cuadro 3, las investigaciones del efecto de nanoplásticos en el cultivo de tomate se han centrado particularmente en el PS y el PE. Los resultados coinciden en que existe un impacto negativo en la longitud de raíces y brotes, en el



peso fresco y longitud de hoja. El estudio realizado por Lakshmikanthan y Chandrasekaran (2022) bajo condiciones hidropónicas, expusieron las plantas de tomate a partículas de poliestireno fluorescente y poliestireno, observando que con tamaño de partículas medio a alto (149.5 a 235.5 nm) se redujo significativa de la longitud de raíces y brotes. Por su parte, Gao et al (2023), probaron partículas de poliestireno de tamaño menor (60 nm) a concentraciones más altas (50 y 100 mg l-1), encontrando que hay un efecto significativo en el peso fresco de la planta y altura de planta.

Cuadro 3. Efectos de los nanoplásticos evaluados, en plantas de tomate.

Table 3. Effects of nanoplastics evaluated on tomato plants.

| Polímero* | Tamaño de los MPS | Concentraciones | Duración (días) | Efectos | Referencia |
|-----------|-------------------|------------------------------------|-----------------|--|---------------------------------------|
| FI-PS | 235.5 nm | 5 mg L ⁻¹ | 15 | Reducción significativa de longitud de brotes y raíces | Lakshmikanthan y Chandrasekaran, 2022 |
| PS | 149.5 nm | 5 mg L ⁻¹ | 7 - 14 | Reducción significativa de longitud de raíces y brotes | Lakshmikanthan y Chandrasekaran, 2022 |
| PS | ~60 nm | 50 y 100 mg L ⁻¹ | 14 | Efecto significativo en el peso fresco y altura de planta | Gao et al., 2023 |
| PS | 30 nm | 150, 250 y 500 mg kg ⁻¹ | 90 | Mayor concentración de MPs inhibió significativamente el peso fresco de raíces y brotes. | Cao et al., 2024 |
| PE | 20 -40 nm | 0.01, 0.1 y 1% g kg ⁻¹ | 50 | A mayor concentración mayores efectos en el peso fresco de raíces y brotes, longitud de hoja y de entrenudo. | Nazari et al., 2025 |

*FI-PS=Poliestireno fluorescente; PS = Poliestireno; PS= Poliestireno; PE= Polietileno.

Cao et al. (2024) llevaron a cabo el experimento bajo condiciones de invernadero, utilizaron partículas de PS de tamaño pequeño (30 nm), por un periodo de 3 meses, reportaron que a medida que la concentración incrementa es mayor el impacto en el peso fresco de raíces y brotes. Recientemente Nazari et al. (2025) publicaron los resultados de la investigación realizada sobre el efecto de partículas de nanoplástico de PE, también bajo condiciones de invernadero y los resultados coinciden que a mayor concentración, mayores efectos en el peso fresco de raíces y brotes, longitud de hoja y de entrenudo.



CONCLUSION

La contaminación por microplásticos y nanoplásticos en suelos agrícolas afecta negativamente el crecimiento del tomate, especialmente en biomasa aérea y subterránea, altura, flores y frutos. Los nanoplásticos son más tóxicos que los microplásticos por su tamaño y capacidad de penetración. Tanto polímeros derivados del petróleo como bioplásticos alteran significativamente el desarrollo del cultivo. Las partículas más pequeñas y concentraciones más altas intensifican los efectos. La acumulación podría impactar la calidad del suelo, los cultivos y la seguridad alimentaria. La variabilidad entre estudios limita la comparación y comprensión de efectos acumulativos. Se recomienda estandarizar protocolos, ampliar la duración de los estudios y evaluar efectos combinados.

LITERATURA CITADA

- Cao, X., Wang, C., Luo, X., Yue, L., White, J. C., Wang, Z., & Xing, B. (2024). Nano-and microplastics increase the occurrence of bacterial wilt in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *ACS nano*, *18*(27), 18071-18084.
- Casso-Gaspar, J. M., Acevedo-Sandoval, O. A., & Martinez-Hernández, S. (2022). Contaminación del suelo por microplásticos: panorama actual. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, *10*(19), 55-60.
- Changmai, U., Sahana, S. K., Kumar, N., Borah, B., Chikkaputtaiah, C., Saikia, R., & Phukan, T. (2024). Impact of polyvinyl chloride (PVC) microplastic on growth, photosynthesis and nutrient uptake of *Solanum lycopersicum* L.(Tomato). *Environmental Pollution*, *349*, 123994.
- Dainelli, M., Pignattelli, S., Bazihizina, N., Falsini, S., Papini, A., Baccelli, I., ... & Gonnelli, C. (2023). Can microplastics threaten plant productivity and fruit quality? Insights from Micro-Tom and Micro-PET/PVC. *Science of The Total Environment*, *895*, 165119.
- Das, E. J., & Alam, A. R. (2024). Effects of microplastics polluted soil on the growth of *Solanum lycopersicum* L. *Environmental Systems Research*, *13*(1), 36.
- Dhevagi, P., Sahasa, R. G. K., Poornima, R., Ramakrishnan, S., Ramya, A., & Priyatharshini, S. (2024). Gradient dependent chronic toxicity of polyethylene microplastics (PE-MPs) on tomato. *International Journal of Environmental Research*, *18*(1), 9.
- Emenike, C., Adelugba, A., MacDonald, M., Asiedu, S. K., Ofoe, R., & Abbey, L. (2025). A Combined Effect of Mixed Multi-Microplastic Types on Growth and Yield of Tomato. *Microplastics*, *4*(1), 5.



- Fan, H., Hong, X., Wang, H., Gao, F., Su, Z., & Yao, H. (2025). Biodegradable Microplastics Affect Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Growth by Interfering Rhizosphere Key Phylotypes. *Journal of Hazardous Materials*, 137208.
- Gao, M., Wang, Z., Jia, Z., Zhang, H., & Wang, T. (2023). Brassinosteroids alleviate nanoplastic toxicity in edible plants by activating antioxidant defense systems and suppressing nanoplastic uptake. *Environment International*, 174, 107901.
- Gojiya, M. J. (2022). Soilless Cultivation of Tomato (*Solanum lycopersicum*) in a Greenhouse. *International Journal of Agriculture Sciences*, ISSN, 0975-3710.
- Kumar, R., Verma, A., Shome, A., Sinha, R., Sinha, S., Jha, P. K., ... & Vara Prasad, P. V. (2021). Impacts of plastic pollution on ecosystem services, sustainable development goals, and need to focus on circular economy and policy interventions. *Sustainability*, 13(17), 9963.
- Lakshmikanthan, D., & Chandrasekaran, N. (2022). The Effect of Humic Acid and Polystyrene Fluorescence Nanoplastics on *Solanum lycopersicum* Environmental Behavior and Phytotoxicity. *Plants*, 11(21), 3000.
- Lakshmikanthan, D., & Chandrasekaran, N. (2022). Humic Acid Alleviates the Toxicity of Nanoplastics towards *Solanum lycopersicum*. *Agronomy*, 12(11), 2787
- Liang, R., Zhang, C., Zhang, R., Li, Q., Liu, H., & Wang, X. X. (2024). Effects of microplastics derived from biodegradable mulch film on different plant species growth and soil properties. *Science of The Total Environment*, 948, 174899.
- Nazari, M., Iranbakhsh, A., Ebadi, M., & Ardebili, Z. O. (2025). Polyethylene nanoplastics affected morphological, physiological, and molecular indices in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 109523.
- Saha, A., Baruah, P., & Handique, S. (2024). Assessment of microplastic pollution on soil health and crop responses: Insights from dose-dependent pot experiments. *Applied Soil Ecology*, 203, 105648
- Shi, R., Liu, W., Lian, Y., Wang, Q., Zeb, A., & Tang, J. (2022). Phytotoxicity of polystyrene, polyethylene and polypropylene microplastics on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal of Environmental Management*, 317, 115441.
- Shi, R., Liu, W., Lian, Y., Zeb, A., & Wang, Q. (2023). Type-dependent effects of microplastics on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.): Focus on root exudates and metabolic reprogramming. *Science of The Total Environment*, 859, 160025.
- Shi, R., Liu, W., Liu, J., Zeb, A., Wang, Q., Wang, J., ... & An, J. (2024). Earthworms improve the rhizosphere micro-environment to mitigate the toxicity of microplastics to tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Hazardous Materials*, 472, 134578.
- Shi, R., Liu, W., Liu, J., Li, X., Zeb, A., Wang, Q., ... & Sun, Y. (2024). Earthworms Enhance Crop Resistance to Insects Under Microplastic Stress by Mobilizing Physical and Chemical Defenses. *Environmental Science & Technology*, 58(37), 16282-16290.
- Stubenrauch, J., & Ekardt, F. (2020). Plastic pollution in soils: Governance approaches to foster soil health and closed nutrient cycles. *Environments*, 7(5), 38.

Weerasinghe, W. M. T. M., & Madawala, H. M. S. P. (2022). Potential impacts of two types of microplastics on *Solanum lycopersicum* L. and arbuscular mycorrhizal fungi. *Ceylon Journal of Science*, 51(2), 137-146.

