



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

“Facultad de Ciencias e Ingeniería”

¿Cuál es el impacto de la acumulación de microplásticos compuestos por polietileno en el desarrollo de la planta de papa y sus tejidos?

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO DE BACHILLER
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN BIOLOGÍA**

Autores:

Eddy Manuel Buleje Rojas
Amelia Margarita Menacho Mattos

Asesor:

Felipe Carlos Yon Torres

Lima, Perú

2024

¿Cuál es el impacto de la acumulación de microplásticos compuestos por polietileno en el desarrollo de la planta de papa y sus tejidos?

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	www.monografias.com Fuente de Internet	<1%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
3	boolee.es Fuente de Internet	<1%
4	doczz.net Fuente de Internet	<1%
5	dokumen.pub Fuente de Internet	<1%
6	doaj.org Fuente de Internet	<1%
7	www.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1%
8	www.kingshighway.org Fuente de Internet	<1%

Índice:

Resumen:	1
Abstract:	2
I- Estructura del Estado de Arte:	3
1. Microplásticos y su impacto en los agroecosistemas.	3
1.1 Los microplásticos y su clasificación.	3
1.2 Contaminación de partículas plásticas en agroecosistemas.	4
1.2.1 Fuentes de MP en agroecosistemas.	4
1.2.2 Vías de distribución de los MP.	4
2.MP de polietileno y su implicancia en diferentes especies vegetales representativas del entorno agrícola.	5
2.1. El polietileno como principal contribuyente en la contaminación por MP en actividades agrícolas.	5
2.1.1. Insumos de PE empleados en las actividades agrícolas.	6
2.2. Mal manejo de los residuos de insumos agrícolas de polietileno y sus efectos en los cultivos.	6
2.2.1 Especies de cultivo predispuestas a contaminación por MP de PE.	6
3.Absorción de microplásticos de PE y sus efectos en especies vegetales agrícolas.	7
3.1. Absorción de los MP de PE en los estadios críticos del desarrollo vegetal.	7
3.1.2. Crecimiento y desarrollo.	7
3.2. Mecanismos de absorción y translocación de microplásticos de polietileno en especies vegetales agrícolas.	7
3.3. Impacto de la acumulación de microplásticos de polietileno en los tejidos de cultivos agrícolas.	8
4.Efecto de los MP de PE en especies vegetales y su relación con la planta de papa	8
4.1. Fisiología de la papa.	8
4.2. Efectos de MP de PE en tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) y su relación taxonómica con <i>Solanum tuberosum</i> .	9
4.3. Cultivos afectados por MP de PE en <i>Ipomoea batatas</i> que presentan un desarrollo similar a la papa.	10
2.Planteamiento del problema	10
3. Estrategia	11
Referencias Bibliográficas:	13

Resumen:

Los microplásticos (MP) son plásticos de tamaño reducido (0.001 mm a 5 mm). Estos se dividen en dos categorías: los primarios, que mantienen un tamaño definido desde su fabricación, y los secundarios, que surgen a partir de la degradación de plásticos más grandes. Estos representan una amenaza emergente para los ecosistemas y la biota debido a su pequeño tamaño, ya que pueden ser ingeridas por una gran variedad de organismos afectando así, las cadenas tróficas; además de tener largos periodos de degradación en el ambiente teniendo un potencial de contaminante (1,2). Diversas investigaciones han demostrado que los MP pueden ser liberados en los ecosistemas terrestres, incluyendo los agroecosistemas, a través de diversas vías, como la escorrentía, la aplicación de biosólidos y la deposición atmosférica (3).

En el futuro, los MP pueden representar un problema para diversos cultivos, entre ellos, la papa. Esto debido al uso de diversos materiales agrícolas poliméricos, principalmente compuestos por polietileno (PE). Estos materiales son utilizados en la fabricación de cubiertas de invernaderos, mallas agrícolas, bandejas de germinación y plásticos para acolchado que son empleados en diversas actividades (4). Muchos de estos implementos se desgastan por la exposición a rayos UV, abrasión mecánica y otros factores, lo que ocasiona su fragmentación en partículas de menor tamaño. Estos microplásticos son clasificados como plásticos secundarios (5).

Se ha comprobado que los MP de PE afectan de forma directa a los cultivos por medio de diversos mecanismos de absorción y translocación de partículas plásticas en las plantas, como las vías apoplásticas (5). Sin embargo, no hay estudios específicos que aborden el impacto que tienen los MP de PE en el desarrollo del cultivo de papa. Abordar este tema es crucial, dado que Perú es el primer productor de este tubérculo en América Latina(6). Por lo tanto, este trabajo pretende evidenciar el proceso de translocación y explorar los efectos de la bioacumulación de MP de PE distribuidos en el rango de 0.001 mm a 5 mm, y su implicancia en los procesos de crecimiento y germinación de este tubérculo (7).

Palabras claves: Polietileno, papa, microplásticos, cultivos y contaminación.

Abstract

Microplastics (MP) are small plastics (0.001 mm to 5 mm). These are divided into two categories: the primary ones, which maintain a defined size since their manufacture, and the secondary ones, which arise from the degradation of larger plastics. These represent an emerging threat to ecosystems and biota due to their small size, since they can be ingested by a wide variety of organisms, thus affecting food chains; in addition to having long periods of degradation in the environment, having a contaminating potential (1,2). Various investigations have shown that MPs can be released into terrestrial ecosystems, including agroecosystems, through various pathways, such as runoff, application of biosolids, and atmospheric deposition (3).

In the future, MPs may represent a problem for various crops, including potatoes. This is due to the use of various polymeric agricultural materials, mainly composed of polyethylene (PE). These materials are used in the manufacture of greenhouse covers, agricultural meshes, germination trays and plastics for mulching that are used in various activities (4). Many of these implements wear out due to exposure to UV rays, mechanical abrasion and other factors, causing them to fragment into smaller particles. These microplastics are classified as secondary plastics (5).

It has been proven that PE MPs directly affect crops through various mechanisms of absorption and translocation of plastic particles in plants, such as apoplastic pathways (5). However, there are no specific studies that address the impact that PE MPs have on the development of potato crops. Addressing this issue is crucial, given that Peru is the leading producer of this tuber in Latin America(6). Therefore, this work aims to demonstrate the translocation process and explore the effects of the bioaccumulation of PE MPs distributed in the range of 0.001 mm to 5 mm, and its implication in the growth and germination processes of this tuber (7).

Key words: Polyethylene, potatoes, microplastics, crops and pollution.

I- Estructura del Estado de Arte:

1. Microplásticos y su impacto en los agroecosistemas.

En los últimos años, se ha evidenciado un incremento en la fabricación industrial de plástico debido a su rentabilidad, durabilidad y versatilidad en diversos campos, incluyendo la producción agrícola (2, 8 y 9). En el año 2020, la producción mundial alcanzó la cifra de 370 millones de toneladas métricas (Mt), manteniendo una tendencia de crecimiento constante (7,10). Sin embargo, esta situación plantea una problemática relacionada con el manejo inadecuado de los productos plásticos, ya que pueden contaminar los suelos de manera indirecta o directa a través de procesos químicos y mecánicos de desgaste, generando microplásticos (MP), los cuales son de tamaños inferiores a 5 mm (9,10). El problema de la acumulación de MP radica en que altera las propiedades del suelo, como el pH, la capacidad de retención del agua, la actividad de las enzimas y de la materia orgánica; lo cual genera consecuencias como un agrietamiento prematuro, producto de la evaporación de la humedad del suelo inducido por los MP, además, de interrumpir los ciclos de nutrientes afectando los procesos microbianos del suelo (7,10). Todo se deriva en que los cultivos no tengan un medio óptimo de crecimiento, ni recursos para su desarrollo; el cual se puede observar en el tamaño y biomasa de la planta.

1.1 Los microplásticos y su clasificación.

El tamaño es un factor indispensable para la clasificación. Desde el año 2016 hasta la actualidad, el rango establecido para los MP abarca fragmentos que oscilan entre 0.001 mm a 5 mm (8). Este rango se usa como parámetro para delimitarlo con otras medidas. Adicionalmente, la forma también es utilizada como criterio de clasificación de los MP. Las más comunes incluyen las perlas, espumas, esferas, películas, fibras y fragmentos. Estas formas pueden variar según el ecosistema, como es el caso de los MP presentes en entornos agrícolas, los cuales pueden adoptar la forma de películas, fragmentos o gránulos. Por último, la composición química determina la naturaleza en la degradación de los MP, ya que cada tipo de plástico presenta propiedades químicas distintas. Por ejemplo, el polipropileno (PP) muestra resistencia a productos químicos derivados de insecticidas y pesticidas, mientras que el polietileno (PE) se caracteriza por su flexibilidad y resistencia a bajas temperaturas, entre otras propiedades (9, 10).

Los parámetros descritos se utilizan para delimitar dos grandes grupos de microplásticos. Los MP primarios son producidos de manera industrial y ya se encuentran dentro del rango de tamaño descrito. Por otro lado, los MP secundarios son el resultado de la degradación de productos plásticos existentes, que ocurre mediante fotodegradación (UV), actividad microbiana y fuerza mecánica (8).

1.2 Contaminación de partículas plásticas en agroecosistemas.

La producción masiva de plásticos en los últimos años se ha generado debido a su amplio uso en diversas actividades, destacando su aplicación en prácticas agrícolas. Entre los plásticos más utilizados se encuentran el polipropileno, etileno-vinilo, poliolefina y polietileno, los cuales se emplean en insumos agrícolas con diferentes propósitos (2,9). Los plásticos mencionados experimentan desgaste debido a reacciones abióticas o bióticas, lo que los clasifica como microplásticos secundarios. Este proceso de reducción de tamaño facilita su infiltración en el suelo a través de varios mecanismos, lo cual resulta en una acumulación de microplásticos en un rango de 50 a 250 kg por hectárea (2,8).

1.2.1 Fuentes de MP en agroecosistemas.

Muchos de los microplásticos liberados por el uso de plásticos en actividades agrícolas se almacenan en capas de suelo que oscilan entre 10 y 30 cm. Estos MP pueden persistir en el medio durante aproximadamente 30 años. Las películas plásticas, empleadas como mantillos e instaladas en invernaderos, constituyen la principal fuente de microplásticos en el suelo. Entre ellos, los derivados de polietileno representan el 19,2%, mientras que los de polipropileno constituyen el 29,3%, siendo estos últimos los más comúnmente hallados(2, 8 y 9). En China, se emplean aproximadamente 1,45 millones de toneladas de este material, y como resultado de su desgaste, se acumulan en el suelo con una incidencia de hasta 265,3-381,1 kg/ha (7). Sin embargo, también se ven implicados otros medios, como el compost de desechos domésticos rurales, el cual ha mostrado una abundancia de microplásticos de 2400 ± 358 partículas por kilogramo (10). Por otro lado, se encuentran los lodos de depuradora que se utilizan en la producción agrícola, a través de los cuales se transportan los microplásticos. Se ha registrado un transporte de 600,000 toneladas en las regiones de Europa y América del Norte (9,10).

1.2.2 Vías de distribución de los MP.

Los microplásticos se adhieren al suelo por medio de los poros que estos presentan. Los poros se forman debido a factores de desgaste como la erosión y la radiación UV. Este último factor es especialmente relevante debido a su capacidad para inducir la descomposición molecular y la peroxidación (7,10). Al examinar el caso del mantillo, se observa cómo la radiación ultravioleta (UV) provoca la ruptura de los enlaces (C-C) y (-CH), lo que da lugar a la formación de radicales libres. Estos radicales libres reaccionan con el oxígeno, produciendo ácidos carbonilo mediante la ruta de degradación conocida como Norrish II, lo cual demuestra cómo, a través de este proceso, se liberan los microplásticos.

Las vías de transporte de los microplásticos MP hacia el suelo pueden verse afectadas por actividades externas, así como por el propio sustrato. Dichas vías incluyen el flujo de aguas subterráneas y están determinadas por parámetros físicos, como la delimitación de

los poros en el suelo. Los macroporos tienen valores inferiores a 0,08 mm, mientras que los microporos tienen valores superiores a 0,08 mm. Además, los ciclos de humedad y sequedad del suelo, así como las interacciones y comportamientos biológicos entre plantas y animales, también influyen en las vías de transporte de los MP (8). Estos parámetros, junto con las diversas actividades agrícolas, sirven para delimitar las vías de transporte tanto vertical como horizontal de los MP. La vía vertical está generalmente asociada a procesos de lixiviación, mientras que la vía horizontal implica procesos de excavación y actividades de ingestión por parte de diversos insectos, nematodos y microorganismos. Como lo demuestra el caso de las lombrices de tierra, las cuales experimentan una disminución en su biomasa cuando se encuentran en un entorno contaminado con microplásticos de polietileno de alta densidad. Además, estas lombrices muestran alteraciones en su metabolismo y experimentan estrés oxidativo en presencia de microplásticos de polietileno de baja densidad. Un ejemplo adicional se observa en los caracoles terrestres (*Achatina fulica*), donde la presencia de tereftalato de polietileno ocasiona una reducción en la excreción debido al daño inducido en las vellosidades de las paredes gastrointestinales. Por último, se evidencia cómo la superficie de los microplásticos actúa como hábitat para diversas comunidades microbianas, generando alteraciones en su abundancia en el sustrato. Un ejemplo concreto es la población aumentada de *Aspergillus flavus* en entornos contaminados con microplásticos de tereftalato de adipato de polibutileno (2,8 y 9).

2.MP de polietileno y su implicancia en diferentes especies vegetales representativas del entorno agrícola.

2.1. El polietileno como principal contribuyente en la contaminación por MP en actividades agrícolas.

En comparación con otros tipos de plásticos, la producción de polietileno es la más alta debido a su facilidad de procesamiento, la inercia química, la alta estabilidad, la flexibilidad, y la ausencia de olor y toxicidad son todas razones para el uso generalizado de PE (11). Los plásticos se emplean en la agricultura de diversos países como por ejemplo en las áreas tropicales de China donde según un estudio del uso de acolchado plástico en agroecosistemas se halló que hubo una presencia de 71,04% de MP de PE y un 19,83% de polipropileno de MP de polipropileno (12). Un caso adicional que se puede examinar es el de España, donde en 2015 se observó la siguiente distribución en el uso de materiales plásticos en la plasticultura: un 57% correspondiente al PE, un 33% al PVC, un 5,7% al PP y un 4,3% a otros materiales (13). Una vez en el medio ambiente, estos materiales de PE sufren una degradación abiótica y biótica, lo que provoca una fragmentación gradual y la generación de diversas partículas de MP (7).

2.1.1. Insumos de PE empleados en las actividades agrícolas.

El polietileno se produce primordialmente en dos formas principales: PE de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés, High-Density Polyethylene) y PE de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés, Low-Density Polyethylene). El PE tiene múltiples usos agronómicos debido a su bajo costo, buena manipulación, alta resistencia al impacto, gran resistencia química y propiedades de aislamiento eléctrico. El principal uso del LDPE es la producción de películas para invernaderos, túneles bajos, mantillo y ensilaje. Mientras que el HDPE se usa mayoritariamente para producir latas de pesticidas, redes y tuberías de riego (14). En general, se evidencia que este polímero compone en gran medida la estructura de las casas de malla, módulos de aeroponía, coberturas de invernadero y los ductos de ventilación implementados en estos (15).

2.2. Mal manejo de los residuos de insumos agrícolas de polietileno y sus efectos en los cultivos.

El uso masivo PE en insumos como mantillos agronómicos, materiales compuestos y envases, junto un reciclaje deficiente debido a que los métodos comunes de eliminación de PE consisten en el vertido y la incineración (16). La exposición a la intemperie, la abrasión física, la degradación química y biológica, y la fotodegradación por radiación UV se consideran actualmente como las principales fuerzas para la degradación inicial de los plásticos, y esto resulta generalmente en una modificación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los plásticos. Las partículas resultantes tienen un área de superficie mayor, lo que las hace propensas a degradarse más (14). Debido a su estabilidad, el PE puede persistir desde su lugar de deposición inicial y extenderse a otros sitios como los espacios de cultivo. Los MP tienen múltiples efectos en las plantas. Estos incluyen la interferencia en la absorción y transporte de nutrientes al obstruir los poros en la pared o las conexiones celulares, así como la reducción o retraso en la germinación de las semillas al inhibir la absorción de agua. Además, pueden afectar el crecimiento de las raíces y los brotes.(16)

2.2.1 Especies de cultivo predispuestas a contaminación por MP de PE.

Los diversos tipos de PE tienen un papel en la contaminación en las especies de cultivo, por ejemplo, el polietileno de baja densidad (LDPE) tiene efectos negativos en el crecimiento de las plantas. Este afecta el diámetro del tallo, la altura, el área foliar y la relación raíz-brote en *Triticum aestivum*. Además, la exposición a microplásticos de LDPE al 0,5% reduce significativamente el contenido de clorofila foliar en *Phaseolus vulgaris* (17). Se ha investigado la presencia de MP de PE en varios cultivos alimentarios. Se encontraron partículas en zanahoria (*Daucus carota* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.), brócoli (*Brassica oleracea* L.), manzana (*Malus sp.*) y pera (*Pyrus sp.*) compradas en supermercados (18).

3.Absorción de microplásticos de PE y sus efectos en especies vegetales agrícolas.

3.1. Absorción de los MP de PE en los estadios críticos del desarrollo vegetal.

La germinación es un proceso importante ya que determina el crecimiento y desarrollo del cultivo en etapas posteriores. Durante este proceso, las plantas son muy vulnerables a lesiones, enfermedades y estrés hídrico o ambiental, lo que la convierte en la etapa más crítica del ciclo de la vida de la planta. Existen múltiples factores de estrés que pueden interferir en el éxito de este proceso, la presencia de microplásticos es uno de esos factores. A modo de ejemplo, tenemos que los MP de polietileno afectan la germinación y la aparición de plántulas en *Vigna radiata* y *Solanum lycopersicum*, también en estadios iniciales estos MP pueden reducir el índice de vigor, la energía de germinación y el índice de germinación en *Glycine max* (19). Otro estudio en *Lens culinaris* demostró que el PE podría obstaculizar la actividad interna durante la germinación de las semillas, posiblemente como resultado del bloqueo físico de los poros que conduce a un retraso en el crecimiento en etapas posteriores (20).

3.1.2. Crecimiento y desarrollo.

A medida que la planta crece, los MP pueden representar una preocupante amenaza para su buen desarrollo. En múltiples estudios se ha evaluado el impacto del polietileno en el crecimiento y desarrollo de cultivos económicamente importantes. Por ejemplo, se ha informado que la exposición a microplásticos de PE inhibió el peso seco; mientras que la longitud de la raíz aumentó en *Vigna radiata* (19). Otro estudio en *Oryza sativa* L. encontró que la tasa fotosintética neta y los genes de expresión relacionados con la reacción a la luz se inhibieron significativamente, contribuyendo a la eventual reducción del crecimiento de las plantas, esta investigación mostró que los microplásticos impusieron un efecto negativo en la altura y la biomasa de la plántula de arroz (21). Por lo tanto, la presencia de microplásticos de polietileno es responsable de la disminución de la germinación, desarrollo vegetativo y el estrés en el crecimiento de los cultivos.

3.2. Mecanismos de absorción y translocación de microplásticos de polietileno en especies vegetales agrícolas.

Se evidencia el impacto negativo que presentan las MP en las actividades enzimáticas del suelo y como en consecuencia afectan al ecosistema de este medio. En el caso particular de los agroecosistemas se muestra como interés ver el impacto en las plantas de cultivo, siendo afectadas por los MP por medio a sus mecanismos de absorción y translocación penetrando así diversos tejidos de la planta. Estas vías se van a desarrollar por medio de la interacción de las raíces, donde los MP se van a añadir a sus exudados para luego ser absorbidos, donde se han evidenciado que partículas plásticas de 0,002 mm lograron penetrar las raíces en el trigo (*Triticum aestivum* L.) (22). Sin embargo, este parámetro de

tamaño no es universal, debido a que depende mucho del tipo de MP y al tipo de planta de cultivo, ya que cada una tiene una tasa de transpiración propia que actúa como fuerza impulsora para el movimiento de estos a diferentes órganos del cultivo, lo que genera una acumulación de MP (2,22). Como tal este proceso se da por el envejecimiento, daño de algún agente externo y las lesiones mecánicas en las raíces, lo que genera su abertura y da cabida al ingreso de los MP siguiendo el movimiento del apoplasto con el paso del agua a través de las zonas radiculares (8,22).

3.3. Impacto de la acumulación de microplásticos de polietileno en los tejidos de cultivos agrícolas.

La salud y el crecimiento de las plantas dependen de diversos factores como la biodisponibilidad, absorción de nutrientes y contaminantes que influyen en su capacidad para obtener los elementos necesarios para su desarrollo. Un estudio sobre el efecto de MP de Polietileno en el pepino (*Cucumis sativus* L.), la cebada (*Hordeum vulgare* L.) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) observó que estos pueden haber influido en la biodisponibilidad e incorporación de nutrientes para las plantas (23). Otra investigación encontró que una dosis alta de HDPE amplificó la absorción de cadmio en el maíz, lo cual influyó en su crecimiento (24). También es importante mencionar que el PE puede afectar a la planta de arroz modificando su proceso fotosintético disminuyendo el contenido de clorofila e induciendo a un aumento del estrés oxidativo (21). Con respecto a los cambios metabólicos y moleculares estos MP indujeron la reprogramación metabólica de raíces y brotes diferenciales en el pepino, cebada y tomate, por lo que el perfil metabólico depende de las especies vegetales (23). Además, existe una influencia en la citotoxicidad y genotoxicidad ya que el HDPE mayormente tiene un efecto negativo en las plantas ya que induce la citogenotoxicidad, en otro experimento se halló que en tomates el PE es más tóxico para las enzimas antioxidantes que otro MP. Por otro lado, las sustancias tóxicas que acompañan a estas partículas plásticas pueden afectar de manera negativa a los simbiontes de la planta que se encuentran en el suelo por lo que puede existir efectos negativos (25).

4.Efecto de los MP de PE en especies vegetales y su relación con la planta de papa

4.1. Fisiología de la papa.

La papa es un tallo modificado y como todo ejemplar vegetal pasa por un proceso de brotación de su semilla. En este caso durante el proceso de crecimiento y desarrollo las yemas del tubérculo que van desde la base hasta el ápice entran en periodo de reposo, donde no se desarrollan brotes visibles por medio de la intervención del ácido abscísico (ABA) y termina gracias al estímulo longitudinal del brote que genera el ácido giberélico (GA), lo que genera el crecimiento en sentido al ápice favoreciendo a la terminal por medio

de la dominancia apical las demás yemas no se desarrollan. Por último, se da un aumento en la ramificación de brotes (26).

Lo anterior mencionado nos ayuda explicar el cómo surgen los diversos órganos de la papa. Por un lado, tenemos a la característica raíz fibrosa y débil, la cual es muy sensible a la ausencia de agua y penetra los 0.30-1.5 m del suelo. En el caso de semillas sexuales se produce una raíz pivotante que da origen a varias raíces fibrosas y de forma semilla-tubérculo se produce raíces adventicias fibrosas que provienen de primordios radiculares de los brotes, siendo muy eficientes para la absorción de nutrientes y agua. En consecuencia, de la formación de las raíces, tenemos a los estolones, los cuales son considerados tallos subterráneos en forma de gancho constituido por tejido meristemático que se originan en las yemas axilares presentes en los nudos basales. Cabe resaltar que un corte transversal de estos nos muestra la presencia de corteza, haces vasculares y la médula; lo cual nos indica la eficiencia de la translocación en estos (26,27).

Adicionalmente los tallos aéreos en los brotes tubérculo-semilla presentan tallos laterales a partir de yemas axilares ubicadas en los nudos inferiores de los tallos principales, siendo estos herbáceos y los provenientes de semillas sexuales solo desarrolla uno de estos por medio de epicotilo del embrión. Como tal los tallos aéreos ayudan a la translocación de productos fotosintéticos a través del floema, transporte ascendente de agua y nutrientes por medio del xilema y son el soporte de la planta, debido a que se fortalece el periciclo, xilema y floema. Para finalizar debemos entender el proceso de tuberización, el cual inicia con la supresión del estolón y con el desarrollo radial de últimos nudos de este, debido a la translocación y síntesis de carbohidratos (26,27).

4.2. Efectos de MP de PE en tomate (*Solanum lycopersicum*) y su relación taxonómica con *Solanum tuberosum*.

La especie *Solanum lycopersicum* guarda similitud taxonómica con el cultivo de la papa, ya que son plantas herbáceas y forman parte de la familia Solanaceae. A su vez presentan una distribución de raíces primarias y secundarias similares, sin embargo, su mayor diferencia radica en la presencia del tubérculo (26,28).

Se han llevado a cabo investigaciones que examinan la contaminación de cultivos de tomate con MP de PE mediante el uso de coberturas plásticas. Estos estudios evidencian una disminución en el crecimiento de los brotes, lo cual afecta negativamente su rendimiento al reducir la tasa de crecimiento relativo, tanto en los brotes como en las raíces. En consecuencia, se observa un mayor impacto en las raíces, ya que se encuentran en proximidad directa al sustrato, lo que propicia la adhesión de los microplásticos de polietileno a la superficie de las raíces principales. Este fenómeno conlleva a una inhibición en la absorción de agua, afectando así el proceso de imbibición en este órgano. Por otro lado, el PE se ve involucrado en los procesos de germinación de la semilla de tomate

teniendo un impacto mínimo con respecto a otros, debido al tamaño de los MP que bloquean los poros de la semilla retrasando solo el proceso (29,30).

4.3. Cultivos afectados por MP de PE en *Ipomoea batatas* que presentan un desarrollo similar a la papa.

Aunque el camote y la papa pertenecen a diferentes familias de plantas, comparten ciertas similitudes en su proceso de crecimiento. Mientras que el camote, una planta trepadora o rastrera de la familia de las convolvuláceas, ha sido objeto de estudios más detallados, con raíces alargadas y engrosadas como órgano de almacenamiento, la papa forma tubérculos en los tallos subterráneos o estolones, cercanos a la base de la planta. A pesar de estas diferencias familiares, ambas plantas presentan un crecimiento subterráneo, estando en contacto directo con el suelo. En este sentido, los estolones, al absorber agua y nutrientes, podrían transportar microplásticos de manera similar a como lo hacen las raíces en el caso del camote causando una serie de consecuencias, siendo la acumulación de metales pesados de Cadmio uno de estos, lo que se deriva en una reducción de la biomasa de las plantas contaminadas con MP de PE (5).

2.Planteamiento del problema

En los últimos años, se ha observado un aumento gradual en el uso de plásticos en la agronomía a nivel mundial (2). Dentro de la gran variedad de plásticos se encuentra el polietileno (PE); así como sus derivados, los cuales son el polietileno de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE). Estos alcanzaron en 2016 una producción anual de 116 millones de toneladas a nivel mundial, siendo uno de los más empleados por sus bajos costos de fabricación, alta estabilidad y su fácil procesamiento (11). La exposición directa al medio ambiente genera una degradación gradual de PE por medio de fotodegradación (UV), actividad biológica y por fuerza mecánica, lo que ocasiona cambios en sus propiedades y da lugar a la formación de microplásticos (MP) que presentan un tamaño que oscila entre 0,001- 5 mm. En el año 2016, se estimó que en América Norte ingresaron entre 0,044-0,3 toneladas de MP cada año a los agroecosistemas (8,9,10,12,16 y 29). La exposición directa al medio ambiente genera una degradación gradual de PE hasta tener fragmentos de 0.02-0.10 mm. Además, el uso masivo de estos polímeros y las prácticas inadecuadas de reciclaje agrícola contribuyen a su acumulación en el medio (7,16,29).

En consecuencia, se ha evidenciado el impacto que generan los MP de PE en diversas plantas. Por ejemplo, se ha observado su influencia en la biodisponibilidad y la incorporación de nutrientes en especies, como el pepino (*Cucumis sativus* L.), la cebada

(*Hordeum vulgare* L.) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (23). Sin embargo, siguen siendo pocas las especies agronómicas en las que se ha estudiado el impacto de los MP de PE. La planta de papa (*Solanum tuberosum*) es una de las que requiere mayor atención por los niveles de producción que presenta en Latinoamérica ya que, en el 2023 Perú fue el mayor productor de esta, con un volumen de producción de 6 millones de toneladas métricas registradas. Adicionalmente, esta planta se encuentra expuesta a la contaminación de microplásticos debido al uso de polietileno en la construcción de invernaderos para la producción de semilla pre básica a través de diferentes técnicas. Estas incluyen la técnica convencional, así como las técnicas de hidroponía y aeroponía. En estos tres tipos de invernaderos, se utilizan materiales de PE en las mallas antiáfidos que recubren toda la estructura, en las láminas y películas de cubiertas de techo, en los ductos de ventilación y en los contenedores de las plántulas (15,31,32,33). Por lo tanto, esta exposición a los MP de PE podría tener efectos en el crecimiento y desarrollo del cultivo, así como sus tejidos. En este estudio, se llevará a cabo un análisis centrado en la formulación y prueba de hipótesis para investigar la capacidad de absorción y translocación de microplásticos de polietileno por parte de la planta de papa. La hipótesis específica que se abordará implica examinar cómo la planta responde a la contaminación por microplásticos de polietileno y cómo esto afecta su crecimiento y desarrollo. Se utilizará un enfoque experimental que incluirá la manipulación de la concentración de microplásticos para evaluar sus posibles impactos.

3. Estrategia

La estrategia se realizará en condiciones controladas en un invernadero para la fase de cultivo y en un laboratorio para el procesamiento de los tejidos. La metodología experimental que proponemos para poder observar la influencia de los MP de PE en la planta de papa consiste en dos fases. En una primera fase, se iniciará la investigación para determinar la posible translocación de microplásticos en los tejidos de la planta de papa. Este análisis se llevará a cabo durante una etapa crítica de su desarrollo, enfocándose en el proceso de germinación que tiene una duración aproximada de 15 días, donde se empleará MP monodisperso azul fluorescente de polietileno del tamaño 0.02 mm, las cuales tienen una longitud de excitación de onda hasta los 400 nm y una longitud de emisión de onda hasta los 450 nm (5), se seleccionó esta medida debido a que un menor tamaño está asociado con una mayor absorción de microplásticos (2,8,7).

Es necesario identificar los tejidos específicos en los que la translocación puede ocurrir, para esto las plántulas de papa serán cultivadas en cuatro tratamientos de suelo no enriquecido según el método de Fei et al. (34): un grupo control que no contenga MP de PE; un medio contaminando con PE al 1% (10 g/kg); un medio contaminado con PE al 5% (50 g/kg) y un medio contaminando con PE al 10% (100 g/kg). Estos tratamientos se regará con agua destilada durante quince días.

Después del tratamiento, se lavarán las plántulas con agua destilada y se cortarán las raíces, tallos y hojas para incrustarse en un criógeno. Se colocarán rodajas de 0.1 mm de espesor con criostato en un portaobjeto de vidrio y se cubrirá con una tapa de vidrio para observar la fluorescencia en los diversos tejidos, para verificar si hay MP de PE fluorescentes y conocer la ubicación específica de estos en los tejidos. Esto se realizará a través de la observación con un microscopio de fluorescencia biológica en el que se ajustarán las longitudes de onda de excitación y emisión a un valor de 400 y 450 nm.

Segundo, para observar la influencia del polietileno en el crecimiento vegetativo de la papa, se emplea MP de PE monodisperso y esférico con un diámetro promedio de 0.02 mm y de alta pureza. Se prepararán cuatro tratamientos de suelo no enriquecido según el método de Fei et al. (34): un grupo control que no contenga MP de PE; un medio contaminando con PE al 1% (10 g/kg); un medio contaminado con PE al 5% (50 g/kg) y un medio contaminando con PE al 10% (100 g/kg). En estos sustratos se sembrarán las cuatro plántulas y se regarán con agua destilada por quince días, para poder monitorear las variaciones en la biomasa de las plántulas a diferentes concentraciones de MP de PE. Se evaluará la biomasa después de los tratamientos para ello se emplearán todas sus partes, las cuales se lavarán con agua destilada y se secarán a 60 °C en una estufa para determinar el peso seco de cada tejido que se medirá y registrará con una balanza de una milésima, los datos obtenidos se analizarán estadísticamente mediante el uso de un análisis de varianza (ANOVA) para ver si existen diferencias significativas entre la concentración de PE en los tratamientos y la cantidad de biomasa (5).

Referencias Bibliográficas:

1. Zhang, S. T., Song, X. N., Li, N., Zhang, K., Liu, G. S., Li, X. D., ... & Shao, H. F. (2018). Influence of high-carbon basal fertiliser on the structure and composition of a soil microbial community under tobacco cultivation. *Research in microbiology*, 169(2), 115-126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2017.10.004>
2. Campanale, C., Galafassi, S., Savino, I., Massarelli, C., Ancona, V., Volta, P., & Uricchio, V. F. (2022). Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Science of the Total Environment*, 805, 150431. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150431>
3. Jiménez, J. "Invernadero automatizado para producción de semilla de papa bajo tres sistemas: Aeroponía, hidroponía y plantas madres-esquejes." Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (2015). Disponible en: https://cipotato.org/wp-content/uploads/2016/04/t_semilla_j_jimenez.pdf
4. Zhou, Y., Wang, J., Zou, M., Jia, Z., Zhou, S., & Li, Y. (2020). Microplastics in soils: A review of methods, occurrence, fate, transport, ecological and environmental risks. *Science of the Total Environment*, 748, 141368. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141368>
5. Shi, L., Hou, Y., Chen, Z., Bu, Y., Zhang, X., Shen, Z., & Chen, Y. (2022). Impact of polyethylene on soil physicochemical properties and characteristics of sweet potato growth and polyethylene absorption. *Chemosphere*, 302, 134734. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134734>
6. El Perú es el primer productor de papa en América Latina y el sustento de más de 700 mil familias [Internet]. Gob.pe. [citado el 12 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/769389-el-peru-es-el-primer-productor-de-papa-en-america-latina-y-el-sustento-de-mas-de-700-mil-familias>
7. Yang, Y., Li, Z., Yan, C., Chadwick, D., Jones, D.L., Liu, E., and He, W. "Kinetics of microplastic generation from different types of mulch films on agricultural land". *Total Environmental Science* 814 (2022): 152572. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152572>
8. Ullah, R., Tsui, MTK, Chen, H., Chow, A., Williams, C. y Ligaba-Osena, A. Microplastics interaction with terrestrial plants and their impacts on agriculture. *Journal of environmental quality*. 2021; 50.5: 1024-1041. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20264>
9. Surendran, U., Jayakumar, M., Raja, P., Gopinath, G. y Chellam, PV. Microplastics in terrestrial ecosystem: Sources and migration in soil environment. *Chemosphere*. 2023; 318: 137946. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137946>
10. Gan, Q., Cui, J. y Jin, B. Environmental microplastics: Classification, sources, fates, and effects on plants, *Chemosphere*. 2023; 313: 137559-137559. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137559>.
11. Danso, D., Chow, J., & Streit, W. R. Plastics: environmental and biotechnological perspectives on microbial degradation. *Applied and environmental microbiology*. 2019; 85. 19: e01095-19. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>
12. Khan, MA, Huang, Q., Khan, S., Wang, Q., Huang, J., Fahad, S. y Song, Abundance, spatial distribution, and characteristics of microplastics in agricultural soils and their relationship with contributing factors. *Journal of Environmental Management*. 2023; 328: 117006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117006>.

13. Asociación Española de Industriales de Plástico. La Plásticultura en España [Internet]. 2018 [2023, 05, 16]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0CAIQw7AJahcKEwj46u7a6YrAhUAAAAAHQAAAAAQAg&url=https%3A%2F%2Fwww.anaip.es%2Fimagenes%2FDivisiones%2FAgricultura%2FCatlogo-La-Plasticultura-en-Espaa-ANAIP-3-Mb.pdf&psig=AOvVaw2ux4JWGpL8lf8YsqHRu4sP&ust=1684910145636753>
14. Scarascia-Mugnozza, G., Sica, C. y Russo, G. Plastic materials in European agriculture: actual use and perspectives. *Journal of Agricultural Engineering*. 2011; 42.3: 15-28. Disponible en: 10.4081/JAE.2011.3.15
15. Andrade-Piedra, J. L., Kromann, P., y Otazú, V. "Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú." 2015. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/76513>
16. Azeem, I., Adeel, M., Ahmad, M. A., Shakoor, N., Jiangcuo, G. D., Azeem, K., & Rui, Y. Uptake and accumulation of nano/microplastics in plants: a critical review. *Nanomaterials*. 2021; 11.11: 2935. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/nano11112935>
17. Zhou, W., Wang, Q., Wei, Z., Jiang, J. y Deng, J. Effects of microplastic type on growth and physiology of soil crops: Implications for farmland yield and food quality. *Environmental Pollution*. 2023; 326: 121512. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121512>.
18. Hartmann, GF, Ricachenevsky, FK, Silveira, NM y Pita-Barbosa, A. Phytotoxic effects of plastic pollution in crops: what is the size of the problem?. *Environmental Pollution*. 2022; 292: 118420. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118420>
19. Wang, L., Liu, Y., Kaur, M., Yao, Z., Chen, T. y Xu, M. Phytotoxic effects of polyethylene microplastics on the growth of food crops soybean (*Glycine max*) and mung bean (*Vigna radiata*). *International journal of environmental research and public health*. 2021; 18.20: 10629. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph182010629>
20. De Silva, YSK, Rajagopalan, UM, Kadono, H. y Li, D. Effects of microplastics on lentil (*Lens culinaris*) seed germination and seedling growth. *Chemosphere*. 2022; 303: 135162. Disponible en: 10.1016/j.chemosphere.2022.135162
21. Yang, C. y Gao, X. Impact of microplastics from polyethylene and biodegradable mulch films on rice (*Oryza sativa* L.). *Science of The Total Environment*. 2022; 828: 154579. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154579>.
22. Wu, X., Lu, J., Du, M., Xu, X., Beiyuan, J., Sarkar, B., y Wang, H. Particulate plastics-plant interaction in soil and its implications: A review. *Science of the Total Environment*. 2021; 792: 148337. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148337>
23. Bouaicha, O., Tiziani, R., Maver, M., Lucini, L., Miras-Moreno, B., Zhang, L., y Mimmo, T. Plant species-specific impact of polyethylene microspheres on seedling growth and the metabolome. *Science of The Total Environment*. 2022; 840: 156678. Disponible en: 10.1016/j.scitotenv.2022.156678.

24. Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S., Adams, CA y Sun, Y. Effects of co-contamination of microplastics and Cd on plant growth and Cd accumulation. *Toxics*. 2020; 8.2: 36. Disponible en: [10.3390/toxics8020036](https://doi.org/10.3390/toxics8020036).
25. Zhang, X. M., Cao, X. X., He, L. X., Xue, W., Gao, J. Q., Lei, N. F., y Li, M. H. Soil heterogeneity in the horizontal distribution of microplastics influences productivity and species composition of plant communities. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 1075007. Disponible en: [10.3389/fpls.2022.1075007](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1075007).
26. Luján, L. "Morfología, estructura y fisiología de la planta de papa.". Repositorio Institucional Agrosavia. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. 1991. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/16934>
27. Alvarado, L. F. "Anatomía y fisiología de la planta de papa.". Repositorio Institucional Agrosavia. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. 2003. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/20267>
28. Sánchez, C. E. J. Fisiología poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*) en racimo cv'Merlice'producido por hidroponia en sistemas orgánicos y convencional almacenado en aire y aire con especies reactivas de oxígeno. 2022. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/3688/1/FQMAC-290749-0622-622-Cristian%20Esa%20Jaime%20S%20a1nchez%20-%20A.pdf>
29. Sahasa, RGK, Dhevagi, P., Poornima, R., Ramya, A., Moorthy, PS, Alagirisamy, B. y Karthikeyan, S. Effect of polyethylene microplastics on seed germination of Blackgram (*Vigna mungo* L.) and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Environmental Advances*. 2023; 11:100349. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100349>
30. Zhang, X., You, S., Tian, Y. y Li, J. Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio-based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality. *Scientia Horticulturae*. 2019; 249: 38-48. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.037>
31. González, A. D. M. "Implementación de un Centro Generador de Semilla de Papa (*Solanum tuberosum*), basado en un sistema aeropónico de producción de minitubérculos, en la Región de Aysén." 2013. Disponible en: https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/147540/PYT-2013-0086_IFTD.pdf?sequence=3&isAllowed=y
32. Corrêa, RM, Pinto, JEBP, Faquin, V., Pinto, CABP, y Reis, ES. "La producción de patatas de siembra por métodos hidropónicos en Brasil". *Ciencia y Biotecnología de Frutas, Hortalizas y Cereales*. 2009; 3.1: 133-139. Disponible en: [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0906/FVCSB_3\(SI1\)/FVCSB_3\(SI1\)133-139o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0906/FVCSB_3(SI1)/FVCSB_3(SI1)133-139o.pdf)
33. Flores-Mora, D. M., y Brenes-Madriz, J. "Producción en invernadero de semilla de papa a partir de vitroplantas." 1999. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/57/BJFIB200113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
34. Fei, Y., Huang, S., Zhang, H., Tong, Y., Wen, D., Xia, X., y Barceló, D. "Respuesta de las actividades enzimáticas del suelo y las comunidades bacterianas a la

acumulación de microplásticos en un suelo de cultivo ácido". *Ciencia del Medio Ambiente Total*. 2020; 707: 135634. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135634>