



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**Análisis de microplásticos y metales totales en suelos agrícolas y su
correlación con el tipo de riego aplicado en la localidad de El Pedregal,
provincia de Caylloma, Arequipa**

Tesis presentada por:

Guerra Surco, Jhoselyne Valeria

ORCID: 0009-0007-1248-5913

para optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental

Asesor (a):

Dra. Bejarano Meza, Maria Elizabeth

ORCID: 0000-0002-4943-6097

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Diciembre del 2025

Dictamen: 016108-C-EPIA-2025

Visto el borrador del expediente 016108, presentado por:

2016100802 - GUERRA SURCO JHOSELYNE VALERIA

Titulado:

**ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS Y METALES TOTALES EN SUELOS AGRÍCOLAS Y SU
CORRELACIÓN CON EL TIPO DE RIEGO APLICADO EN LA LOCALIDAD DE EL PEDREGAL,
PROVINCIA DE CAYLLOMA, AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**29727348 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR**



Análisis de microplásticos y metales totales en suelos agrícolas y su correlación con el tipo de riego aplicado en la localidad de El Pedregal, provincia de Caylloma, Arequipa

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe	2%
Fuente de Internet		
2	zaloamati.azc.uam.mx	1%
Fuente de Internet		
3	repositorio.unsaac.edu.pe	1%
Fuente de Internet		

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

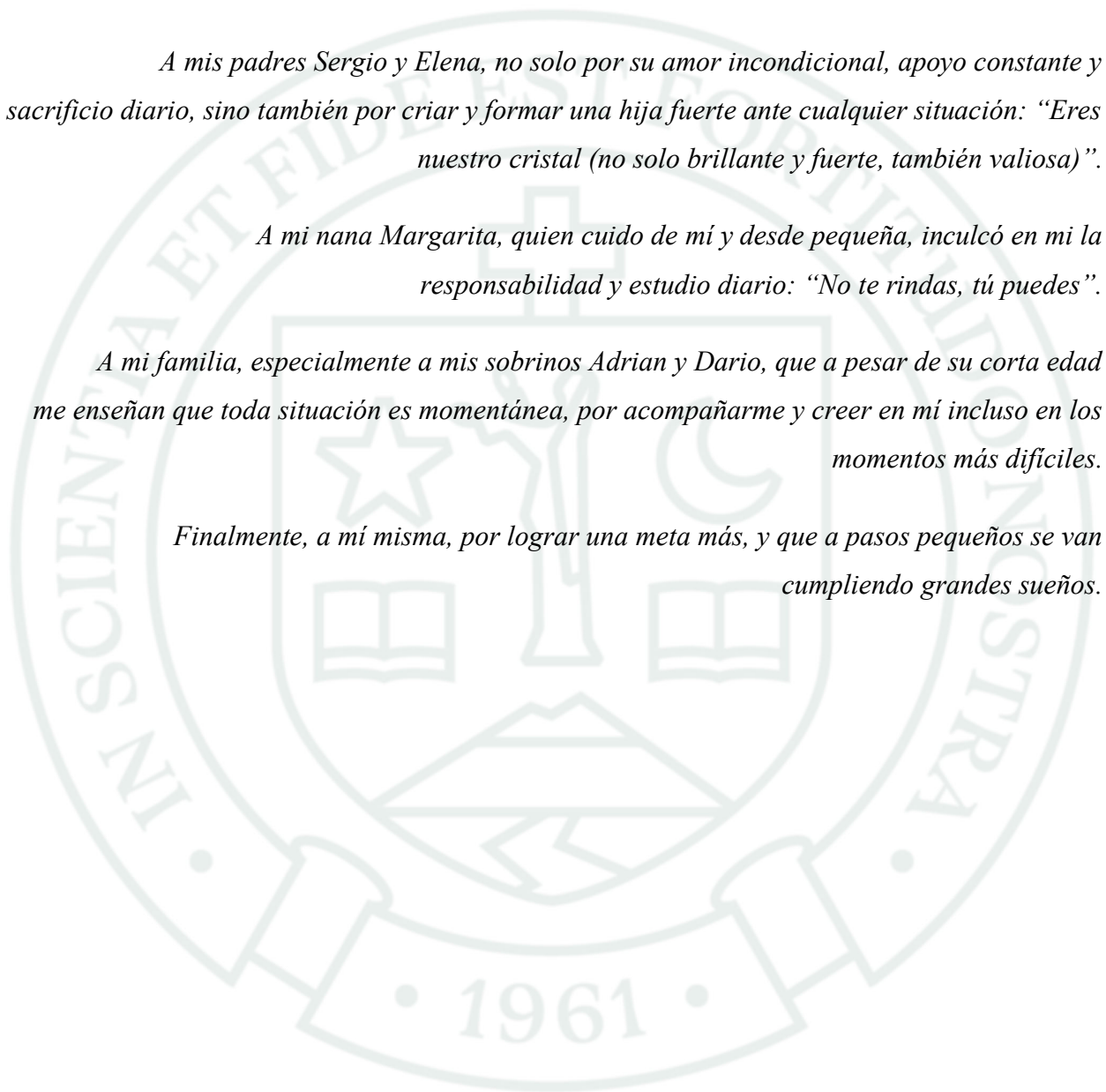
A Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para lograr culminar esta etapa de mi vida y evitar que me rinda en el proceso.

A mis padres Sergio y Elena, no solo por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio diario, sino también por criar y formar una hija fuerte ante cualquier situación: “Eres nuestro cristal (no solo brillante y fuerte, también valiosa)”.

A mi nana Margarita, quien cuidó de mí y desde pequeña, inculcó en mí la responsabilidad y estudio diario: “No te rindas, tú puedes”.

A mi familia, especialmente a mis sobrinos Adrian y Dario, que a pesar de su corta edad me enseñan que toda situación es momentánea, por acompañarme y creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

Finalmente, a mí misma, por lograr una meta más, y que a pasos pequeños se van cumpliendo grandes sueños.



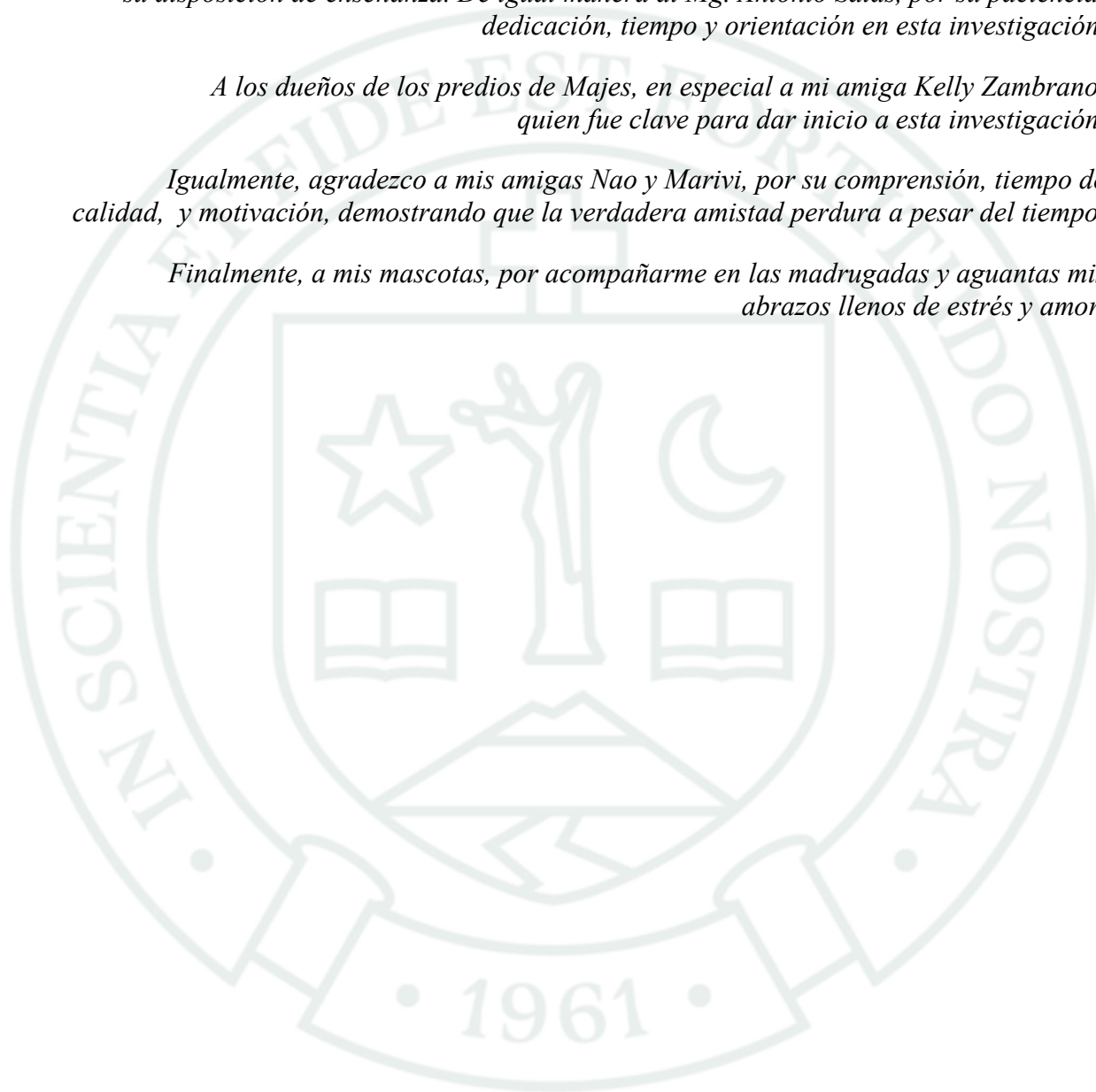
AGRADECIMIENTOS

Mis más profundos agradecimientos a mi asesora Dra. Maria Bejarano Mesa, por su disposición de enseñanza. De igual manera al Mg. Antonio Salas, por su paciencia, dedicación, tiempo y orientación en esta investigación.

A los dueños de los predios de Majes, en especial a mi amiga Kelly Zambrano, quien fue clave para dar inicio a esta investigación.

Igualmente, agradezco a mis amigas Nao y Marivi, por su comprensión, tiempo de calidad, y motivación, demostrando que la verdadera amistad perdura a pesar del tiempo.

Finalmente, a mis mascotas, por acompañarme en las madrugadas y aguantas mis abrazos llenos de estrés y amor.



RESUMEN

La presencia de microplásticos y metales totales en suelos agrícolas es un problema que afecta directamente a la calidad de suelo, la productividad y la seguridad alimenticia. En el presente estudio evaluó la influencia del tipo de riego en acumulación con microplásticos y metales totales en los suelos agrícolas en la localidad de El Pedregal, Caylloma, Arequipa, zona que predomina la producción agrícola. El objetivo es correlacionar los contaminantes con el tipo de riego de la zona. Se seleccionó 3 parcelas por cada tipo de riego (aspersión y goteo), recolectando 3 muestras por parcela con la extracción de 5 submuestras, analizando microplásticos mediante el proceso de digestión, separación por densidad, decantación y filtración para ser observados por el estereoscopio, mientras que los metales totales se cuantificaron por el método de ICP-MS. Los resultados demostraron que, existe mayor presencia de microplásticos y de metales totales (As, Ba, Ca, Cu, F, K, Na, Sn, y Zn) en el riego por goteo.

Las correlaciones entre microplásticos y metales totales; son positivas moderadas en riego por goteo Cadmio ($r = 0.667$), Arsénico ($r = 0.515$), Boro ($r = 0.502$) y Silicio ($r = 0.41$), negativas moderadas y altas son Fósforo ($r = -0.758$), Zinc ($r = -0.724$) y Estroncio ($r = -0.306$); mientras que, correlaciones muy débiles o débiles en riego por aspersión, como Aluminio ($r = -0.092$), Cobre ($r = -0.017$) y Magnesio ($r = 0.042$).

Concluyendo que el tipo de riego influye de manera significativa en la movilidad, distribución y absorción de contaminantes (microplásticos y metales totales) en suelos agrícolas.

Palabra clave:

Microplástico, metales totales, riego

ABSTRACT

The presence of microplastics and total metals in agricultural soils is a problem that directly affects soil quality, productivity, and food security. This study evaluated the influence of irrigation type on the accumulation of microplastics and total metals in agricultural soils in El Pedregal, Caylloma, Arequipa, an area where agriculture predominates. The objective was to correlate contaminants with the type of irrigation used in the area. Three plots were selected for each irrigation type (sprinkler and drip), and three samples were collected from each plot, with five subsamples extracted. Microplastics were analyzed using digestion, density separation, decantation, and filtration for observation under a stereomicroscope, while total metals were quantified using ICP-MS. The results showed a higher presence of microplastics and total metals (As, Ba, Ca, Cu, F, K, Na, Sn, and Zn) in drip irrigation.

The correlations between microplastics and total metals were moderately positive in drip irrigation for Cadmium ($r = 0.667$), Arsenic ($r = 0.515$), Boron ($r = 0.502$), and Silicon ($r = 0.41$); moderately and strongly negative for Phosphorus ($r = -0.758$), Zinc ($r = -0.724$), and Strontium ($r = -0.306$); while very weak or weak correlations were found in sprinkler irrigation, such as for Aluminum ($r = -0.092$), Copper ($r = -0.017$), and Magnesium ($r = 0.042$).

In conclusion, the type of irrigation significantly influences the mobility, distribution, and absorption of contaminants (microplastics and total metals) in agricultural soils.

Keywords:

Microplastics, total metals, irrigation

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 3

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.1. Planteamiento del problema y su relevancia 4

1.2. Justificación de la investigación 6

1.2.1. Justificación Ambiental 6

1.2.2. Justificación Social 6

1.2.3. Justificación Económica 7

1.2.4. Justificación Científico-Tecnológico 7

1.3. Hipótesis 7

1.4. Objetivo de la investigación 8

1.4.1. Objetivo general 8

1.4.2. Objetivos específicos 8

1.5. Variables e Indicadores 9

CAPÍTULO II 10

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
2.1. Estado del arte	11
2.2. Marco teórico	19
2.2.1. Plásticos.....	19
2.2.2. Microplásticos	20
2.2.3. Metales Totales.....	23
2.2.4. Métodos de caracterización	26
2.2.5. Riego.....	28
2.3. Marco legal.....	30
2.3.1. Internacional	30
2.3.2. Nacional.....	31
2.3.3. Regional.....	32
CAPÍTULO III.....	33
3. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	34
3.1. Tipo y Nivel.....	34
3.2. Área de estudio.....	34
3.3. Diseño de la Investigación	36
3.4. Población y muestra	36
3.4.1. Población.....	36
3.4.2. Muestra	36

3.5.	Método de la investigación.....	37
3.5.1.	Desarrollo de un diagnóstico de los tipos de riego.....	37
3.5.2.	Determinación del contenido de microplásticos y metales	39
3.5.3.	Correlación del contenido de microplásticos y metales totales.....	41
CAPÍTULO IV		43
4.	RESULTADOS.....	44
4.1.	Desarrollo de un diagnóstico de los tipos de riego.....	44
4.2.	Determinación del contenido de microplásticos y metales totales.....	53
4.2.1.	Caracterización de microplástico.....	53
4.2.2.	Caracterización de metales totales.....	56
4.3.	Correlación del contenido de microplásticos y metales totales.....	59
4.3.1.	Comparación de resultados con normativa.....	59
4.3.2.	Análisis de Correlación	63
CAPÍTULO V.....		115
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES.....	116
5.1.	Conclusiones	116
5.2.	Recomendaciones.....	117
5.3.	Limitaciones	117
CAPÍTULO V.....		119
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Operacionalización de variables	9
Tabla 2. Categorías de microplásticos	21
Tabla 3. Principales actividades industriales generadoras de metales totales.....	24
Tabla 4. Parámetros de Calidad establecidos por el MINAM	25
Tabla 5. Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman	28
Tabla 6. Tipos de riego en agricultura	29
Tabla 7. Puntos de predios agrícolas de la localidad de Pedregal según el tipo de riego	35
Tabla 8. Métodos de recolección de datos	38
Tabla 9. Participación voluntaria de los dueños y/o encargados de las parcelas	44
Tabla 10. Autorización de respuestas para uso académico.....	44
Tabla 11. Tamaño aproximado de las parcelas.....	45
Tabla 12. Caudal de los predios.....	50
Tabla 13. Comparación de resultados de análisis de metales totales con los ECAs agua	51
Tabla 14. Comparación de resultados de metales totales en riego por aspersión	59
Tabla 15. Comparación de resultados de metales totales en riego por goteo	61
Tabla 16. Correlación de microplásticos y metales totales en dos sistemas de riego	107

ÍNDICE DE FIGURA

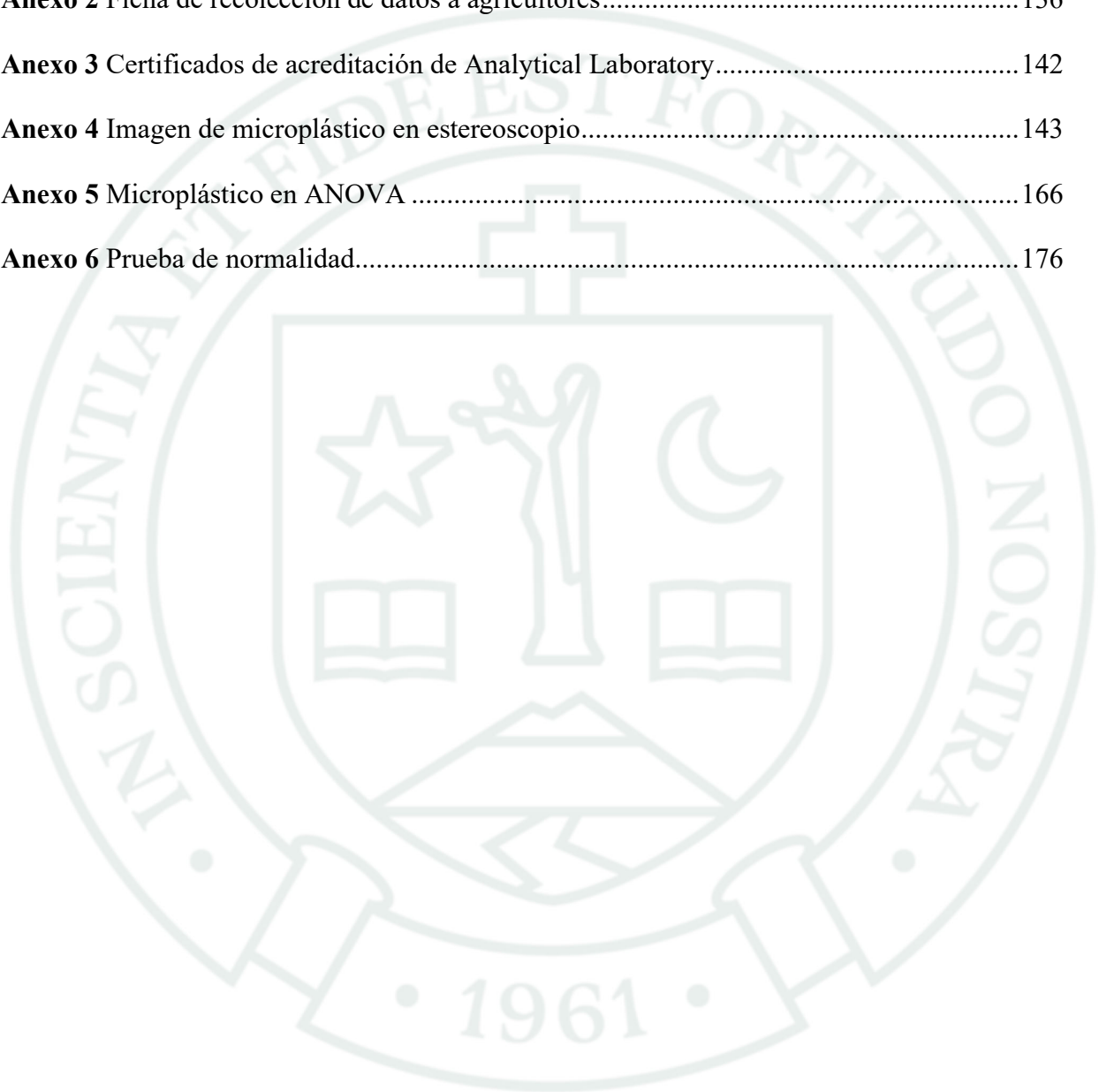
Figura 1. Escala de tamaños de plástico	20
Figura 2. Clasificación de plástico según tamaño y color	22
Figura 3. Valor de coeficiente de correlación de Pearson	27
Figura 4. Ubicación de la localidad de Pedregal	35
Figura 5. Tamaño aproximado de las parcelas	45
Figura 6. Fuente principal del agua para riego	46
Figura 7. Tipo de riego predominante	47
Figura 8. Horas promedio de riego	48
Figura 9. Frecuencia de uso de riego	49
Figura 10. Conteo de microplásticos en Estereoscopio de las parcelas	53
Figura 11. Cantidad de microplástico en diferente tipo de riego	55
Figura 12. Concentración de metales pesados por tipo de riego	56
Figura 13. Concentración de nutrientes por tipo de riego	57
Figura 14. Concentración de otros metales por tipo de riego	58
Figura 15. Correlación de microplástico y aluminio bajo riego por aspersión	63
Figura 16. Correlación de microplástico y aluminio bajo riego por goteo	64
Figura 17. Correlación de microplástico y arsénico bajo riego por aspersión	65
Figura 18. Correlación de microplástico y arsénico bajo riego por goteo	66
Figura 19. Correlación de microplástico y bario bajo riego por aspersión	67
Figura 20. Correlación de microplástico y bario bajo riego por goteo	68
Figura 21. Correlación de microplástico y boro bajo riego por aspersión	69

Figura 22. Correlación de microplástico y cadmio bajo riego por aspersión.	70
Figura 23. Correlación de microplástico y cadmio bajo riego por goteo.	71
Figura 24. Correlación de microplástico y cadmio bajo riego por goteo.	72
Figura 25. Correlación de microplástico y calcio bajo riego por aspersión.	73
Figura 26. Correlación de microplástico y calcio bajo riego por goteo.....	74
Figura 27. Correlación de microplástico y cerio bajo riego por aspersión.	75
Figura 28. Correlación de microplástico y cerio bajo riego por goteo.	76
Figura 29. Correlación de microplástico y cobre bajo riego por aspersión.	77
Figura 30. Correlación de microplástico y cobre bajo riego por goteo.	78
Figura 31. Correlación de microplástico y cromo bajo riego por aspersión.....	79
Figura 32. Correlación de microplástico y cromo bajo riego por goteo.	80
Figura 33. Correlación de microplástico y estroncio bajo riego por aspersión.	81
Figura 34. Correlación de microplástico y estroncio bajo riego por goteo.....	82
Figura 35. Correlación de microplástico y fósforo bajo riego por aspersión.	83
Figura 36. Correlación de microplástico y fósforo bajo riego por goteo.....	84
Figura 37. Correlación de microplástico y hierro bajo riego por aspersión.	85
Figura 38. Correlación de microplástico y hierro bajo riego por goteo.....	86
Figura 39. Correlación de microplástico y litio bajo riego por aspersión.....	87
Figura 40. Correlación de microplástico y litio bajo riego por goteo.....	88
Figura 41. Correlación de microplástico y magnesio bajo riego por aspersión.....	89
Figura 42. Correlación de microplástico y magnesio bajo riego por goteo.	90
Figura 43. Correlación de microplástico y manganeso bajo riego por aspersión.	91
Figura 44. Correlación de microplástico y manganeso bajo riego por goteo	92

Figura 45. Correlación de microplástico y plomo bajo riego por aspersión.....	93
Figura 46. Correlación de microplástico y plomo bajo riego por goteo.....	94
Figura 47. Correlación de microplástico y potasio bajo riego por aspersión.	95
Figura 48. Correlación de microplástico y potasio bajo riego por goteo.....	96
Figura 49. Correlación de microplástico y silicio bajo riego por aspersión.	97
Figura 50. Correlación de microplástico y silicio bajo riego por goteo.	98
Figura 51. Correlación de microplástico y sodio bajo riego por aspersión	99
Figura 52. Correlación de microplástico y sodio bajo riego por goteo.....	100
Figura 53. Correlación de microplástico y titanio bajo riego por aspersión.....	101
Figura 54. Correlación de microplástico y titanio bajo riego por goteo.....	102
Figura 55. Correlación de microplástico y vanadio bajo riego por aspersión.	103
Figura 56. Correlación de microplástico y vanadio bajo riego por goteo.....	104
Figura 57. Correlación de microplástico y zinc bajo riego por aspersión.	105
Figura 58. Correlación de microplástico y zinc bajo riego por goteo.....	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Lista de metales del ICP-OE y su toxicidad	134
Anexo 2 Ficha de recolección de datos a agricultores.....	136
Anexo 3 Certificados de acreditación de Analytical Laboratory.....	142
Anexo 4 Imagen de microplástico en estereoscopio.....	143
Anexo 5 Microplástico en ANOVA	166
Anexo 6 Prueba de normalidad.....	176



INTRODUCCIÓN

La calidad de suelos agrícolas cumple un rol fundamental para la seguridad alimentaria, la biodiversidad y la sostenibilidad de productos agrícolas, debido a ellos en las últimas décadas investigadores científicos se han enfocado en los microplásticos y metales totales.

En la actualidad, los metales totales con contaminantes perennes con capacidad de acumularse en el suelo agrícola siendo un potencial para afectar la salud de las plantas (cultivos); a su vez reduce la productividad, modifica la estructura microbiana logrando ingresar a la cadena alimenticia afectando directamente a los seres humanos. Cabe mencionar que, son elementos no degradables, que al transcurrir el tiempo permanece y se acumulan en el perfil del suelo, provocando un riesgo a largo plazo (Rashid, A. et al, 2023). Por otro lado, los microplásticos, son fragmentos de plástico de 1 a 5 μm de tamaño, que está presente en suelos agrícolas impactando en la calidad de suelo como en su sistema productivo (Pérez-Reverón, R. et al. 2022); su presencia en los suelos agrícolas tiene origen en diversas fuentes como fertilizantes, mantos de plástico, falta de segregación de desechos, entre otros (Lui, X. et al. 2023).

En los suelos agrícolas, la presencia y acumulación de microplásticos como metales totales, pueden afectar significativamente la fertilidad, la estructura del suelo, actividad microbiana y principalmente el proceso de retención y liberación de nutrientes, afectando directamente la productividad y la calidad de alimento (Yu, H. et al. 2023).

Al ser estudiados simultáneamente se genera el efecto “Caballo de Troya”, que se refiere a la capacidad que tiene los microplásticos para actuar como vectores o transportadores con el fin de adsorber metales pesados (An, Q. et al. 2023); por consecuencia estos contaminantes pueden estar más retenidos en el suelo o incluso en las plantas, o alterar su fraccionamiento y biodisponibilidad (Liao, Y.L. et al. 2025), esta interacción hace que la

presencia de microplásticos no solo se enfoque en plástico – suelo, si no, puede agravar la contaminación por metales totales, incrementando el riesgo en la calidad de suelo.

Además, el tipo de riego empleado influye en la distribución, acumulación y transporte de contaminantes en los suelos agrícolas, incluyendo a los microplásticos y metales totales. Por lo tanto, el riego por goteo aplica el agua de forma puntual o localizada, reduciendo la escorrentía y la dispersión superficial de contaminantes; mientras que el riego por aspersión, aplica el agua por toda la superficie del suelo muy similar a la precipitación (lluvia), haciendo que los contaminantes presenten una distribución homogénea (Zhang, Y. et al. 2023).

Por este motivo, la presente investigación tiene como objetivo analizar y establecer la correlación entre los diferentes tipos de riego utilizados en la localidad de El Pedregal y la presencia de contaminantes, específicamente metales totales y microplásticos, en los suelos. El presente trabajo apoyará a comprender cómo el agua de riego y el tipo de riego aplicado influyen en la acumulación de microplásticos y metales totales.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema y su relevancia

El consumo global de plásticos ha experimentado un aumento acelerado en las últimas décadas, la producción mundial en polímeros de plásticos se ha incrementado aproximadamente a más de 380 megatoneladas anuales (Sharma, S. et al. 2023), por lo que, se estima que su demanda global continuará en aumento en las próximas décadas (Stegmann, P. et al. 2022), según proyecciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2024), y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente – PNUMA (ONU, 2025), de no establecer medidas regulatorias eficientes, la producción anual de plásticos para el año 2060, se duplicará, sobrepasando las 1000 megatoneladas por año. La progresión continua entre la producción y el consumo de plástico a nivel mundial genera una preocupación por los efectos negativos al ambiente y la salud pública, que se genera principalmente por los microplásticos (Walker, T.R. & Fequet, L. 2023). La evidencia acumulada confirma que los microplásticos tiene una distribución geográfica global amplia, siendo detectados en diferentes comportamientos ambientales, como ambientes marinos, agua dulce, sedimentos, suelos agrícolas, entre otros (Hoyos, A. et al 2023), debido a los variados patrones de transporte y rutas de dispersión (Su, L. et al 2022), impactando en ecosistemas remotos y vulnerables (Hale, R. et al 2020; Horton, A. & Barnes, D. 2020).

Los microplásticos pueden desempeñar una amenaza para la salud humana, por su capacidad de ingresar a la cadena alimenticia (Ruiz-Santoyo, V. 2025). Paralelamente, son vectores de agentes químicos y biológicos potencialmente peligrosos, esto se debe a la relación superficie-volumen, su estructura hidrofóbica y su capacidad de adsorber y transportar metales totales, que al interactuar incrementan su biodisponibilidad, bioacumulación y toxicidad (FAO, 2023).

La contaminación por metales totales en suelos agrícolas es una preocupación ambiental global creciente por su impacto en la calidad de suelo, seguridad alimenticia y salud humana (FAO & UNEP. 2021), la acumulación se da por las actividades antropogénicas (uso de fertilizantes) son absorbidos por las plantas, logrando ingresar a la cadena alimenticia (Alvez, L et al. 2016).

A nivel regional Arequipa, la presencia de metales totales tanto en agua y suelo es un tema de investigación, es conocido que las cuencas hidrográficas de los ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña, tienen presencia de metales totales en el agua (de Nieto B. 2019), así como en la provincia de Condesuyos específicamente en el distrito de Cayarani, se demostró niveles significativos de contaminación por metales totales en los suelos bajo las actividades mineras (Yarín Achachagua, A. 2021). Estos estudios nos evidencian la presencia de metales totales en nuestra región; revelando una problemática que puede interactuar con otros contaminantes, como los microplásticos, cuyas concentraciones e interacciones aún son materia de estudio en el ámbito local.

En la localidad de Pedregal, predomina dos tipos de riego (aspersión y goteo) para garantizar una óptima producción, sin embargo, pueden presentar problemas específicos como la presencia de microplásticos y metales totales que afecta su eficiencia y sostenibilidad. Estudios no demuestran que, el riego por aspersión tiene mayor deposición superficial y foliar de microplásticos como el potencial de escurrimiento con los metales; mientras que el riego por goteo tiene menor dispersión superficial pero mayor concentración en la rizosfera por lo tanto la percolación es vertical para los microplásticos y metales si el suelo es permeable o el riesgo es excesivo (Guo, S. et al, 2023 & Selim, T. et al, 2023).

1.2. Justificación de la investigación

1.2.1. Justificación Ambiental

Los canales de riego, tiene a ser fuente de acumulación de arrastre de plásticos a partir de desechos domésticos, agrícolas e industriales, que al llegar a los cultivos agrícolas se fragmentan y se convierte en microplásticos (Corradini, F. et al. 2019), estos residuos pequeños, al no ser tratados se acumulan en la capa superficial del suelo, conteniendo hasta 16.7 mil partículas/kg, afectando la fertilidad del suelo (Zhang, G. & Lui, Y. 2018).

La contaminación por microplásticos no solo afecta a los ecosistemas locales, sino que tiene repercusiones globales. Dado que los suelos y ríos contaminados pueden ser un vector para la dispersión de microplásticos impactando así a la salud humana (El Pueblo, 2025).

Además, existe la hipótesis que los microplásticos actúan como “caballo de Troya”, aludiendo a la capacidad para ingresar a los organismos a través de la ingestión o inhalación (Vethaak, D. & Leslie, H. 2016), es decir, los microplásticos destacan su papel como vectores pasivos de contaminantes químicos y agentes patógenos, siendo de fácil transporte y dispersión en diferentes ambientes (Castañeta, G. et al. 2020). Así mismo, los microplásticos de origen polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS), tiene la alta capacidad para la absorción de metales totales (Cuenca, M. & Mayancela, M. 2023).

1.2.2. Justificación Social

La localidad de pedregal es fuente de productos alimenticios como holantao, maíz forrajero, alfalfa, ají paprika, vid y papa, ajo, cebolla, maíz morado que sirven como fuente de gran parte de los productos alimenticios que consume la población de la región Arequipa y parte del Perú (AgroPerú, 2023 & MartínezHuacho, 2022) Por lo que, investigar la presencia de contaminantes emergentes, como los microplásticos, y su relación con los metales totales, es relevante para asegurar la calidad de los productos locales en el mercado nacional y de exportación que son destinados a consumo humano.

Esta investigación puede aportar información a la población para seleccionar un tipo de riego eficiente y con un enfoque basado en la calidad del suelo y agua.

1.2.3. Justificación Económica

Potencial económico de la localidad de pedregal recae en la agricultura (Gobierno Regional Arequipa. 2024). Además, la pérdida de la calidad del suelo puede tener un impacto en la economía de la localidad (ElBuho, 2024), por la reducción en la productividad de los campos de cultivo.

Es de realce esta investigación debido a que la contaminación por microplásticos afecta la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento de cultivos, lo que puede tener un impacto directo sobre la seguridad alimentaria. Con el crecimiento de la población mundial y el aumento de la demanda de recursos naturales, es esencial comprender como la contaminación por microplásticos puede influir en la productividad agrícola, en la restauración de suelos contaminados.

1.2.4. Justificación Científico-Tecnológico

La presente investigación brindará un aporte científico que permitirá desarrollar estrategias para monitorear la calidad del suelo, la comprensión de la interacción de contaminantes en los suelos agrícolas, y la influencia de variables de uso practico como el tipo de riego en dichas interacciones.

1.3. Hipótesis

Dado que en la localidad de pedregal se desarrollan distintos tipos de riego, y es de conocimiento científico que los microplásticos y metales totales son contaminantes emergentes con alta ocurrencia en el agua de riego. Es posible que exista una correlación entre el tipo de riego que se aplique y la presencia de estos contaminantes en el suelo agrícola de la localidad de pedregal.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar la concentración de microplásticos y metales totales en suelos agrícolas y su correlación con el tipo de riego aplicado en la localidad de pedregal provincia de Caylloma, Arequipa.

1.4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un diagnóstico de los tipos de riego en la localidad de pedregal, Arequipa.
- Determinar el contenido de microplásticos y metales totales en muestras de suelo sometidas a diferentes tipos de riego en la localidad de El Pedregal, Arequipa.
- Correlacionar el contenido de microplásticos y metales totales en el suelo con el tipo de riego aplicado en la localidad de El Pedregal, Arequipa.

1.5. Variables e Indicadores

Tabla 1.

Operacionalización de variables

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medida	Unidad de medida
Tipo de Riego (Independiente)	Fuente de agua para uso en riego	Tipo de agua (superficial, residual, potable, etc)	Observación directa, ficha de recolección de datos, registro.	Fichas
	Método de riego	Riego por gravedad, inundación, goteo, aspersión, etc.	Observación directa	Fotografía
Contaminación por microplásticos (Dependiente)	Cantidad de muestra	Masa de muestra extraída	Balanza	Kg
	Microplásticos	Concentración de microplásticos (número de partículas por gramo de suelo)	Estereoscopio	Ítems/kg
Contaminación por metales totales (Dependiente)	Estructuras de microplásticos	Cantidad de distintos tipos de fragmentos (Pelets, fibras, Films, gránulos)	Estereoscopio	Ítems/kg
	Metales totales	Concentración total de metales totales (Pb, Cd, Fe, Hg, As, etc.)	IPC-MS	ppm (mg/kg)



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Deng y otros autores, (2025) en su indagación sobre los microplásticos, investigan los efectos a corto y largo plazo 30 y 270 días. Se realizó el muestreo en suelo marrón de la cumbre de Heyeping (China), para no interferir con las actividades humanas, las muestras fueron tamizadas por un tamiz de 2 mm eliminando piedras grandes y raíces, Para la incubación en suelo, se consideró la humedad usando agua estéril y se incubó durante 14 días a 25°C y 60% de humedad relativa y 200 g de suelo, en una mezcla de vidrio en los diferentes plazos. Realizaron el análisis de secuencia del gen ARn 16S. Obtuvieron como resultado que a corto plazo los microplásticos no alteran significativamente la diversidad microbiana, a comparación de largo plazo si alteran la composición microbiana del suelo. A diferencia de los microplásticos biodegradables liberan más derivados (materia orgánica disuelta y oligómeros), provocando cambios en la comunidad microbiana (Deng, W. et al, 2025).

En el suroeste de China, Wang, X. y otros autores en sus hallazgos más relevantes sobre como el uso del suelo influye en la presencia y distribución espacial de microplásticos, donde se recolectaron 53 muestras de suelo superficial (0-10 cm) de agricultura de instalaciones (invernaderos), tierras de cultivo convencionales y bosques, se realizó la separación por densidad y microscopios estereoscópicos para clasificar forma, tamaño, color y cantidad. Logrando como resultados polietileno (44.2%) y polipropileno (28.6%), de tamaño menores a 1 mm, predominando el color blanco (36.6%), transparente (24.6%), negro (22.2%). Concluyen que el tipo de suelo determina la abundancia y características de los microplásticos (Wang, X. et al. 2025).

En Reino Unido en un campo de Hartwood con un suelo franco-arcilloso arenoso, entre los años 1994 y 2019, las parcelas estudiadas fueron de 36 m², para la toma de muestras se

realizó en suelo superficial (0-25 cm), eliminando piedras y material vegetal, luego se secaron al aire y se tamizó, para la extracción se pasó a través del electroimán luego fueron examinados por un estereomicroscopio para posteriormente clasificarlos (color, fibra), en total se recuperó 5745 microplásticos en total. Cabe mencionar, que al pasar del tiempo el tamaño de los microplásticos reduce, así como el color del tinte de las microfibras (Ramge, S. et al, 2025).

Según Zhou, Y. y otros autores, evaluaron la composición, abundancia y distribución de microplásticos en suelos agrícolas en Xinjiang, China. Donde se recolectaron 300 muestras de suelo agrícola de 5 condados, tomando las muestras de la capa superficial del suelo (0-20 cm) entre 10 y 15 submuestras por punto, totalizando 2.5 kg por muestra. Posterior a ello se utilizó 10 gr. de suelo seco y tamizado, utilizando estereomicroscopía y espectroscopía. Obteniendo como resultados 32 tipos de polímeros, como el PE, PETF, PP, PET, de las fibras más comunes, films (79%), fibras (14%), fragmentos (6%) esferas (1.3%), y el tamaño del microplástico 50 a 5046 μm predominando el color blanco (57%) y transparente (24%), concluyendo que el uso agrícola de películas plásticas y el riego por goteo son las principales fuentes (Zhou, Y. et al. 2025).

De acuerdo a la investigación Xu y otros autores recolectaron 42 muestras de suelos en 4 tipos de tierra agrícola (hortalizas, capos de cultivo, campos de huertos y bosques), en cada parcela se recolectó muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm utilizando el método de muestreo de cinco puntos y se sellaron en bolsas de papel aluminio. Para la extracción e identificación de microplásticos se utilizó el método de Ding con solución saturada de CaCl_2 y NaCl y H_2O_2 y se detectaron 108 microplásticos mayores de 1 mm de color transparente y azul-morado (Xu, G. et al, 2025).

En el artículo de Liu, X. y otros autores, investiga como afecta a la comunidad de nematodos del suelo en un ecosistema de pradera alpina del Tíbet a distintas concentraciones de microplásticos de poliamida, donde se usaron microplásticos de poliamida de 150 μm en

cinco concentraciones: 0%, 0.1%, 5.0% y 10.0% (peso/peso), el tipo de suelo se incubó en maceta de cerámica y se enterraron parcialmente en campo durante un año, además de la comunidad de nematodos como abundancia, riqueza, diversidad, biomasa, índice ecológico y huellas metabólicas, y finalmente se aplicaron análisis estadísticos como ANOVA, PCA, NMDS y modelos de ecuaciones estructurales (SEM), obteniendo como resultados la abundancia y biomasa de nematodos estuvieron negativamente correlacionadas con el carbono orgánico del suelo y el nitrógeno total, y positivamente con el amonio, y que los microplásticos afectaron principalmente a los fungívoros, lo que a su vez alteró a omnívoros y depredadores en cascada (Lui, X. et al. 2025).

Tunali y Rillid, evaluaron la distribución vertical de los microplásticos (homogénea vs heterogénea) y su afectación sobre el crecimiento en las plantas, especialmente en la cebolla de verdeo (*Allium fistulosum*), usando las microfibras de poliéster (PES) al 0.4%, teniendo en consideración el control de microplásticos, la distribución homogénea y 3 niveles de distribución heterogénea, y en cada tratamiento se aplicó con y sin sequía, generando 10 combinaciones con 10 réplicas cada una. Obtuvieron como resultado, que el tratamiento homogéneo se observó una reducción del 50% en masa de brote bajo sequía, y la relación de C:N se incrementó en todos los tratamientos de bajo sequía (Tunali, M. & Rillig, M. 2025).

En la revisión bibliográfica de Liu y otros autores, recopilaron de datos seleccionaron 44 artículos sin embargo se optaron 33 artículos para la investigación, además categorizaron 4 covariables: 1. Tipo de microplásticos 2. Tamaño de microplásticos 3. Concentración de microplásticos 4. Duración de la exposición a microplásticos, así como las propiedades químicas que incluye el suelo. Para el análisis de datos, se utilizó un software R, obteniendo como resultados que los microplásticos influyen significativamente en aumento de materia orgánica del suelo, carbono orgánico disuelto y nitrógeno disponible en 31.84%, 14.35% y 12.45% respectivamente, además en reducción de nitrógeno nítrico y actividad fosfatasa en

12.89% y 6.62% respectivamente. Además, una reducción en la diversidad microbiana para bacterias en 3.52% y en hongos 9.57%. Para sobre los efectos en la fauna y flora del suelo, se incrementó el estrés oxidativo en lombrices y reducción del crecimiento vegetal (germinación, altura de plantas, biomasa total). En conclusión, la salud del suelo negro se redujo en promedio en un 12.09% debido a los microplásticos (Liu, Z. et al. 2025).

Sakin y otros autores (2025), en sus hallazgos más relevantes, evaluaron como los microorganismos, principalmente de los plásticos utilizados en invernaderos afecta la salud de los suelos agrícolas. Para esta investigación se analizaron suelos de invernaderos de entre 10 y 30 años de antigüedad en Türkiye, dando un enfoque en la concentración de microplásticos y su relación sobre parámetros químicos, biológicos y enzimáticos del suelo. La toma de muestras se realizó en suelo que se dedicaban principalmente en cultivos de tomates, pimientos y flores, en un rango de profundidad de 0 a 30 cm. en un área de 0.04 m², posteriormente se matizó de 1-2 mm y se colocaron en bolsas de aluminio y se almacenaron a +4°C. Se obtuvo como resultados la concentración de microplásticos aumentó con la antigüedad del invernadero de 192 a 315 partículas por 5 g de suelo, mientras que el grupo control tenía solo 47 partículas. Además, se estima una acumulación anual de 10 partículas por 5 g de suelo (Sakin, E. et al. 2025).

Pahlawan y otros autores, realizaron una investigación sistemática entre los años 2018 y 2024, donde identifican diversas variables que afectan la detención, como el tipo de suelo, contenido de materia orgánica humedad, y los distintos tipos de microplásticos, tal como el polímero, tamaño, color, entre otros. Además, el estudio aborda que los fragmentos de plástico en el suelo esta entre 1µm a 5 mm y generalmente para la detección de microplásticos requiere métodos destructivos y detallados que implica muestreo, aislamiento, análisis mediante espectroscopía FTIR, Raman o técnicas cromatográficas. Por lo contrario, se tiene la espectroscopía puntual, que mide la interacción de la luz con un punto del suelo, y las imágenes

hiperespectrales, que analizan amplias áreas del suelo y generan imágenes espectral tridimensionales. Por lo tanto, el artículo recomienda estandarizar los protocolos de preparación de muestras (Pahlawan, M. et al, 2025).

En España, Andrés y otros autores, (2024) revisaron 41 publicaciones científicas que documentas 56 estudios sobre suelos y 7 sobre aguas subterráneas, indicando que los microplásticos son ubicuos, hay pocas investigaciones sobre su presencia en suelos y acuíferos comparado con ambientes acuáticos (mares, lagos, ríos). Además, mencionan que la mayoría de los estudios se centran en suelos agrícolas, seguidos por urbanos, forestales y ribereños, cabe mencionar que, en suelos agrícolas, las fuentes principales son acolchados plásticos, lodos de depuración y aguas residuales. En cuanto a al muestreo, en su mayoría fue superficial (menos de 10 cm), pero algunos estudios han alcanzado hasta 200 cm en suelos ribereños, logrando identificar polietileno (PE) y polipropileno (PP) son los más comunes, predominando fibras y fragmentos de color blanco – transparente y negro. La técnica analítica usada fue FTIR, Raman, visual pirólisis – GC/MS y TOF-SIMS, teniendo como resultado concentraciones que varía desde 0 MP/kg hasta 690.000 MP/kg en suelos, y de 0.000033 a 38 partículas/ litro en aguas subterráneas. Se logró concluir que se observa una clara relación entre el uso del suelo y la presencia de microplásticos, y se necesita ampliar los estudios a más regiones geográfica (Andrés-Bercianos, R. et al, 2024).

Lwanga y otros autores, investigan sobre la abundancia, distribución y tipos de microplásticos (MP) presentes en diferentes matrices ambientales (suelo, agua, sedimentos y polvo del aire) en campos agrícolas en Países Bajos, la investigación se realizó en tres tipos de manejo, uso de acolchado plástico por más de 5 años, aplicación de compost por más de 5 años y campos sin estos manejos, además de las diferentes matrices ambientales, suelos agrícolas, agua utilizadas en la agricultura, sedimentos de zanjas de drenaje y polvo atmosféricos. Utilizaron la como metodología la extracción de microplásticos, realizando la separación por

densidad (uso de soluciones densas para separar microplásticos de materiales orgánicos e inorgánicos), y digestión de materia orgánica (uso de reactivos químicos para eliminar componentes orgánicos y facilitar la identificación de microplásticos); para la identificación se usó microscopía (observación de las partículas extraídas para determinar su morfología y tamaño), y la espectroscopía (técnica como FTIR o Raman para identificar la composición polimérica de las partículas). Teniendo como resultados, 11 tipos de microplásticos, siendo los más comunes polietileno de baja densidad (LDPE), plásticos con aditivos pro-oxidantes (PAC), PE, PP y PET. Finalmente, los autores indican que los plásticos no solo contaminan el suelo, sino que se transfieren al aire, al agua y a los sedimentos y que se las zonas con mayor biodiversidad del suelo son más vulnerables a la contaminación por microplásticos debió a su capacidad de transporte a través de la cadena trófica del suelo (Lwanga, E., et al, 2023).

Rezaei y demás autores, investigan como los microplásticos (MP) presentes en suelos agrícolas de una región semiárida del sur de Irán puede ser transportados por el viento, cómo las prácticas agrícolas influyen en su presencia y movilidad, Seleccionando dos campos agrícolas, como el cultivo de tomates cubiertos con acolchado plástico (nylon) y cultivo de tomates, pero con riego con agua residual tratada, ambos con clima árido/semiárido, y altas exposiciones a vientos. La toma de muestra se dio en dos profundidades, superficial (0–5 cm) y subsuperficial (5-15 cm), en cada campo se seleccionaron 5 parcelas y con diferentes muestras, además de analizar las propiedades del suelo (textura, pH y conductividad eléctrica). Los autores encontraron MP en todos los suelos, tanto en superficie (0-5 cm) como en profundidad (5-15 cm), sin diferencia significativa entre los campos ni entre profundidades, sin embargo, la concentración máxima fue de 1.1 MP/gr en suelo seco, en cuanto a los polímeros más comunes fueron nylon y polietileno tereftalato (PET). Es decir, los suelos pueden ser tanto sumideros como fuentes de microplásticos y la erosión eólica en regiones áridas pueden ser una vía importante de dispersión de microplásticos (Rezaei, M. et al, 2022).

Sa'adu, I. & Farsang en su investigación, cuantificaron y analizaron la contaminación por microplásticos y microplásticos, por lo cual utilizaron la metodología se divide en la selección y muestreo de sitios, y la extracción e identificación de microplásticos. En la primera parte se realizó la selección aleatoria de tres áreas dentro de una granja de invernaderos, en cada área se tomaron 4 muestras compuestas de suelo superficial (0-20 cm) y profundo (20-40 cm), además de 3 perfiles de suelo en intervalos de 20 cm hasta una profundidad de 40 cm, por último, se recolectó muestras de agua subterránea a una profundidad de 100 cm en los mismos perfiles. Para la segunda parte se realizó pretratamiento de las muestras, con la predigestión de materia orgánica, utilizando peróxido de hidrógeno al 30 % (H₂O₂), y separación por densidad con cloruro de zinc (ZnCl₂) para aislar los microplásticos, se finalizó con la identificación de microplásticos, por tamaño y tipo de polímero siendo los dominantes el polietileno y cloruro de polivinilo (PVC). Los resultados de la investigación indica que se encontró una masa total de 6.4 kg/ha de macroplásticos en el suelo de invernaderos, en cuanto a microplásticos en el suelo el tamaño dominante fue de 2-3 mm. y 300 +- 93 piezas/kg y 150 +- 76.3 piezas/kg, en las diferentes profundidades 0-20 y 20-40 respectivamente, y una concentración promedio 2.3 piezas/litro en microplásticos en agua subterráneas. Por lo mencionado los autores concluyen que, la agricultura bajo invernadero puede ser una fuente significativa de contaminación por macroplásticos y microplásticos en suelos agrícolas y aguas subterráneas, así como tener una correcta segregación de plásticos en las granjas de invernadero (Sa'adu, I. & Farsang, A. 2022).

De acuerdo a Beriot y otros autores (2021), examinaron la región de Murcia para investigar los microplásticos en la agricultura intensiva y su relación con la ingesta de cultivos, se tomaron muestras de suelo (1 – 10 cm) de 6 campos de hortalizas y se recolectaron heces de 5 rebaños de ovejas de campo y rediles. Usando como metodología la extracción de microplásticos por separación de densidad y observación con microscopio, cuantificando partículas por kilo de materia seca. Obteniendo como resultados que todos los suelos contenían

microplásticos (aproximadamente 2.116 partículas/kg), y que el 92% de las heces analizadas también contenían microplásticos (aproximadamente 997 partículas/kg) (Beriot, N. et al, 2021).

En el Perú, referente a las concentraciones de metales totales en agua, se realizó el análisis de concentraciones de metales totales en los Andes Centrales específicamente en sus ríos, para poder evaluar su potencial impacto sobre los ecosistemas acuáticos y salud de los pobladores (Custodio, M. et al. 2020); así mismo, en la región de Junín, se investigó la cuenca del río Mantaro, donde se logró identificar en aguas superficiales metales como Cu, Fe, Pb, Zn y metaloide As (Custodio, M., Alvarez et al. 2020); además, en las regiones altoandinas particularmente en las regiones de Cajamarca y Huancavelica se determinó contaminación por metales totales (Pb, Cd, As, Cu, Zn) en aguas superficiales (Santos-Francés, F. 2017), igualmente se determinó la contaminación de humedales por la presencia de metales totales como Pb, Cd, Zn en específico en sedimentos del ecosistema (Custodio, M. et al. 2021). Los suelos en nuestro país, según investigaciones también se encontró distintos tipos de metales totales, tal como la investigación en el Norte del Perú, que se evaluó la cantidad de metales totales y arsénico especialmente en las zonas aledañas de la explotación minera (Bech, J. et al. 1997); de igual manera, en las zonas altoandinas ubicada en los Andes Centrales, se identificó la presencia significativa de metales totales como Pb, Cd, As, Zn y Cu, representando una gran preocupación por sus consecuencias en la degradación ambiental, salud humana y seguridad alimentaria (Mendoza, E. et al. 2020), en la llanura Amazónica, se evidenció metales totales en el suelo relacionado principalmente por las actividades de minería aurífera aluvial (Ramírez, M. et al. 2020), de igual manera que en la región de Pasco se identificó una gran cantidad de áreas contaminadas por metales totales (Piñeiro, X. et al. 2021).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Plásticos

El plástico es un polímero sintético simple formado por pequeñas moléculas (monómeros) unidas en una formación repetitiva. Es extremadamente versátil, con propiedades que van desde resistencia a la corrosión, peso ligero, transparencia, hasta la flexibilidad y durabilidad, los tipos más comunes de plástico incluyen el tereftalato de polietileno (PET), el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y el cloruro de polivinilo (PVC) (Buteler, M. 2019). En su proceso de degradación, la mayoría de los plásticos nunca llegan a desaparecer por completo; en realidad, al degradarse, solamente se fragmentan en piezas más pequeñas (López-Aguirre, J. 2020).

Los plásticos se pueden clasificar según su estructura química en dos categorías principales: Plásticos termoestables y Termoplásticos, de acuerdo a la aplicación en la vida cotidiana (Meléndez Gallego, K. et al. 2022).

- **Plásticos Termoestables:** Son polímeros se caracteriza por su estructura reticulada permanente, es decir que, no se puede volver a moldear, tiene una mayor resistencia mecánica y térmica (Guerrero Ruiz, F. 2023).
- **Plásticos Termoplásticos:** Este polímero tiene las características de ser fundido con facilidad y volver a ser moldeados siempre y cuando estén expuestos a altas temperaturas (calor), lo que facilita su reciclaje (Bethencourt, A. 2024).

A. Clasificación según su composición química

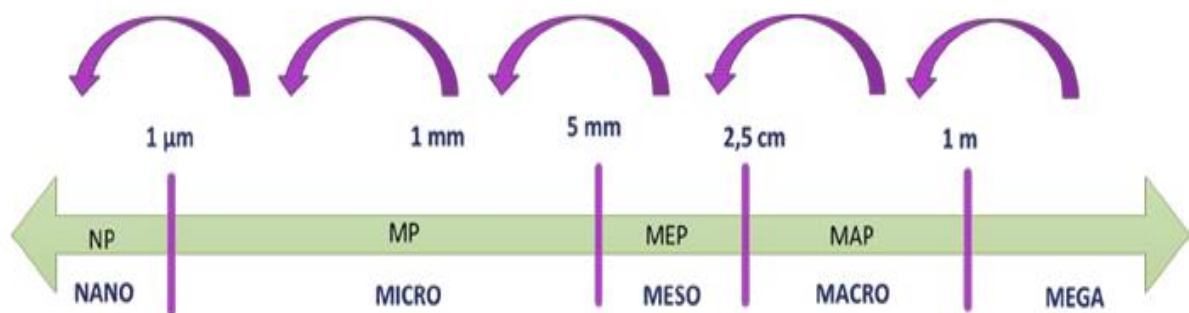
- a. **Naturales:** son primeros polímeros elaborados a partir de elementos pertenecientes a plantas o bacterias, mediante reacciones enzimáticas, que en su proceso de degradación liberan energía y nutrientes favoreciendo a otros organismos (Segura, D. et al. 2007), un ejemplo es el caucho (García Vargas, C. 2017).

- b. **Semisintéticos:** estos plásticos se obtienen a partir de modificaciones de materiales primarios (García Fernández-Villa, S. 2010), un ejemplo es el nitrato de celulosa (Costa, D. 2025) y el quitosano cuyo origen son los crustáceos (Baroudi Guijarro, A. 2024).
- c. **Sintéticos:** este polímero su incremento fue a partir del siglo XX (Fernández-Villa S. & Moya, M. 2006), y son de origen en su elaboración por el hombre (Costa, D. 2025), son polímeros de alto peso molecular, que tiene buenas propiedades térmicas, resistentes a la luz solar y a la oxidación (Perdomo, G. 2002).

2.2.2. Microplásticos

Los microplásticos (MPs) están presentes en diversas formas en el ambiente, incluido productos de belleza, neumáticos o ropa, los cuales se generan en su proceso de degradación ya que son fragmentos de plástico pequeños no superior a 5 mm de longitud (ONU, 2023), y no menos de 1 μm de tamaño. En la actualidad se clasifica en 5 tamaños de plástico los cuales se identifica en la siguiente figura 1.

Figura 1.
Escala de tamaños de plástico



Nota: Castañeta, G., et al. (2020).

A. Clasificación según su morfología

Los microplásticos comprenden un grupo diverso con características particulares como el tamaño, composición, forma, color (Figura 2). Los investigadores identifican cinco categorías principales, predominando pellets, fragmentos, fibras (Valencia, M. 2021).

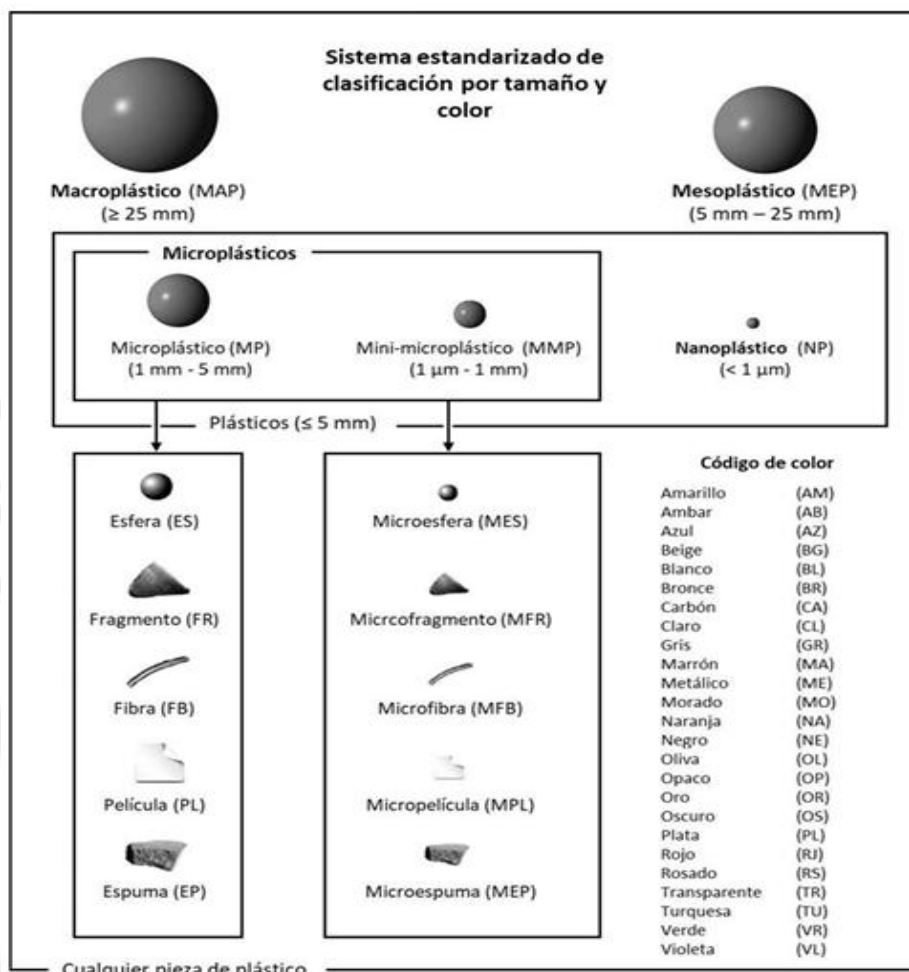
Tabla 2.
Categorías de microplásticos

Clasificación por morfología	Características
Fragmentos	Forma irregular
Fibras	Material largo fibroso
Film	Flexible, delgada y plana
Pellets	Forma lisa y dura
Esferas	Forma de bolitas pequeñas y flexible
Espumas	Forma casi esférica

Nota: Olmos, S. 2021

Figura 2.

Clasificación de plástico según tamaño y color



Nota: Manrique Muñante, R. 2019.

B. Subdivisión de microplásticos

- Microplásticos primarios:** Son utilizados intencionalmente para fines industriales Especialmente los pellets utilizados para productos personales (pasta dental, productos para cuidado de piel) (Sarria-Villa, R. 2016), también en productos de limpieza, cosméticos, pinturas, exfoliantes entre otros (Castañeda, G. et al. 2020).
- Microplásticos secundarios:** Son de mayor tamaño y se forman por la degradación química (oxidación), física (calor, luz, acción mecánica) y/o degradación microbial (Sarria-Villa, R. 2016).

C. Efecto sobre los ecosistemas

Los microplásticos afectan negativamente a los ecosistemas, alterando la estructura del suelo y agua, incluso logrando modificar comunidades microbianas, reducen la biodiversidad y provoca toxicidad en organismos generando la bioacumulación a lo largo de la cadena trófica (de Souza, et al, 2018).

D. Efecto en la salud

Los microplásticos afectan a la salud humana directamente, al ingresar al organismo por vía oral (ingestión), además dependiendo de la toxicidad de los microplásticos se catalogan como posibles carcinógeno para los seres humanos. (Pastor & Agulló, 2019).

2.2.3. Metales Totales

A. Características

Los metales totales son extremadamente tóxicos para el ambiente, teniendo características como: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, además tiene el potencial que permanecer en los ecosistemas por periodos largos, siendo difícil su degradación (Rodríguez, D. 2017).

El término de “metal pesado” se refiere como los elementos metálicos cuyo peso específico es mayor de 5 g/cm³ o 20 como número atómico (García Izquierdo, C. et al. 2002); actualmente también se considera la densidad, la masa atómica, y algunas propiedades químicas o de toxicidad (Rodríguez, D. 2019).

B. Fuentes de emisión

La mayoría de metales totales se encuentran en la corteza terrestre como componentes naturales, incrementándose con la presencia del hombre en sus procesos con metales (Rodríguez, D. 2017).

El incremento de las actividades industriales, genera un incremento en la emisión de metales totales al ambiente, tal como el uso de mercurio para la extracción de oro (Amador, L.R.T. et al. 2015); sin embargo, existen otras actividades y metales que se demuestran en la tabla 3.

Tabla 3.
Principales actividades industriales generadoras de metales totales

Industria	Metales	Contaminación derivada
Minería de metales ferrosos	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn	Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras
Extracción de minerales	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Presencia en las menas como en los subproductos
Fundición	As, Cd, Pb, Tl	Procesado del mineral para obtención de metales
Metalurgia	Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn	Procesado térmico de metales
Aleaciones y aceros	Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales. Relaves y escoriales
Gestión de Residuos	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Incineración de residuos o en lixiviados
Corrosión Metálica	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente
Galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu	Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento
Pintura y pigmentos	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn	Residuos acuoso procedentes de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja
Baterías	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg	Fluidos de la pila de residuos, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas

Industria	Metales	Contaminación derivada
Electrónica	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn	Residuos metálicos acuosa y sólidos desde el proceso de fabricación y reciclaje
Agricultura y Ganadería	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu	Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas, la bioacumulación planta

Nota: Caviedes Rubio, D. et al. 2015

C. Efecto sobre el ecosistema

La presencia de metales totales en los ecosistemas en su mayoría tiene efectos negativos (Novoa Villa, H. et al. 2022), comprometiendo la salud de los ecosistemas teniendo efectos directos sobre los seres vivos (Mussali-Galante, P et al. 2013); así como, en las concentraciones de metales en diferentes cuerpos de agua incluidos los sedimentos de los ecosistemas fluviales (Marqués, M. et al 2001). Es decir, que los metales totales al ingresar a los ecosistemas se genera la biomagnificación y bioacumulación en las diferentes especies.

En el Perú, existe los Estándares de Calidad Ambiental, los cuales se especifican en la tabla 4.

Tabla 4.
Parámetros de Calidad establecidos por el MINAM

Parámetros en mg/KgPS	ECA para suelo agrícolas
Arsénico	50
Bario	750
Cadmio	1.4
Cromo total	**
Cromo VI	0.4
Mercurio	6.6
Plomo	70
Cianuro Libre	0.9

Nota: MINAM, 2017

D. Efecto en la salud

Los metales totales ingresan al organismo del hombre principalmente por la cadena trófica al ingerir alimentos que, en su mayoría de origen marino, también por consumir agua (Octavio-Aguilar, P. 2022).

A raíz de la ingesta de metales totales en el organismo del ser humano, y su alta toxicidad afecta directamente al sistema nervioso, riñones, hígado; teniendo el riesgo potencial de producir cáncer (Moreno Fernández, M. 2018).

2.2.4. Métodos de caracterización

A. Microplásticos

a. Física

Para la caracterización física se utiliza un microscopio estereoscópico para poder identificar y cuantificar (abundancia) de microplásticos, así como el color, tamaño y forma (Mendoza-Olea, I. et al. 2022).

B. Metales Totales

a. Espectroscopia de masa por inducción por plasma

Actualmente, la espectrometría de masa con plasma (ICP-MS), es el método es el más eficaz para la cuantificación de metales (Bailey, R. et al. 2003), combinando la ionización de los elementos en plasma de argón en función a la relación masa/carga, proporcionando mayor precisión (Pawlaczyk, A et al. 2018). Para definir la sensibilidad del método se considera lo siguiente:

- **Límite de cuantificación del método L.C.M.:** se define a la concentración más baja a la que el analito no solo es detectable, sino, cuantificable con una precisión y exactitud aceptable (Gegenschatz, S. et al, 2022).

- **Límite de detección del método L.D.M.:** se define a la concentración más baja de analito que puede distinguirse al ruido del blanco con un nivel de confianza definido (Gegenschatz, S. et al, 2022).

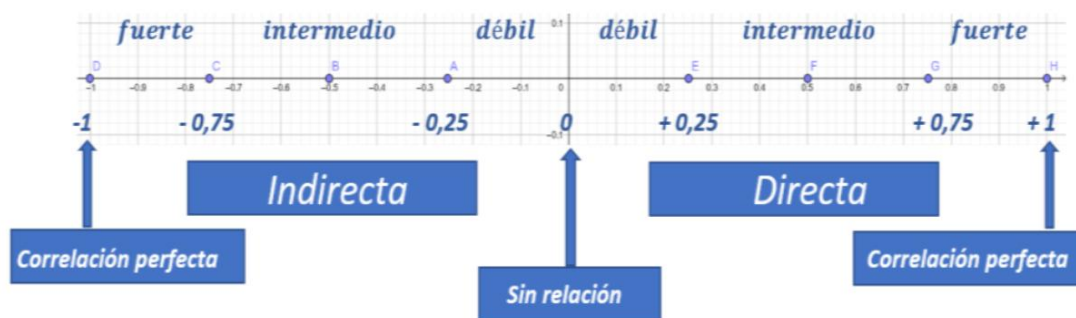
Los metales más relevantes para estudio se representan en anexo 1.

C. Herramientas estadísticas para la correlación

El análisis estadístico es una etapa fundamental para estudio de contaminación ambiental, ya que permie relaciona variables fisicoquímicas y contaminantes, tales como microplásticos y metales totales. Las herramientas de correlación de Pearson es un método estadístico que propone evaluar la relación entre dos variables lineales, sin importar su relación directa o indirecta; la correlación Spearman, evalúa dispersiones no lineales (Pinilla, J. & Rico, A. 2021).

- **Correlación de Pearson:** también conocido como coeficiente de correlación del producto-momento, representado por la letra r , mide la naturaleza y fuerza de dos variables cuantitativas, con valores entre -1 y +1 (Fiallos, G. 2021).

Figura 3.
Valor de coeficiente de correlación de Pearson



Nota: Fiallos, G. 2021

Donde:

- $r = 0$, ausencia de relación
- $r > 0$, correlación positiva (ambas variables aumentan)

- $r < 0$, correlación negativa (una variable aumenta mientras la otra disminuye)
- **Correlación de Spearman:** no siguen una distribución normal o presenta valores atípicos, adoptando valores reales entre +1 y -1 (Rebollar, A.M. & Francisco, W.C. 2015).

Tabla 5.
Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Nota: Rebollar, A.M. & Francisco, W.C. 2015

2.2.5. Riego

A. Tipos de riego

Existen 7 tipos de riego que son utilizados para abastecerse del recurso hídrico para los cultivos en nuestro país, los cuales se pueden identificar en la tabla 6.

Tabla 6.

Tipos de riego en agricultura

Clasificación	Tipo	Descripción
	Tendido o por inundación	Riego más antiguo que se aplica en cultivos, sin embargo, solo se aprovecha en su totalidad del agua. El suelo tiene que estar nivelado.
	Platabandas o bordes	Es un método que no es difundido, se requiere tener un gran caudal con desnivel de 2 a 3%, además el agua no puede pasar los bordes. El suelo tiene que estar nivelado.
Superficial por aplicación	Surcos	Es un método más eficiente, se aprovecha el 50% del agua utilizada, además, se considera el largo, separación entre surcos y la cantidad de agua a utilizar. El suelo tiene que estar nivelado.
	Curvas de nivel	Se acomoda al nivel y forma del terreno
Tecnificado o presurizado de aplicación	Aspersión	Método mecanizado, ya que necesita presión para mover el agua, para que sea efectivo se requiere un buen diseño del equipo, no requiere suelo nivelado.
	Goteo	Método de riego localizado en forma de gota directa en el cultivo, se adapta a cualquier suelo, tiene eficiencia entre el 90 a 95%.
	Microjet	Sistema artesanal que distribuye el agua de forma uniforme, se requiere de una altura mínima de 2 m. y se aprovecha un radio de 4 m.

Nota: Minagri. 2015

B. Relación de riego con la acumulación de microplásticos y metales totales

El agua es un componente esencial para los sistemas agrícolas, este recurso hídrico aporta el crecimiento en los cultivos, sin embargo, se ha convertido en un medio de transporte de microplásticos y metales totales (Cuenca Castillo, M & Mayancela Guiracocha, M. 2023). Esta relación se ve reflejada en la calidad del suelo y la inocuidad de los alimentos.

C. Influencia climatológica

El Pedregal se ubica en zona donde predomina el clima seco/subtropical, alta radiación solar y vientos moderados a fuertes que aumenta la relevancia de la suspensión; por lo tanto, en el riego por aspersión las gotas de agua dispersas pueden movilizar los microplásticos y metales totales; mientras que, el riego por goteo se aprecia la acumulación puntual y aumenta el transporte vertical. (Du, A. et al. 2024). Es decir que, la climatología seca y ventosa aumenta la entrada de microplásticos y metales totales en el suelo.

2.3. Marco legal

2.3.1. Internacional

- **Convenio de Basilea – Enmienda de 2019: Regulación técnica de los residuos plásticos**

Esta enmienda entró en vigor en enero de 2021, donde su objetivo fundamental es en el tratamiento jurídico y técnico de residuos plásticos, dado que se busca una regulación rigurosa sobre los residuos plásticos, para fortalecer la gobernanza ambiental internacional y lograr reducir la contaminación de plásticos a nivel global.

- **Acuerdo de Paris (2015)**

Este convenio tiene un enfoque integral sobre la salud de los ecosistemas, en el cual resalta la preservación de una agricultura sostenible; por ello, esta investigación busca identificar los ecosistemas con posible presencia de contaminación por microplásticos.

- **Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015)**

Se puede mencionar al ODS 2, relacionado a hambre cero, con las metas 2.4, ya que busca una producción de alimentos sostenibles en prácticas agrícolas; y la ODS 12, referido a la producción y consumo responsable, con las metas 12.4 y 12.5, que busca la gestión ecológica de los productos químicos y reducir la generación de desechos. Es indispensable la aplicación de ODS para la investigación, para lograr el cumplimiento de la agenda 2030.

2.3.2. Nacional

- **Ley N°28611 - Ley General del Ambiente – MINAM**

La presente ley garantiza el derecho de todas las personas a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida. El desarrollo de esta investigación permitirá practicar de una forma adecuada esta ley; y a su vez mejorar la gestión de ecosistemas agrícolas.

- **Ley N°1278 – Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**

Es de importancia dicha ley, debido a que su objetivo es minimizar a generación de residuos plásticos, que al no ser gestionados adecuadamente con el tiempo se fragmentaran en su proceso de degradación convirtiéndose en partículas pequeñas, conocidos como microplásticos. Una de las principales fuentes de contaminación por microplásticos se genera por una deficiente segregación de residuos plástico, es por ello que esta investigación permitirá analizar si en la zona de estudio se está aplicando y requiere mayor enfoque de dicha ley.

- **Ley N°30884 – Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartable**

Esta ley tiene como objetivo reducir progresivamente el uso de plástico de un solo uso y afines, dado que su vida útil es corta y difícil degradación. De forma específica, esta ley busca la prohibición de la fabricación, importación, distribución y comercialización, con el propósito

de mitigar su impacto negativo sobre los ecosistemas y salud pública. Por lo tanto, esta ley da como oportunidad de fomentar una cultura sostenible y responsabilidad ambiental.

- **Ley N°31189 – Ley para fortalecer la prevención, mitigación y atención de la salud para la contaminación con metales totales y otras sustancias químicas**

La presente ley tiene la obligación de llevar un control y manejo adecuado sobre la presencia de metales pesado en ecosistemas naturales cuando sobrepasen los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), esto se debe a que al transcurso del tiempo estos contaminantes tienden a generar efectos negativos para el ecosistema y para la salud de las personas expuestas. Esta investigación, permitirá identificar las áreas contaminadas para posteriormente ser remediadas.

2.3.3. Regional

- **Ordenanza N°421 – AREQUIPA: Actualización del Sistema Regional de Gestión Ambiental**

Esta ordenanza tiene su objetivo fortalecer la gestión ambiental de la región, estableciendo lineamientos y mecanismos para lograr una supervisión rigurosa en las actividades productivas que generen directa o indirectamente metales totales. Además, su enfoque es la prevención, monitoreo y control de la contaminación sobre estos tipos de contaminantes.



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. Tipo y Nivel

a. Tipo de investigación

La investigación según el enfoque es cuantitativa, según (Del Canto & Silva , 2013) se distingue por la forma en que estudia la percepción de la realidad, se basa en evidencias, donde se tiene que recolectar datos, por tal motivo el proceso de investigación es riguroso, debido a que la información recogida es estructurada y sistematizada. Así como, Aplicado según Vargas (2009) se distingue por la forma en que estudia la realidad social y utiliza sus hallazgos para mejorar la estrategia y acciones tangibles, en el desarrollo y mejora de estos, así como permitir que surjan conocimientos creativos e innovadores.

b. Nivel de investigación

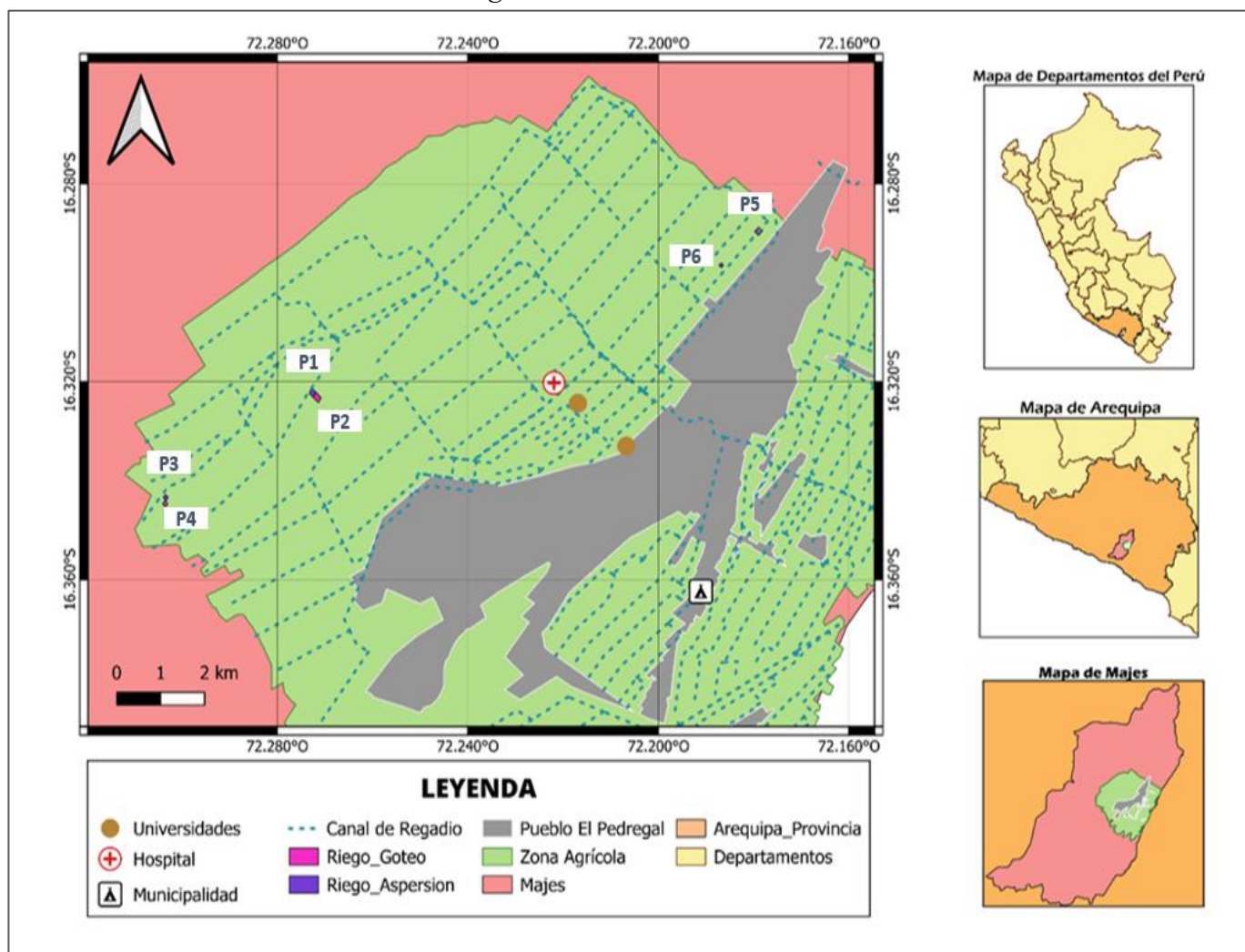
El nivel es descriptivo, porque se identifica y caracteriza la presencia de microplásticos y metales totales. Además de ser correlacional, porque se analiza la relación entre el tipo de riego y la acumulación de los contaminantes a estudiar.

3.2. Área de estudio

La localidad de El Pedregal se encuentra geográficamente ubicada a $16^{\circ}21'34.69''$ S, $72^{\circ}11'21.74''$ O a una altitud de 1410 m.s.n.m. Siendo parte del distrito de Majes, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa; con 1 459 hectáreas aproximadamente de campo agrícola.

En la siguiente figura 4 se puede apreciar una imagen satelital, seleccionando los campos agrícolas, así como una tabla de los puntos de los diferentes predios a estudiar de la localidad de El Pedregal.

Figura 4.
Ubicación de la localidad de Pedregal



Nota: Elaboración propia tomado del Software QGis

Tabla 7.
Puntos de predios agrícolas de la localidad de Pedregal según el tipo de riego

CODIGO	TIPO DE RIEGO	COORDENADAS
P1	Aspersión	Longitud: -72.3044780 Latitud: -16.3411430
P2	Goteo	Longitud: -72.305643 Latitud: -16.343062
P3	Aspersión	Longitud: -72.305815 Latitud: -16.343258
P4	Goteo	Longitud: -72.2726400 Latitud: -16.3214070

CODIGO	TIPO DE RIEGO	COORDENADAS
P5	Goteo	Longitud: -72.2159810 Latitud: -16.3116780
P6	Aspersión	Longitud: -72.1796280 Latitud: -16.2899360

Nota: Elaboración propia a partir de las ubicaciones de las parcelas

3.3. Diseño de la Investigación

El diseño utilizado en la investigación es no experimental – transversal, dado que no se van a manipular las variables, se va a observar cómo actúan los microplásticos y metales totales en el suelo con distintos tipos de riego.

Se realizará diferentes tomas de muestra a distintas profundidades de suelo para determinar posteriormente la correlación de nuestras variables.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En la presente investigación la población está conformada por los suelos agrícolas sometidos a diferentes tipos de riego de la localidad de El Pedregal, provincia de Caylloma, Arequipa.

3.4.2. Muestra

La investigación tiene un muestreo no probabilístico, seleccionada en función de los distintos tipos de riego y la accesibilidad de los predios agrícolas. Se recolectarán muestras de suelo, teniendo en consideración la distribución equitativamente en diferentes tipos de riego.

Con el objetivo de asegurar la comparabilidad entre los predios agrícolas evaluados, la selección de las parcelas se realizó considerando condiciones similares de uso del suelo, tipo de cultivo predominante, manejo agrícola y sistema de riego aplicado, de acuerdo con la información recopilada mediante la ficha de recolección de datos aplicada a los propietarios y

encargados de los predios. Asimismo, se priorizó la accesibilidad y el consentimiento informado de los agricultores para la ejecución del muestreo, manteniendo un criterio homogéneo en la selección de los campos agrícolas evaluados.

El muestreo de suelo se efectuó de manera sistemática en dos profundidades representativas del horizonte superficial agrícola (0–10 cm y 10–20 cm), debido a que estos estratos concentran la mayor actividad agrícola y constituyen zonas de acumulación potencial de microplásticos y metales totales, según lo reportado en estudios previos y en concordancia con los objetivos del estudio.

Para cada predio agrícola se recolectaron tres muestras compuestas de suelo, obtenidas a partir de cinco submuestras distribuidas homogéneamente en un radio aproximado de 10 cm, lo que permitió reducir la variabilidad espacial del suelo. En total, se analizaron nueve muestras de suelo por tipo de riego (aspersión y goteo), garantizando una representación equilibrada de ambos sistemas de riego evaluados en la localidad de El Pedregal.

Esta estrategia de muestreo permitió minimizar la influencia de factores externos no controlados y asegurar que las diferencias observadas en la concentración de microplásticos y metales respondan principalmente al tipo de riego aplicado, fortaleciendo la validez metodológica del análisis comparativo desarrollado en la investigación.

3.5. Método de la investigación

3.5.1. Desarrollo de un diagnóstico de los tipos de riego en la localidad de pedregal, Arequipa.

A. Selección de Predios

Se aplicó una ficha de recolección de datos a los dueños y/o encargados de los predios agrícolas, con disposición a responder la ficha, poder obtener información acerca del tipo de riego que se utiliza en los cultivos con énfasis en el tiempo que vienen desarrollando esta

actividad y la frecuencia de riego, teniendo los siguientes métodos de recolección de información especificados en la tabla 8.

Cabe mencionar, que se empleó la ficha de recolección de datos debido a que es un instrumento adecuado para la información proveniente de observación directa o registros de campo, para permitir organizar de manera sistemática variables como la ubicación del muestreo, tipo de riego, condiciones del suelo.

Tabla 8.
Métodos de recolección de datos

Indicadores	Actividades	Formula o método aplicado
Tipo de riego	Se obtuvo el tipo de riego que utiliza por cultivo. Se aplicó la ficha para identificó el nivel de conocimiento de uso de agua para agricultura	Ficha de recolección de datos
	Se evaluó visualmente el tipo de riego in situ	Análisis visual

Para la ficha de recolección de datos a los dueños y/o encargados de los diferentes predios a encontrar se especifican en el anexo 2.

La selección de predios fue por muestreo aleatorio, por la facilidad de ingreso.

En base a esta información se seleccionó 3 predio por cada tipo de riego (6 muestras de agua totales), donde se desarrolló la actividad de recolección de muestras previo consentimiento de los propietarios.

B. Analizar el caudal y metales totales, según tipo de riego

Se utilizó el método de volumen-tiempo o “bucket method”, o más conocido como el método de la probeta, que se utiliza para medir caudales pequeños (FAO).

- Se seleccionó el punto de medición por tipo de riego

- Estratégicamente se colocó una probeta con volumen de 10 ml. debajo de la descarga de flujo.
- Se inició el cronómetro al mismo instante, hasta llenar la probeta.
- Se calculó el caudal por cada predio.

Se analizó el parámetro de metales totales de agua por medio del servicio de un laboratorio externo por la técnica de ICP-MS, la lista de metales se incluye en el anexo 1.

Cabe mencionar que la presente investigación no se incluyó el muestreo directo de agua de riego debido a que el objetivo principal estuvo orientado a evaluar la acumulación e interacción de microplásticos y metales totales en el suelo agrícola; desde la perspectiva de la química ambiental, el suelo constituye el principal sumidero geoquímico de contaminantes transportados por el agua de riego, ya que se integran procesos de adsorción, precipitación, retención física y transformación biogeoquímica (Sparks, 2022).

Además, que el diseño experimental compara tipos de riego (aspersión y goteo) desde su efecto de acumulación en el suelo. Así mismo, ambos tipos de riego emplean una misma fuente hídrica; por lo tanto, la variabilidad observada responde principalmente a diferencias en la dinámica de infiltración, distribución hídrica y retención edáfica, variables que se manifiestan directamente en el suelo.

3.5.2. Determinación del contenido de microplásticos y metales totales en muestras de suelo sometidas a diferentes tipos de riego en la localidad de pedregal, Arequipa.

A. Obtención de la muestra de suelo agrícola

Se delimitó el número de muestra (03 muestra) por cada campo agrícola, en un radio de 10 cm (Hossain. et al. 2023), con la extracción de 05 submuestras, logrando recolectar así 100 gr. de cada muestra (Junhao, et al. 2021), en recipientes de aluminio en el caso de microplásticos y en bolsas ziploc en caso de metales totales. Se rotuló y se trasladó las muestras

(Guía de Muestreo de Suelos. 2014), para ser llevados a analizar a los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María.

B. Caracterización de microplásticos:

Con el fin de obtener información acerca de la caracterización y composición de los plásticos encontrados en el suelo, se procedió a realizar el siguiente proceso:

i. Pretratamiento de las muestras

- **Secado:** Posteriormente de la recepción de muestras en laboratorio se realizó el secado en horno durante 15 min a 72 horas, a una temperatura de 40 – 65°C (Kadac – Czapska. et al. 2023).
- **Tamizado:** Con una malla de acero de 2 mm, se agitó constantemente y descartó los residuos que se quedaron por la malla (Jia, et al. 2022).

ii. Procesamiento y Aislamiento

- **Digestión:** Se colocó 5 gr. de suelo en un vaso precipitado con 30 ml. de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30%, por un periodo de 3 horas. Posteriormente se llevó al horno a 50°C, esperando a que se sedimente o durante 18 a 24 horas (Jia. et al. 2022).
- **Separación por densidad:** Se aplicó 200 ml cloruro de sodio (NaCl), con una molaridad de 5 M con una solución saturada de 1.2 g/cm^3 de densidad. Seguidamente, se colocó en un agitador con su agitador magnético por el periodo de 30 minutos, después se dejó la muestra por 24 horas a temperatura ambiente para su asentamiento (Jia, et al, 2022).
- **Filtración:** Se filtró con un papel filtro GF/F (0.45 μm , 47 mm \varnothing) en una bomba de vacío (Christian & Köper, 2023).

iii. Caracterización física

Se realizó una inspección visual de los microplásticos con ayuda de un estereoscopio, realizando la observación con el método de barrido iniciando por la parte superior izquierda y bajando lentamente en forma zigzag completando el análisis de toda la muestra, principalmente se tomó como datos el color, tamaño, tipo y contabilizó la cantidad de partículas.

- **Tipo:** Fibra, fragmento, filamento, entre otros.
- **Tamaño:** microplástico, mini-microplástico, manoplástico.

C. Determinación de metales totales:

i. Determinación de metales totales por ICP

Se contó con el servicio del laboratorio de control de calidad de la Analytical Laboratory E.I.R.L. (ALAB) ICP-MS. Se cuenta con los certificados de acreditación, anexo 3.

3.5.3. Correlación del contenido de microplásticos y metales totales en el suelo con el tipo de riego aplicado en la localidad de pedregal, Arequipa.

A. Comparación de resultados con normativa

Con los valores obtenidos de las concentraciones de metales totales se realizó la comparación según los Estándares de Calidad Ambiental de Suelos, pertenecientes al tipo de uso de suelo agrícola.

B. Análisis de Correlación

Previo al análisis de correlación, se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que el tamaño de muestra fue menor a 50 observaciones ($n = 9$ predios por tipo de riego). Esta prueba permitió evaluar la distribución de los datos de microplásticos y metales totales.

En función de los resultados de normalidad:

- Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson cuando los datos presentaron distribución normal y cumplieron con los supuestos de homocedasticidad.

- Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman cuando los datos no cumplieron con el criterio de normalidad.

Sin embargo, es importante precisar que no se realizó un análisis de metales totales como una variable integrada, debido a que cada metal presenta propiedades fisicoquímicas, comportamientos ambientales y dinámicas de movilidad distintas en el suelo, lo que impide su adecuada representación mediante una suma o un valor promedio conjunto. Por este motivo, los metales fueron evaluados de manera individual, evitando la agregación de datos heterogéneos que podría inducir a interpretaciones erróneas.

En consecuencia, no se consideró necesario evaluar la presencia de relaciones espurias, ya que el análisis estadístico no se basó en un indicador global de metales totales, sino en la evaluación individual de cada metal determinado. De esta manera, el análisis se centró en la relación entre el tipo de riego y la presencia de microplásticos en el suelo, así como en la interpretación independiente de los resultados obtenidos para cada metal, sin incorporar un análisis de correlación conjunta entre microplásticos y metales totales.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Desarrollo de un diagnóstico de los tipos de riego en la localidad de El Pedregal, Arequipa.

A. Selección de Predios

De acuerdo a la ficha de recolección de datos (anexo 2 realizada a los dueños y/o encargados en los predios se obtuvo como resultados lo siguiente:

Tabla 9.

Participación voluntaria de los dueños y/o encargados de las parcelas

Participó de manera voluntaria	N°	%
Si	6	100
No	0	0
TOTAL	6	100

Tabla 10.

Autorización de respuestas para uso académico

Fines académicos	N°	%
Si	6	100
No	0	0
TOTAL	6	100

La tabla 9 y 10 muestran que el 100% de los dueños y/o encargados de las parcelas a estudiar están participando de manera voluntaria y autorizan sus respuestas para fines académicos. De lo que se deduce que están dispuestos a colaborar en el presente estudio.

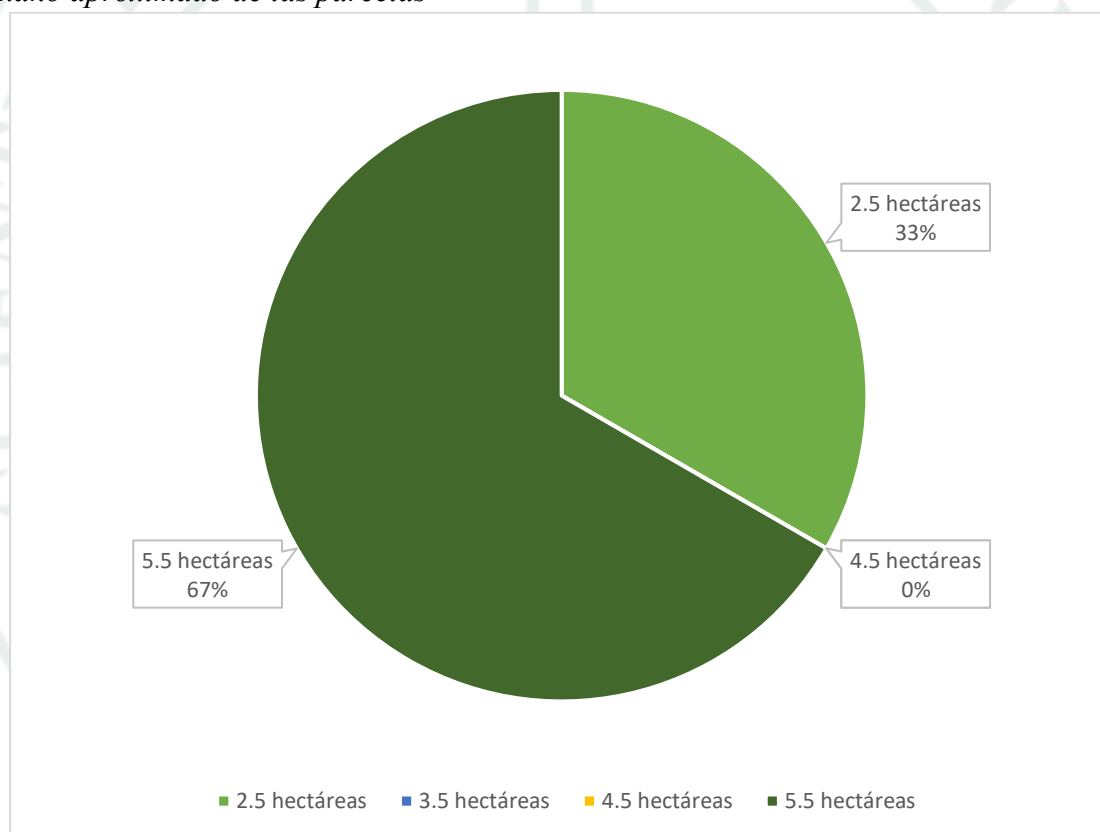
Tabla 11.

Tamaño aproximado de las parcelas

Tamaño	N°	%
2.5 hectáreas	2	33.3333333
3.5 hectáreas	0	0
4.5 hectáreas	0	0
5.5 hectáreas	4	66.6666667
TOTAL	6	100

Figura 5.

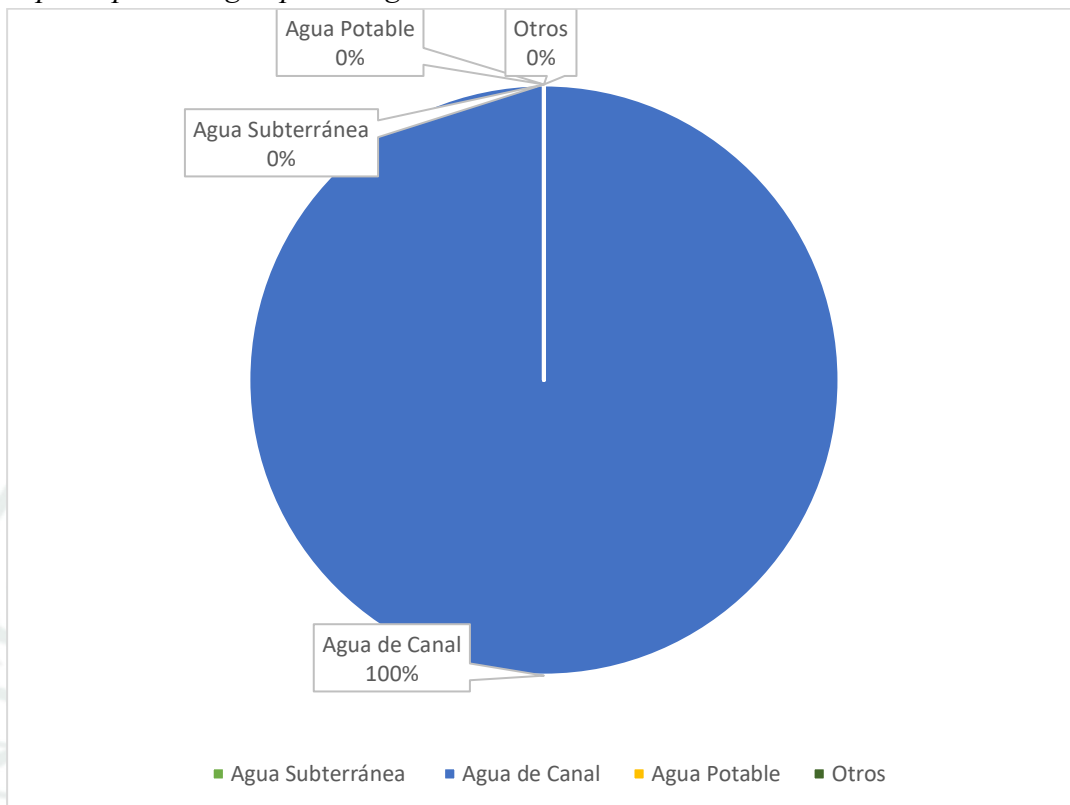
Tamaño aproximado de las parcelas



En la tabla 11 y figura 5 se observa que el 33.33% representa la cantidad de 2 parcelas a estudiar con un área de 2.5 hectáreas cada una; mientras que el 66.66% se representa a 4 parcelas con un área de 5.5 hectáreas para estudiar.

Figura 6.

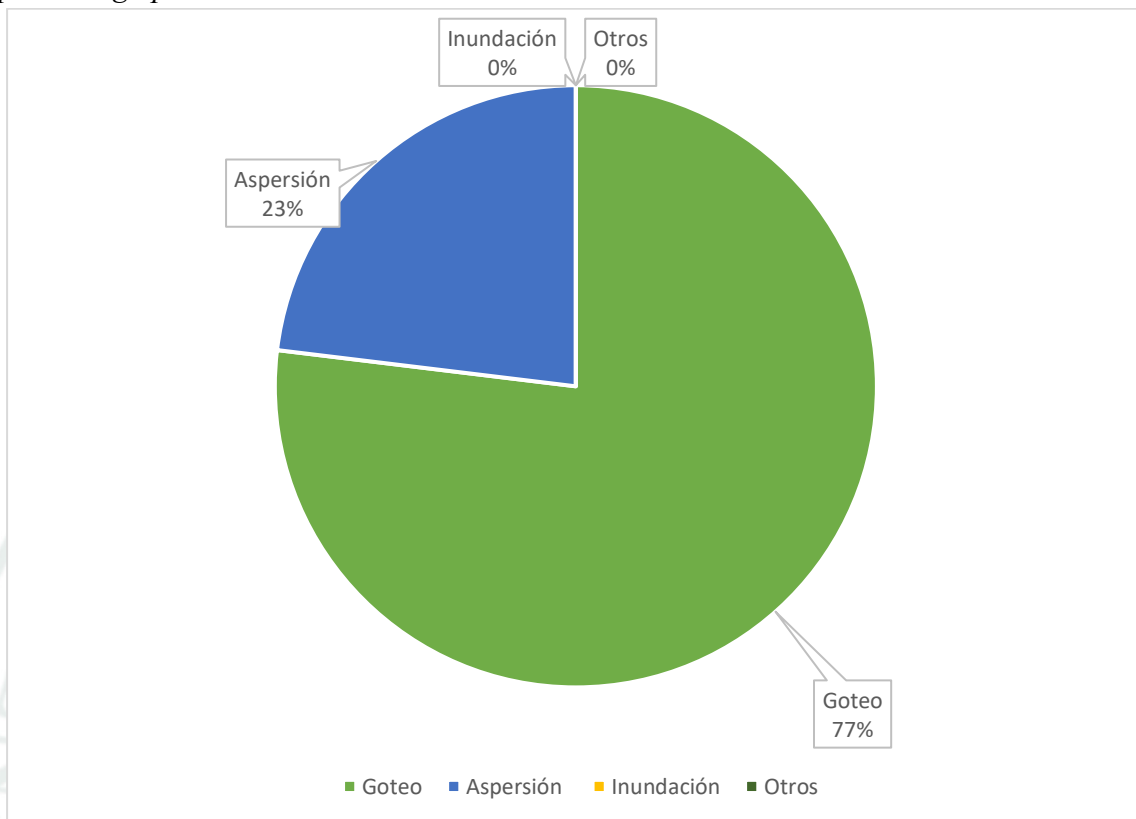
Fuente principal del agua para riego



En la figura 6 se observa que el 100% de los dueños y/o encargados de las parcelas en El Pedregal, utilizan agua de canal para el riego de sus parcelas.

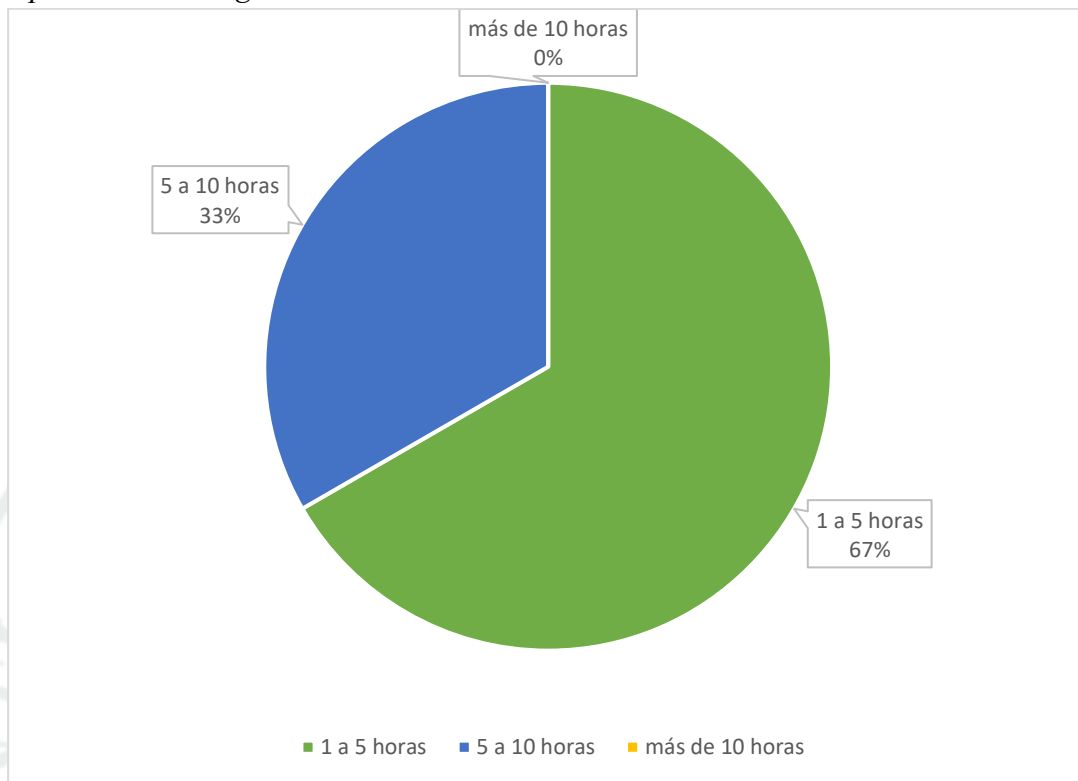
Por lo cual se deduce que la irrigación en Majes en El Pedregal proviene de la represa de Condoroma y 102 km de túneles y canales trasvase de las aguas de río Colca (AUTODEMA. 2017).

Figura 7.
Tipo de riego predominante



En la figura 7 se observa que el riego predominante es por goteo, esto se debe por la cantidad de agua disponible para la irrigación de El Pedregal. Además, las autoridades vienen mejorando las prácticas de riego para programar la cantidad de agua para cada uno de las parcelas, siendo el más óptimo el riego por goteo, con la finalidad de tener un uso eficiente del recurso hídrico (AUTODEMA, 2024).

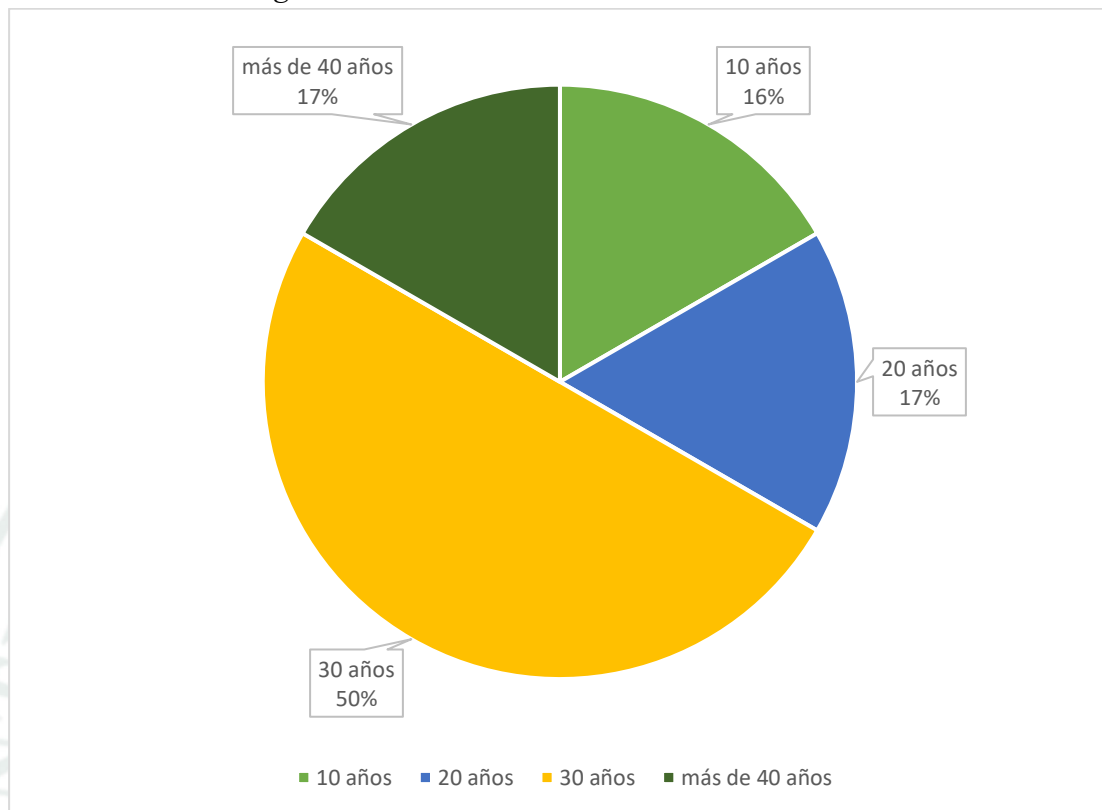
Figura 8.
Horas promedio de riego



En la figura 8 se observa que el 66.66% tiene como riego de 1 a 5 horas en el transcurso del día, mientras que el 33.33% tiene como riego de 5 a 10 horas en el transcurso de día.

De lo que se deduce que utilizan menos horas de riego por la cantidad disponible de agua para la irrigación de Majes en El Pedregal (AUTODEMA,2024).

Figura 9.
Frecuencia de uso de riego



En la figura 9 se puede observar que el 50% de los predios a estudiar son utilizados para cultivos por el periodo de 30 años, mientras que el 17% de los predios han sido utilizados para cultivos hace 20 años y más de 40 años, y que el 16% solo son utilizados para cultivos hace 10 años.

De lo que deduce es que la mayoría de las parcelas han sido utilizadas para cultivos y viene practicando estas actividades ente los 30 a 40 años aproximadamente, mientras que el resto recién llevan de 10 a 20 años con prácticas de cultivo.

Cabe mencionar que los dueños y/o encargados de los predios, aproxima el tiempo de uso de suelo agrícola a partir que ellos se hicieron cargo. Además, indican que anteriormente se utilizaba el riego por aspersión y que en la actualidad se está tomando nuevas prácticas de riego siendo el más favorable para todo el riego por goteo.

B. Analizar el caudal y metales totales, según tipo de riego.

Se determinó el caudal para cada parcela y diferenciando el tipo de riego

Tabla 12.

Caudal de los predios

Parcela	Tipo de Riego	Caudal (L/m)
Parcela N°1	Aspersión	0.00067
Parcela N°2	Goteo	0.13846
Parcela N°3	Aspersión	0.02608
Parcela N°4	Goteo	0.00800
Parcela N°5	Goteo	0.01016
Parcela N°6	Aspersión	0.03749

En la tabla 12 se puede apreciar dos tipos de riego por aspersión (Parcela N°1, 3 y 6) y riego por goteo (Parcela N°2, 4 y 5) en relación con el caudal que oscila entre 1.111×10^{-8} y $2.3077 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$.

El riego por goteo presenta caudales mayores ($2.3077 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$), debido a la mayor presión localizada; mientras que, el riego por aspersión muestra caudales menores relacionado por el flujo disperso desde el punto de descarga.

Tabla 13.

Comparación de resultados de análisis de metales totales con los ECAs de calidad de agua

Parámetros	Unidad de medida	Resultados Obtenidos						Cat. 3: Riego de vegetales y bebida de animales Agua de riego
		Riego por Aspersión			Riego por goteo			
		P1	P3	P6	P2	P4	P5	
Aluminio	mg/L	0.17784	0.22823	0.18589	11.28154	0.18101	0.22518	5
Antimonio	mg/L	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	0.02
Arsénico	mg/L	0.02258	0.02153	0.02031	0.04973	0.02167	0.02186	0.01
Bario	mg/L	0.02469	0.0262	0.02445	0.30034	0.02514	0.02477	0.7
Berilio	mg/L	<0.000300	<0.000300	<0.000300	<0.000300	<0.000300	<0.000300	0.1
Boro	mg/L	0.4828	0.4955	0.4644	0.5559	0.4834	0.4812	1
Cadmio	mg/L	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	<0.00020	0.01
Cobalto	mg/L	<0.0020	<0.0020	<0.0020	0.0536	<0.0020	<0.0020	0.05
Cobre	mg/L	0.00188	0.00123	0.00143	0.02824	0.00208	0.00151	0.2
Cromo	mg/L	<0.000300	<0.000300	<0.000300	0.006755	<0.000300	<0.000300	0.1
Hierro	mg/L	0.0951	0.1806	0.103	9.9078	0.1254	0.1507	5
Litio	mg/L	0.0907	0.09296	0.08803	0.11989	0.09195	0.09174	2.5

Manganeso	mg/L	0.02857	0.0158	0.001693	0.99816	0.02596	0.01898	0.2
Mercurio	mg/L	<0.000100	<0.000100	<0.000100	<.0000100	<0.000100	<0.000100	0.001
Níquel	mg/L	0.00093	0.00093	0.00112	0.03904	0.00094	0.00131	0.2
Plomo	mg/L	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0.00703	<0.00100	<0.00100	0.05
Selenio	mg/L	<0.00200	<0.00200	<0.00200	<0.00200	<0.00200	<0.00200	0.02
Zinc	mg/L	0.00499	0.00542	0.0069	0.40525	0.00785	0.01334	2

Según el D.S. N°004-2017-MINAM. “Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental para agua”, donde aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua; se comparó los resultados obtenidos con la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, la tabla 13 muestra que solo el arsénico sobrepasa los Estándares de Calidad de Agua para riego, esto se debe a que el AUTODEMA (2024), realiza análisis de calidad de agua, en los análisis físico químicos.

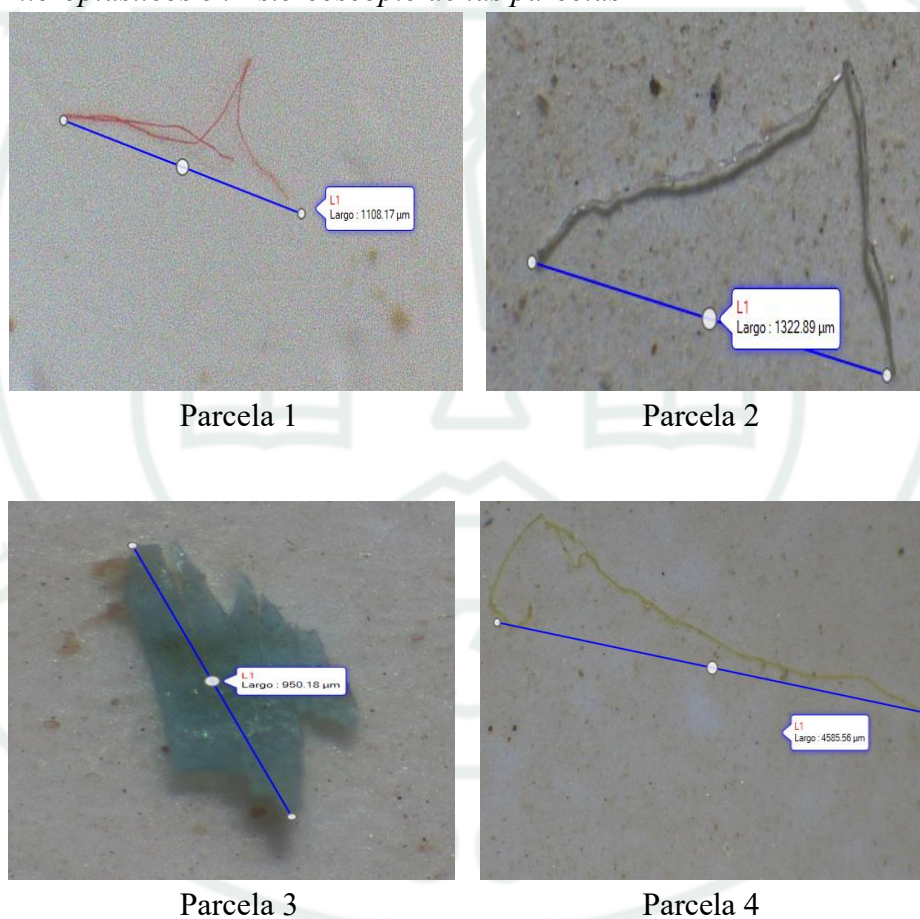
4.2. Determinación del contenido de microplásticos y metales totales en muestras de suelo sometidas a diferentes tipos de riego en la localidad de El Pedregal, Arequipa.

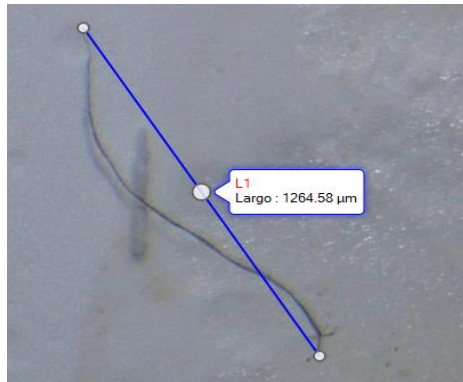
4.2.1. Caracterización de microplástico

Se realizó mediante el Estereoscopio Motic SMZ-171 y su programa para computadora, para de describir, identificar, cuantificar y categorizar por tamaño, forma y color; cabe mencionar que, el software Motic previamente se calibró.

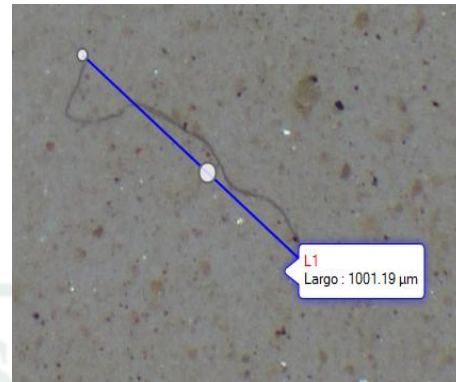
Figura 10.

Conteo de microplásticos en Estereoscopio de las parcelas





Parcela 5



Parcela 6

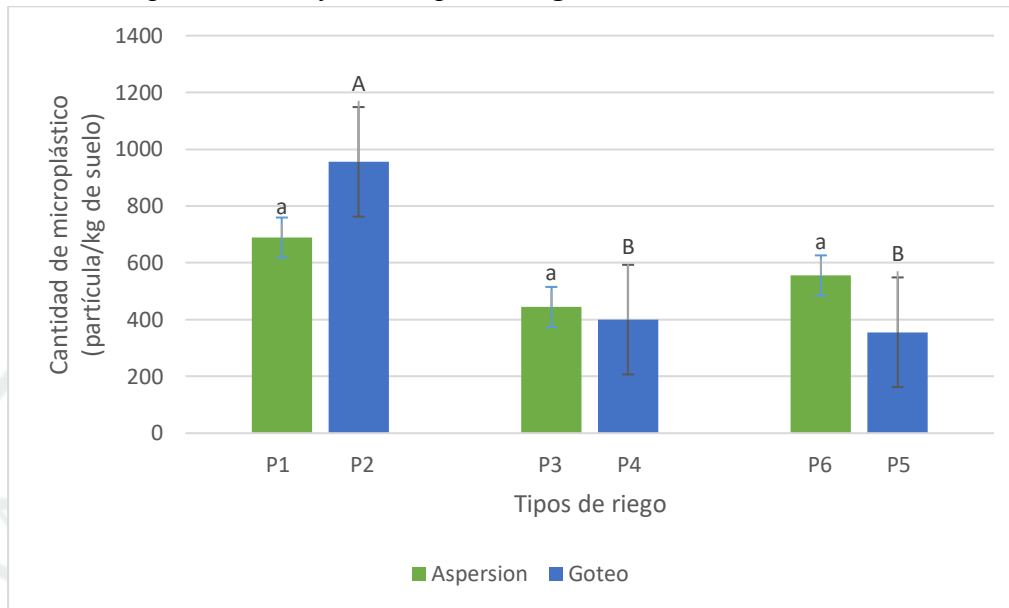
En la figura 10 se muestra los microplásticos de las 06 parcelas medidas con objetivo 2x; se observa una fibra roja de 1108.17 μm correspondiente a la parcela N°1 con el tipo de riego por aspersión, seguidamente se observa una fibra transparente de 1322.89 μm correspondiente a la parcela N°2 con tipo de riego por goteo, seguidamente se observa un fragmento de color verde correspondiente a la parcela N°3 con el tipo de riego por aspersión, seguidamente se observa una fibra de color amarillo de 4585.56 μm correspondiente a la parcela N°4 con tipo de riego por goteo, seguidamente se observa una fibra de color azul de 1264.58 μm correspondiente a la parcela N°5 con tipo de riego por goteo, finalmente se observa una fibra de color transparente de 1001.19 μm correspondiente a la parcela N°6 con tipo de riego por aspersión.

En el **anexo 4** se muestran imágenes de los microplásticos de parcelas tomadas mediante estereoscopio con objetivo 2x.

Cantidad de microplástico con variación ANOVA

Figura 11.

Cantidad de microplástico en diferente tipo de riego



En la figura 11 se compara las concentraciones de microplásticos bajo dos tipos de riego; aspersión (P1, P3 y P6), y goteo (P2, P4 y P5), evidenciando que el riego por goteo presenta mayores concentraciones como se observa en la parcela 2 con 955.5 partícula/kg, mientras que en el riego por aspersión las concentraciones son menores que oscila entre 444.4 a 688.8 partículas/kg.

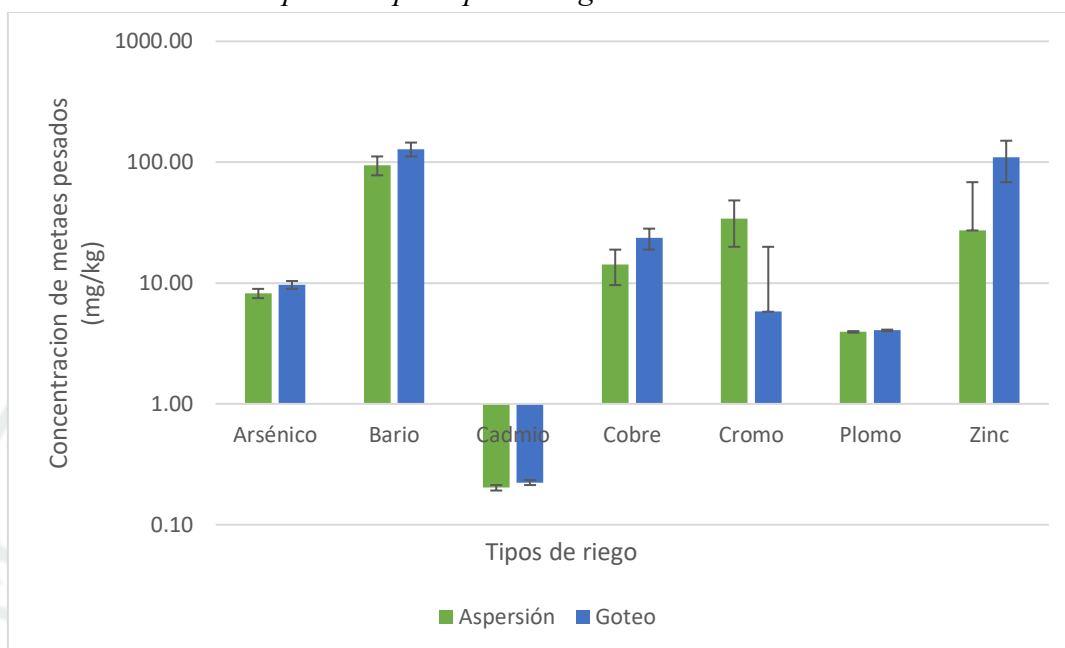
Las barras de desviación estándar muestran una baja variabilidad en el sistema de aspersión por su distribución heterogénea del impacto de las gotas al ser transportadas por el viento que favorece en la acumulación irregular de los microplásticos; por lo contrario, el riego por goteo muestra mayor desviación debido a que presenta una distribución uniforme y localizada (Yu, H. et al. 2025).

La desviación está se comprobó por el análisis de ANOVA que se detalla en el **anexo 5**.

4.2.2. Caracterización de metales totales

Figura 12.

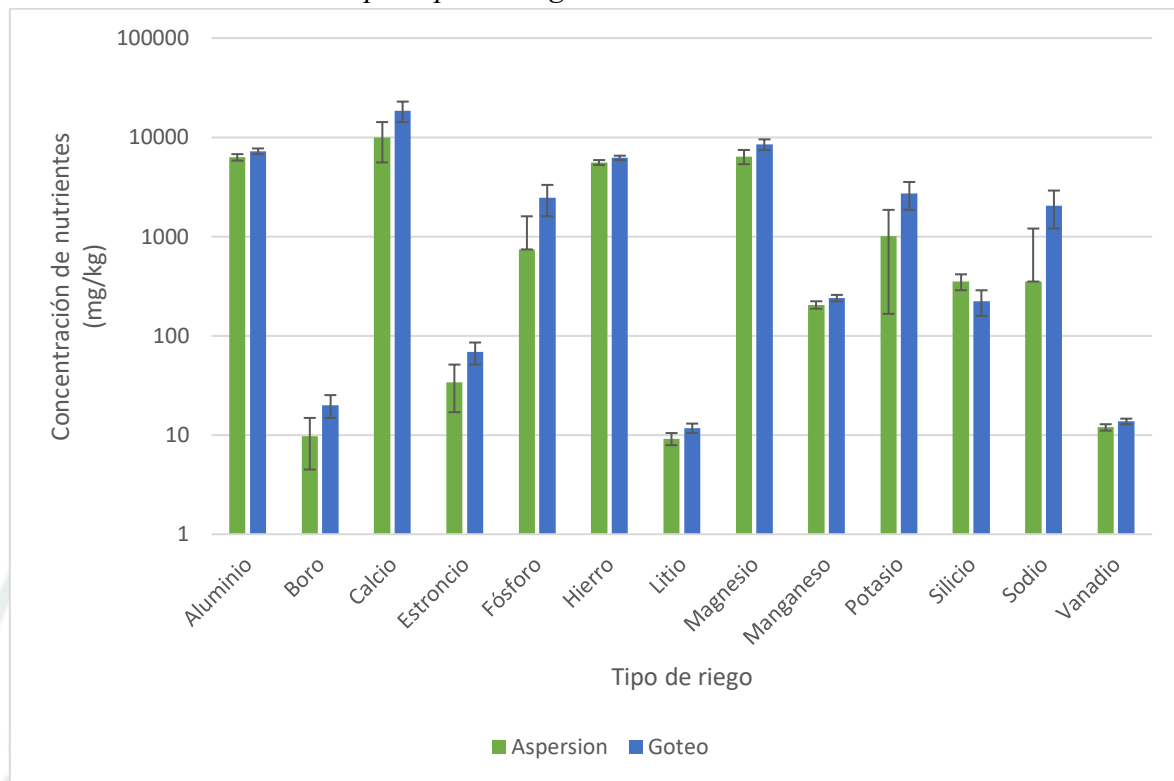
Concentración de metales pesados por tipo de riego



En la figura 12 se observa las concentraciones de metales pesados (As, Ba, Cd, Cu, Cr, Pb y Zn) en suelos agrícolas en dos tipos de riego (aspersión y goteo), claramente se evidencia que, en los valores de As, Ba, Cu, Pb y Zn, son significativos en el riego por goteo, a diferencia de los valores de Cd, Cr son significativamente en el riego por aspersión, deduciendo que el tipo de riego influye en la acumulación y movilidad de metales pesados.

Figura 13.

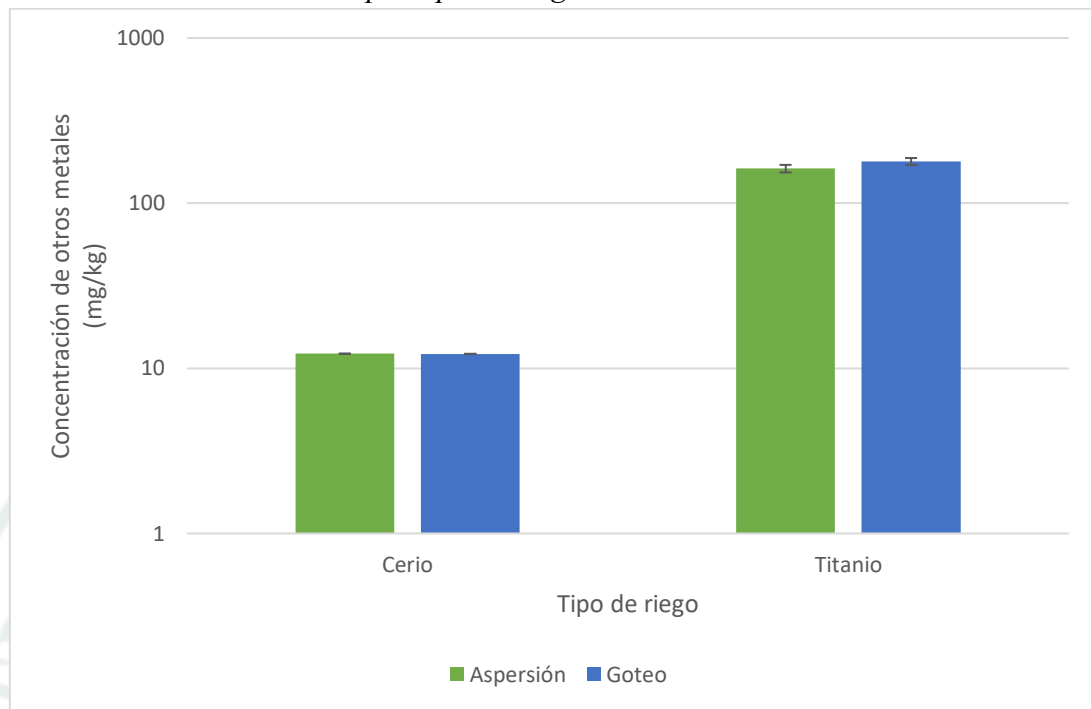
Concentración de nutrientes por tipo de riego



En la figura 13 se observa las concentraciones de nutrientes (Al, B, Ca, Sr, P, Fe, Li, Mg, Mn, K, Si, V, Zn) presentes en suelos agrícolas en dos tipos de riego (aspersión y goteo), claramente se evidencia que, en todos los valores de nutrientes tiene mayor influencia el riego por goteo.

Figura 14.

Concentración de otros metales por tipo de riego



En la figura 14 se observa las concentraciones de otros metales (Ce y Ti) presentes en suelos agrícolas en dos tipos de riego (aspersión y goteo), claramente se evidencia que, en los valores de Aluminio y Titanio ligeramente existe una mayor acumulación en el riego por goteo.

4.3. Correlación del contenido de microplásticos y metales totales en suelo con el tipo de riego aplicado en la localidad de pedregal, Arequipa.

4.3.1. Comparación de resultados con normativa

Tabla 14.

Comparación de resultados de metales totales en riego por aspersión con normativa

Parámetros	Resultados Obtenidos									ECA mg/Kg PS	CCME mg/kg
	Riego por Aspersión										
	P1			P3			P6				
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Antimonio	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20		20
Arsénico	13.90	11.57	13.24	5.77	4.74	6.75	4.92	6.63	6.5	50	12
Bario	125.33	100.21	100.02	117.9	95.85	74.17	76.67	78.02	83.97	750	750
Berilio	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03		4
Boro	15.58	13.45	13.14	7.42	6.66	7.51	5.32	8.96	8.98		2
Cadmio	0.257	0.221	0.198	0.193	0.219	0.190	0.138	0.182	0.224	1.4	1.4
Cobalto	2.84	2.55	2.74	2.85	2.69	2.63	2.64	3.09	3.23		40
Cobre	14.420	13.402	13.769	11.916	11.85	12.268	13.079	17.501	20.086		63
Cromo	5.69	5.32	5.83	3.45	3.1	4.33	4.17	6.04	6.37	0.4	0.4
Estaño	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10		5
Mercurio	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	6.6	6.6

Molibdeno	0.33	0.31	0.35	0.34	0.26	0.3	0.24	0.23	0.26		5
Níquel	5.83	5.47	5.6	5.37	4.86	5.05	5.84	6.92	6.82		45
Plata	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10		20
Plomo	4.19	3.88	3.88	4.57	4.09	3.48	3.58	3.57	4.24	70	
Selenio	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20		1
Uranio	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03		23
Vanadio	15.90	13.4	13.53	10.7	9.24	12.12	9.77	11.38	11.47		130
Zinc	29.03	26.65	24.67	24.7	24.06	24.01	2383	32.91	35.28	*	250

Nota: ECA-Estándares de Calidad Ambiental, CCME Canadian Council of Ministers of the Environment

En la tabla 14, se muestra los resultados obtenidos de metales totales en el sistema de riego por aspersión comparando con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los valores de *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*, donde el Cromo tiene entre 3.1 a 6.37 mg/kg superando al ECA que es de 0.4mg/kg. Sin embargo, al comparar con CCME se observa que el Boro tiene de 5.32 a 15.58 mg/kg superando al valor de 2 mg/kg.

Tabla 15.*Comparación de resultados de metales totales en riego por goteo con normativa*

Parámetros	Resultados Obtenidos									ECA mg/Kg PS	CCME mg/kg
	Riego por Goteo										
	P2			P4			P5				
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Antimonio	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20		20
Arsénico	11.83	12.93	11.33	8.46	7.01	5.98	12.08	11.19	6.21	50	12
Bario	99.33	100.15	87.61	233.69	176.24	160.9	118.51	96.50	82.73	750	750
Berilio	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03		4
Boro	29.22	26.57	29.44	15.66	11.73	9.23	26.41	19.18	12.90		2
Cadmio	0.277	0.343	0.28	0.145	0.145	0.137	0.241	0.219	0.225	1.4	1.4
Cobalto	2.75	3.13	2.78	2.86	2.74	2.52	2.94	3.41	4.50		40
Cobre	15.276	18.836	16.062	15.02	13.685	12.255	54.107	31.834	34.86		63
Cromo	5.32	5.67	4.98	5.8	4.93	4.55	5.46	6.92	8.48	0.4	0.4
Estaño	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10		5
Mercurio	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	6.6	6.6
Molibdeno	0.45	0.48	0.45	0.39	0.37	0.27	2.04	0.51	0.29		5
Níquel	5.85	6.44	5.93	6.48	5.61	5.61	8.41	7.88	9.67		45
Plata	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10		20
Plomo	4.22	4.57	3.91	3.96	3.29	3.03	4.05	4.55	4.94	70	
Selenio	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20		1

Uranio	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	23
Vanadio	13.66	14.01	12.56	17.03	14.02	13.04	14.60	13.63	10.94	130
Zinc	31.38	35.45	32.97	40.35	34.96	31.5	375.61	235.75	167.05	250

Nota: ECA-Estándares de Calidad Ambiental, CCME Canadian Council of Ministers oh the Environmet

En la tabla 15, se muestra los resultados obtenidos de metales totales en el sistema de riego por goteo comparando con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los valores de *Canadian Council of Ministers oh the Environmet (CCME)*, donde el Cromo tiene ente 4.55 a 8.48 mg/kg superando al ECA que es de 0.4mg/kg. Sin embargo, al comparar con CCME se observa que el Boro tiene de 9.23 a 29.44 mg/kg superando al valor de 2 mg/kg.

Se deduce que, en ambos tipos de riego solo son dos elementos que superan el ECA y CCME, sin embargo, se tiene mayor presencia de contaminante en el riego por aspersión.

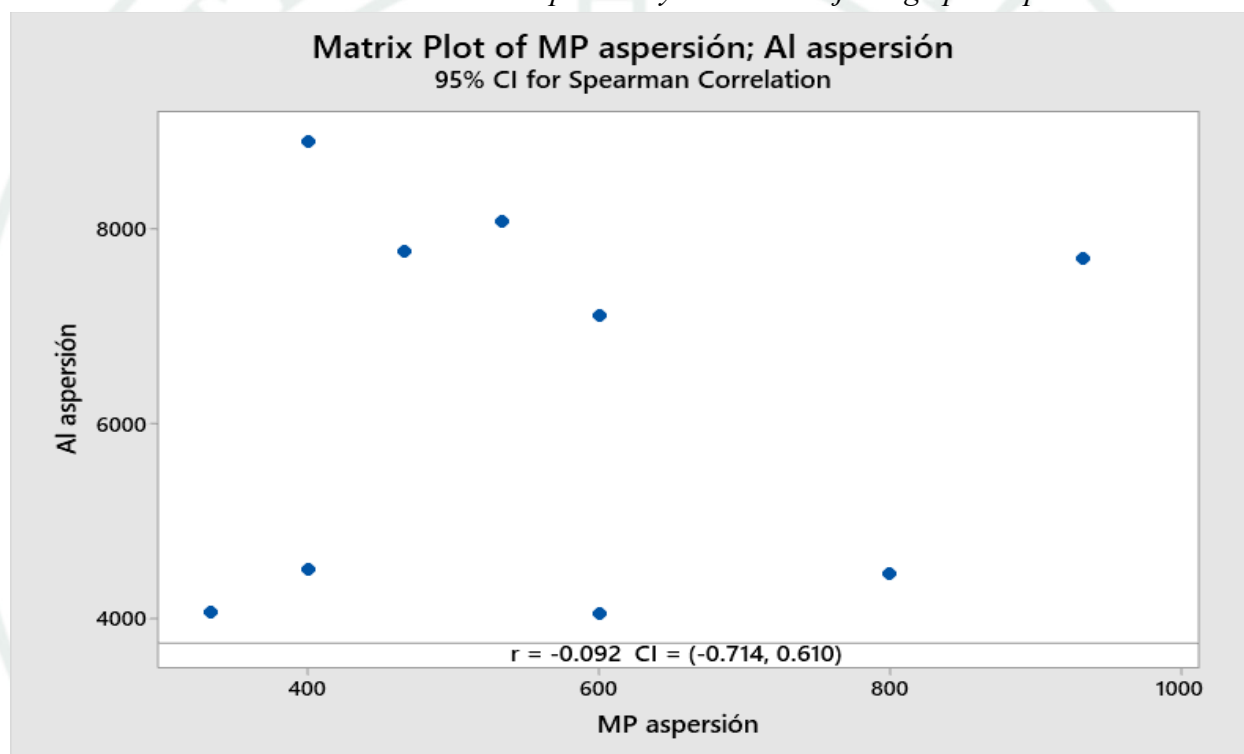
4.3.2. Análisis de Correlación

Al tener los datos de microplásticos y de metales pesados por riego de goteo y aspersión, se procesó en el software Minitab, logrando obtener los siguientes resultados.

Aluminio

Figura 15.

Correlación entre concentración de microplástico y aluminio bajo riego por aspersión



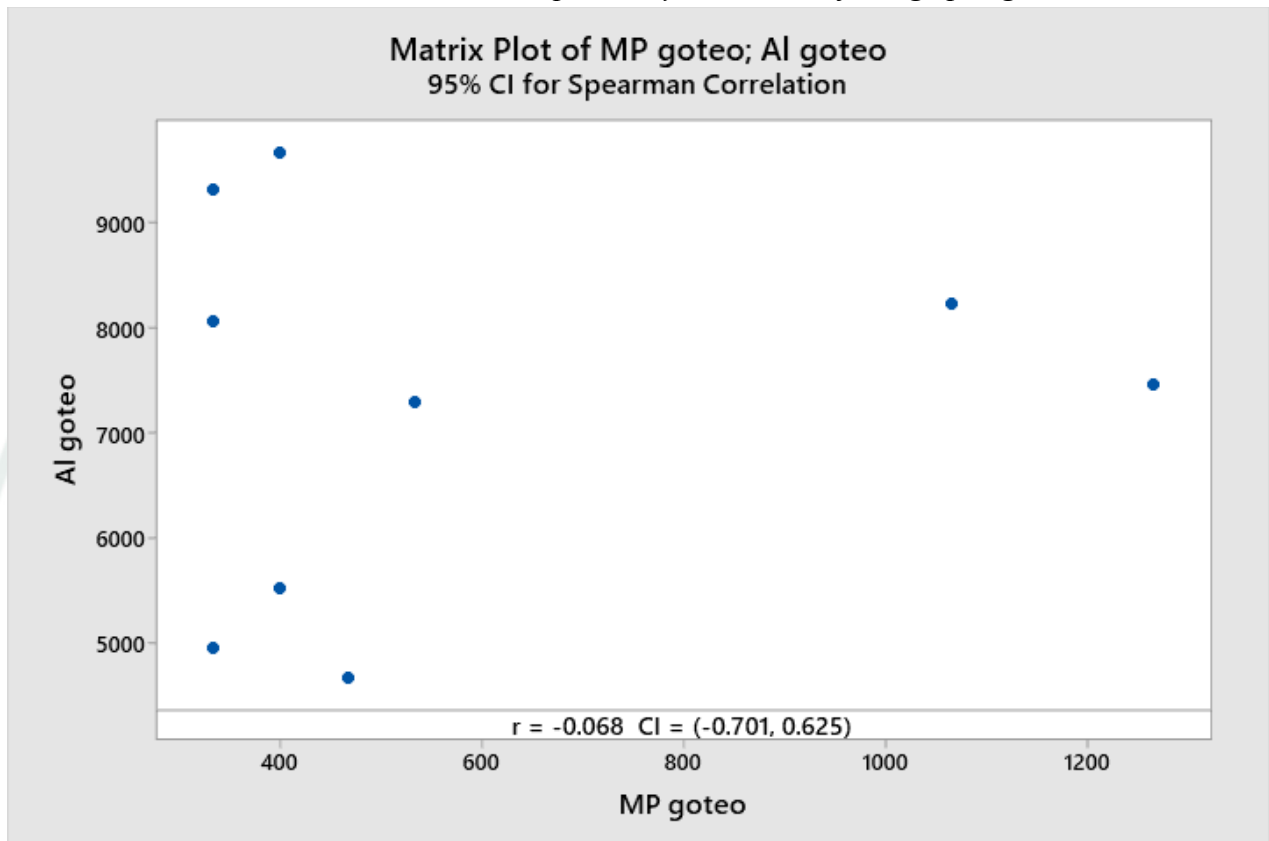
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La Figura 15 muestra la relación entre la concentración de microplásticos y aluminio en suelos bajo riego por aspersión, evidenciando un coeficiente de correlación de Spearman muy débil y negativo ($r = -0.092$). El intervalo de confianza incluye el valor cero, lo que indica que la relación no es estadísticamente significativa. Desde el punto de vista ambiental y agronómico, este resultado sugiere que, bajo este tipo de riego, la distribución del aluminio en el suelo no estaría influenciada por la presencia de microplásticos, posiblemente debido a una

mayor dispersión superficial del agua que limita la interacción directa entre ambos contaminantes.

Figura 16.

Correlación entre concentración de microplástico y aluminio bajo riego por goteo



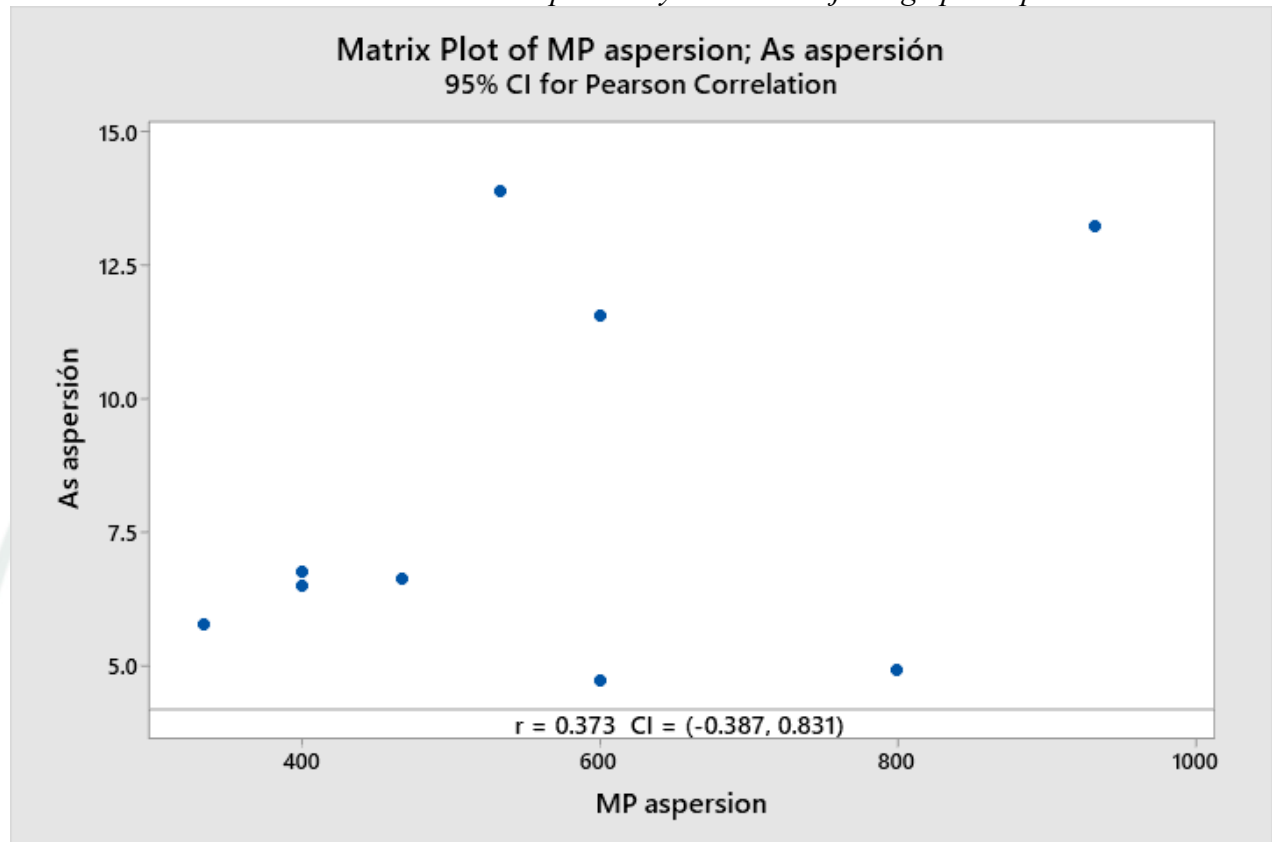
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La Figura 16 muestra la relación entre la concentración de microplásticos y aluminio en suelos bajo riego por goteo, evidenciando un coeficiente de correlación de Spearman negativo muy débil ($r = -0.068$). El intervalo de confianza incluye el valor cero, lo que indica que la relación no es estadísticamente significativa. Desde el punto de vista ambiental y agronómico, estos resultados sugieren que, bajo riego por goteo, la variación en la concentración de microplásticos no influye de manera apreciable en la distribución del aluminio en el suelo, por lo que ambos parámetros se comportan de forma independiente.

Arsénico

Figura 17.

Correlación entre concentración de microplástico y arsénico bajo riego por aspersión

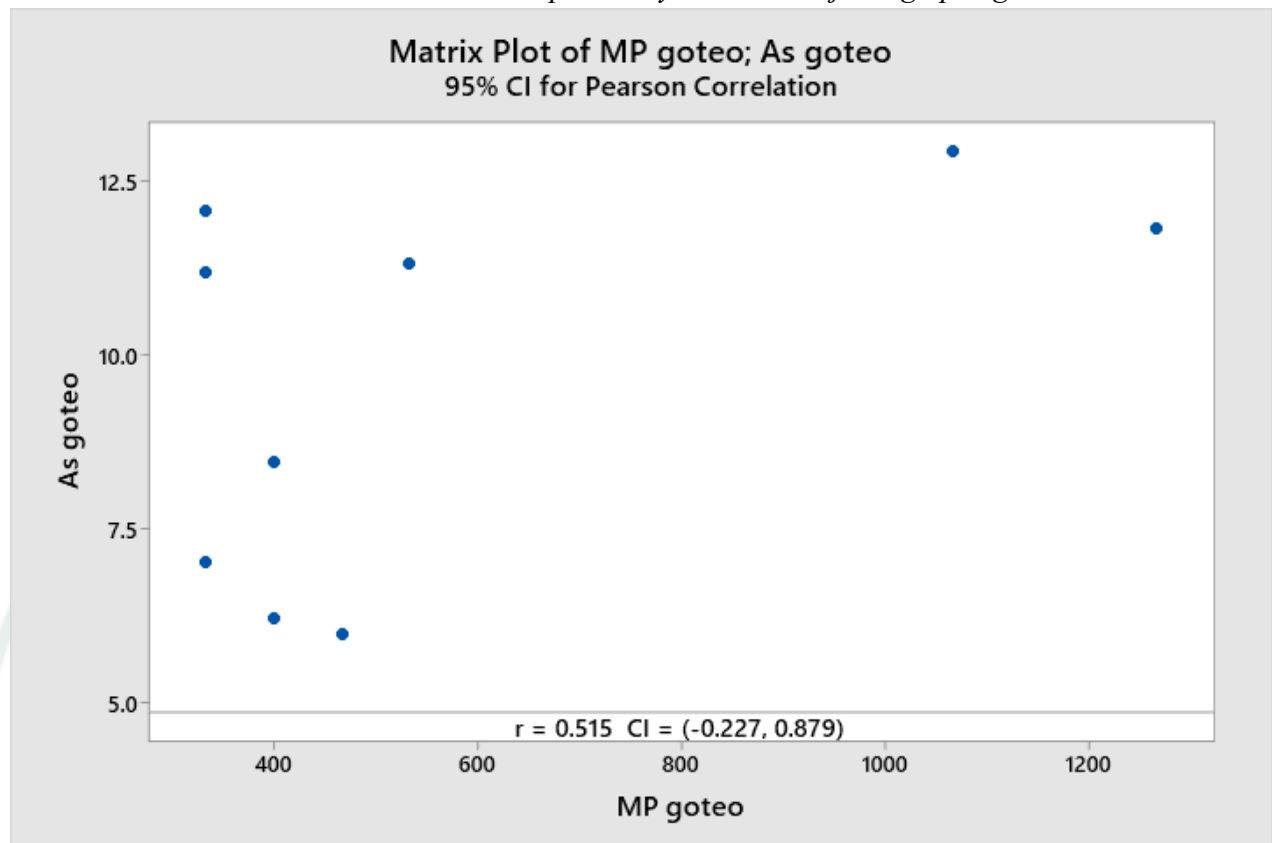


Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La Figura 17 muestra la relación entre la concentración de microplásticos y arsénico en suelos bajo riego por aspersión, evidenciando un coeficiente de correlación de Pearson positivo débil ($r = 0.373$). Sin embargo, el intervalo de confianza incluye el valor cero, lo que indica que la relación no es estadísticamente significativa. Desde el punto de vista ambiental y agronómico, este resultado sugiere una ligera tendencia de asociación positiva; no obstante, dicha relación no es concluyente, por lo que no se puede afirmar una influencia directa de los microplásticos sobre la concentración de arsénico bajo este tipo de riego.

Figura 18.

Correlación entre concentración de microplástico y arsénico bajo riego por goteo



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 18 muestra la correlación entre microplástico y arsénico bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.515$, representa una correlación positiva moderada, y su intervalo de confianza $-0.227, 0.879$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

El diagrama de dispersión, se observa una distribución aleatoria, indicando la ausencia de tendencia.

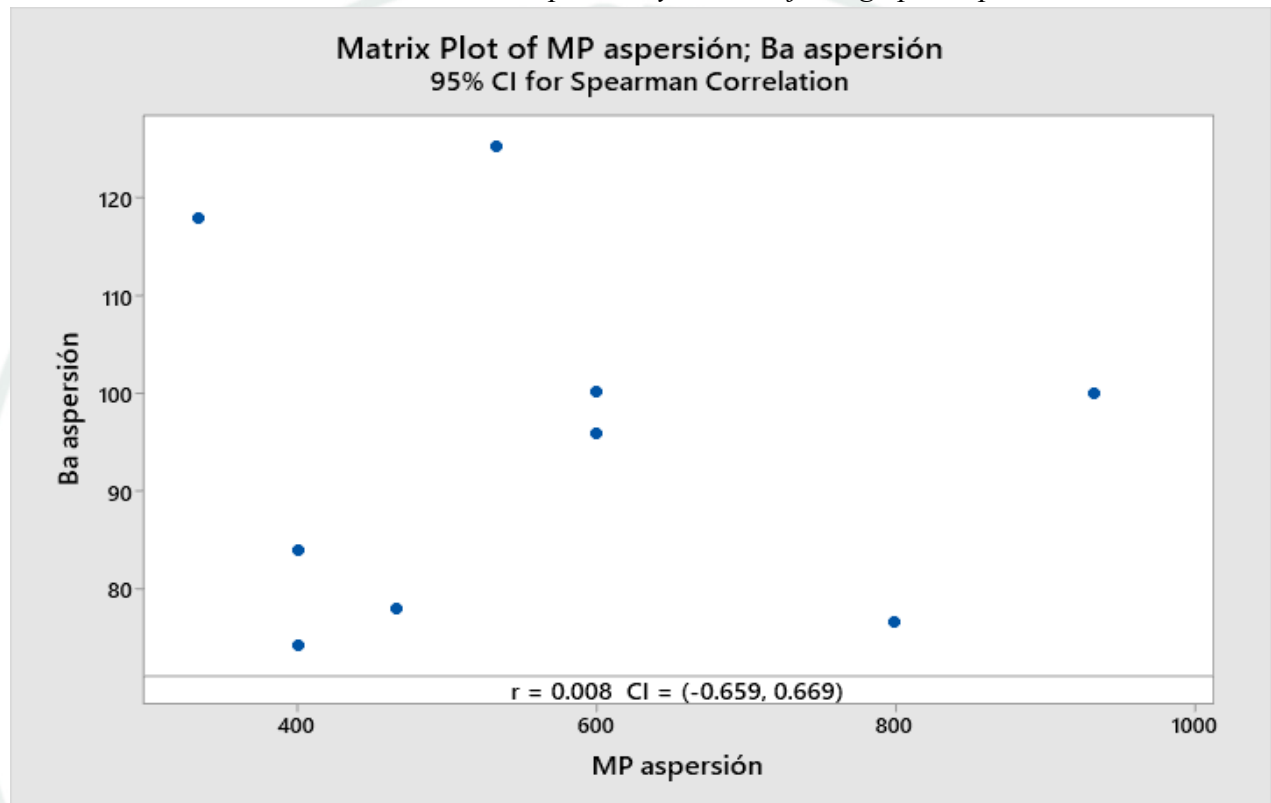
Se deduce que, al aumentar cantidad de microplásticos tiende a incrementar la concentración de arsénico en el riego por goteo. De acuerdo con la teoría, los microplásticos pueden actuar como superficies de adsorción para metales como el arsénico; sin embargo, en este caso, aunque se observa una asociación positiva moderada, la falta de significancia

estadística indica que dicha interacción no se manifiesta de forma consistente, por lo que ambas variables presentan un comportamiento independiente bajo riego por goteo.

Bario

Figura 19.

Correlación entre concentración de microplástico y bario bajo riego por aspersión



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 19 muestra la correlación entre microplástico y bario bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = 0.008$, indicando una correlación casi nula, y su intervalo de confianza $-0.9659, 0.669$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

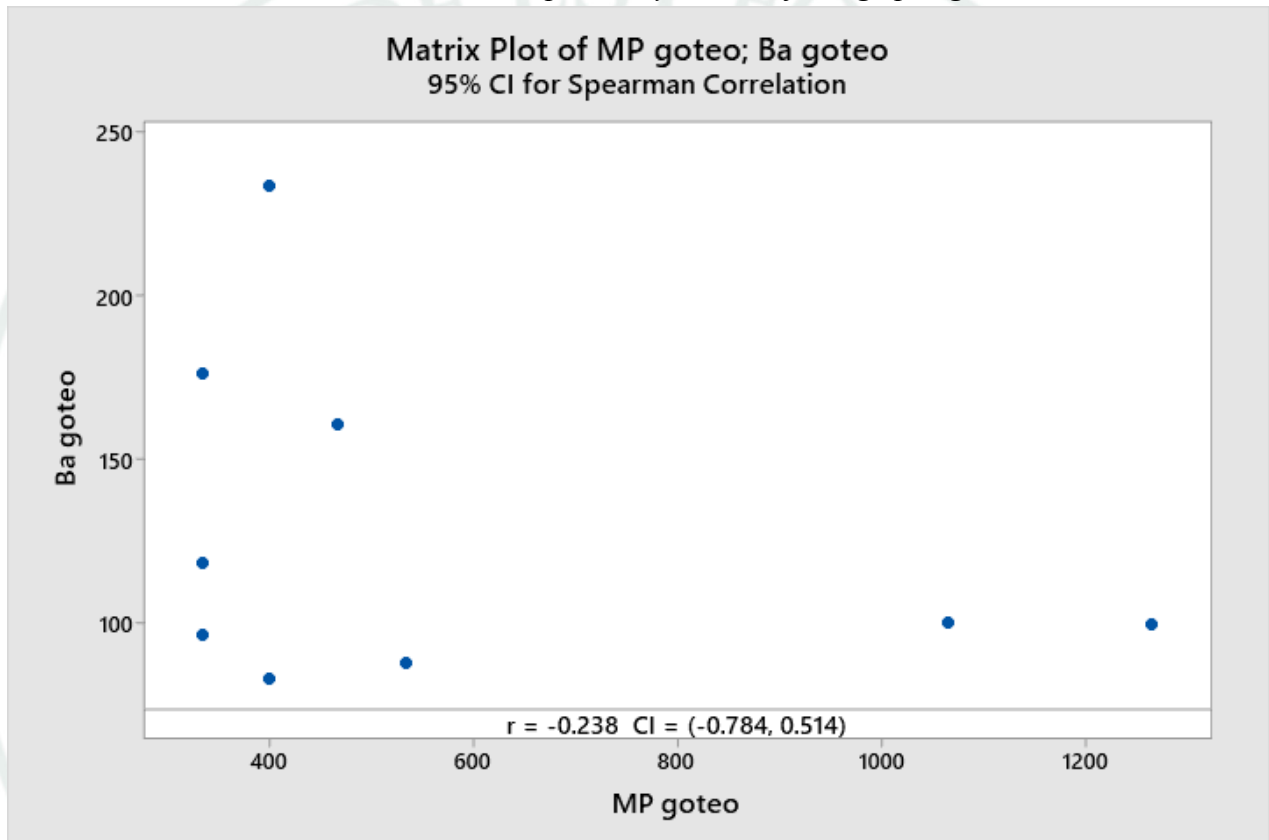
El diagrama de dispersión, se observa una distribución aleatoria, indicando que no existe tendencia.

Se deduce que, no existe una relación entre la cantidad de microplástico y la cantidad de bario en el riego por aspersión. La correlación casi nula entre la concentración de

microplásticos y bario bajo riego por aspersión indica que ambos parámetros no presentan una relación definida, lo que sugiere que este tipo de riego favorece una distribución más homogénea del suelo, limitando la acumulación puntual e interacción entre microplásticos y bario.

Figura 20.

Correlación entre concentración de microplástico y bario bajo riego por goteo



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 20 muestra la correlación entre microplástico y bario bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.238$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.784, 0.514$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

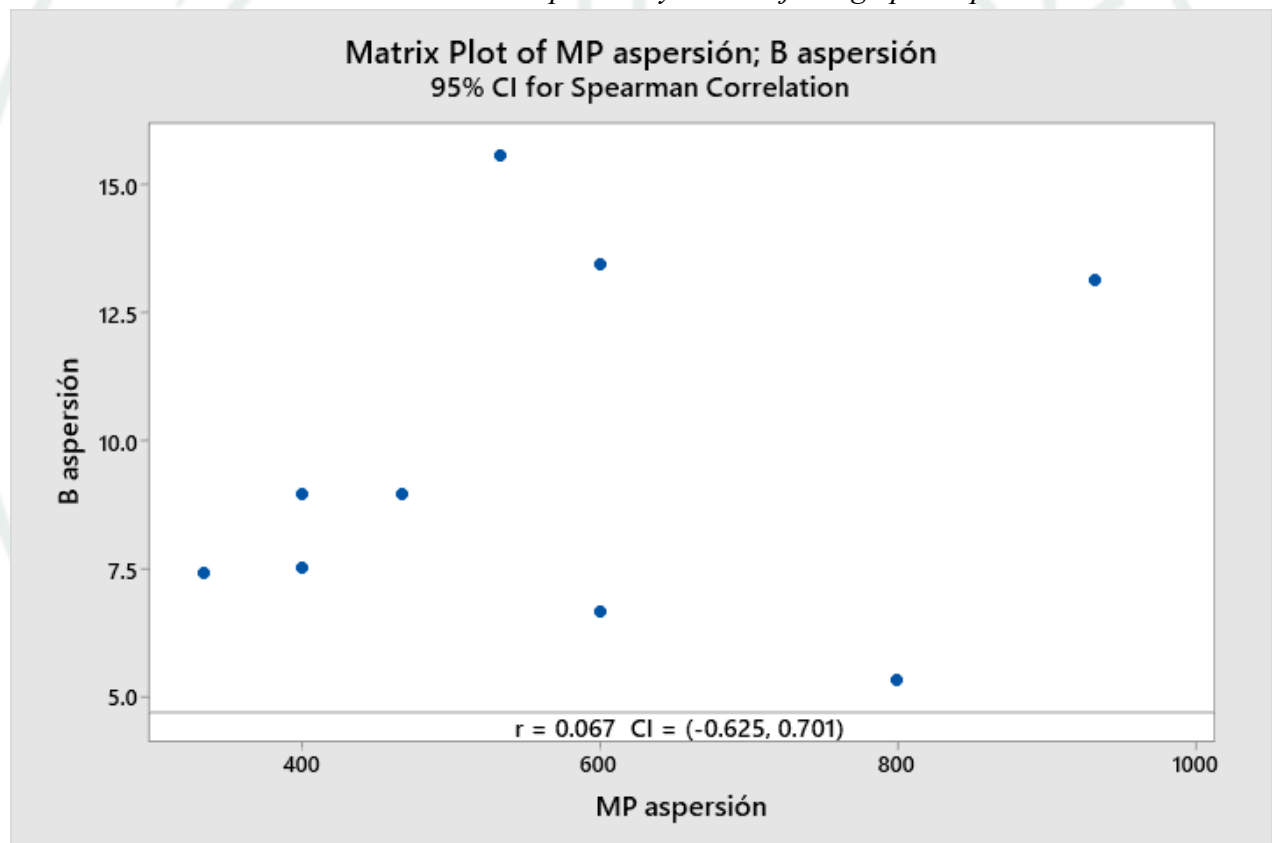
El diagrama de dispersión, presenta una distribución aleatoria, indicando que no existe tendencia.

Se deduce que, a medida que la cantidad de microplástico aumenta, tiende a disminuir la concentración de bario en riego por goteo. La correlación débil y no significativa entre microplásticos y bario bajo riego por goteo indica que, aunque se observa una ligera tendencia inversa, no existe una relación consistente entre ambas variables, sugiriendo que el tipo de riego no genera una interacción definida entre la concentración de microplásticos y bario en el suelo.

Boro

Figura 21.

Correlación entre concentración de microplástico y boro bajo riego por aspersión



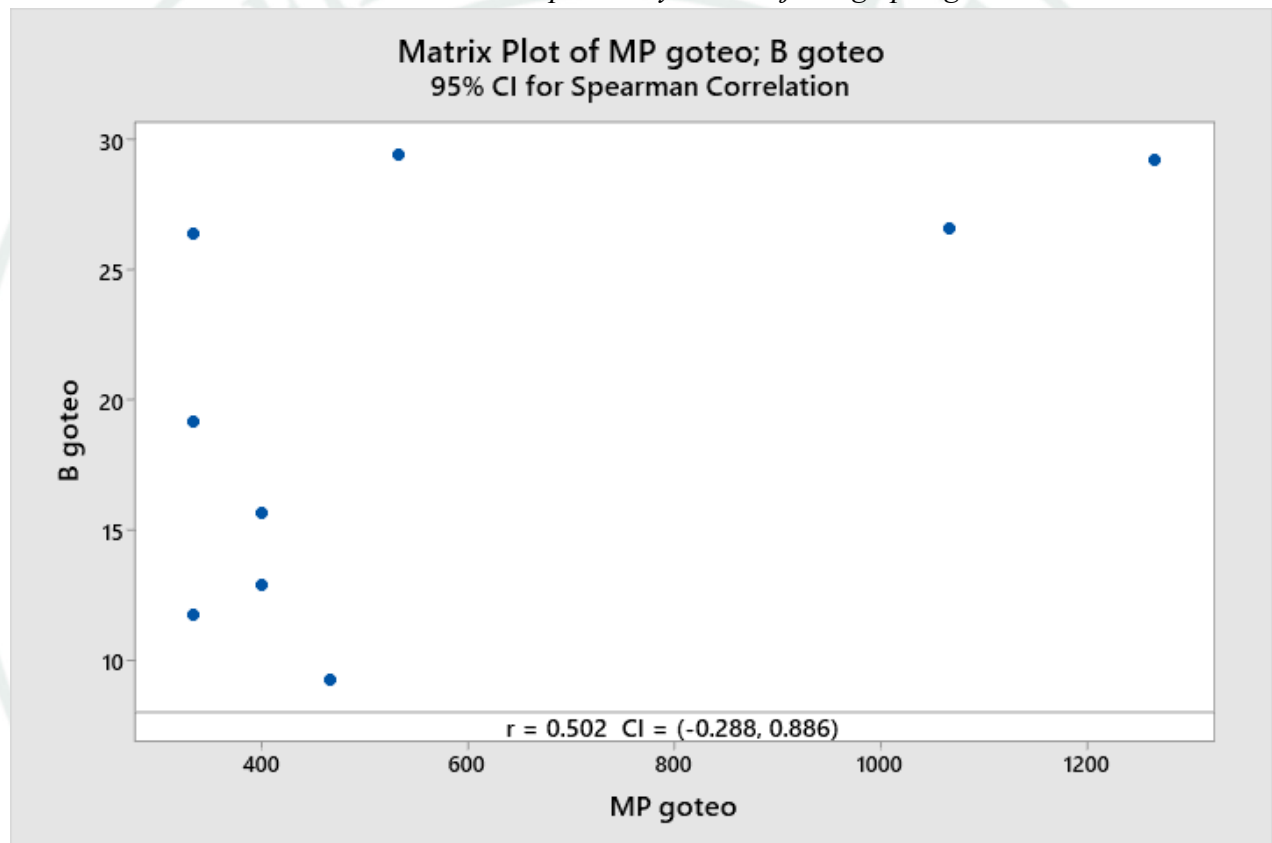
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 21 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y boro bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = 0.067$, indicando una correlación npositiva muy débil, y su intervalo de confianza $-0.325, 0..701$ el cual incluye el valor de czero, haciendo referencia que estadísticamnte no es significativa.

Se deduce que, a medida que la cantidad de microplástico aumenta, también tiende a aumentar la concentración de bario en riego por aspersión. La correlación muy débil y no significativa entre microplásticos y boro bajo riego por aspersión indica que la distribución más uniforme del agua limita la acumulación conjunta de ambos componentes, evidenciando un comportamiento independiente sin una tendencia clara de asociación.

Figura 22.

Correlación entre concentración de microplástico y boro bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 22 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y boro bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = 0.502$, indicando una correlación positiva moderada, y su intervalo de confianza $-0.288, 0.886$ el cual incluye el valor de czero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

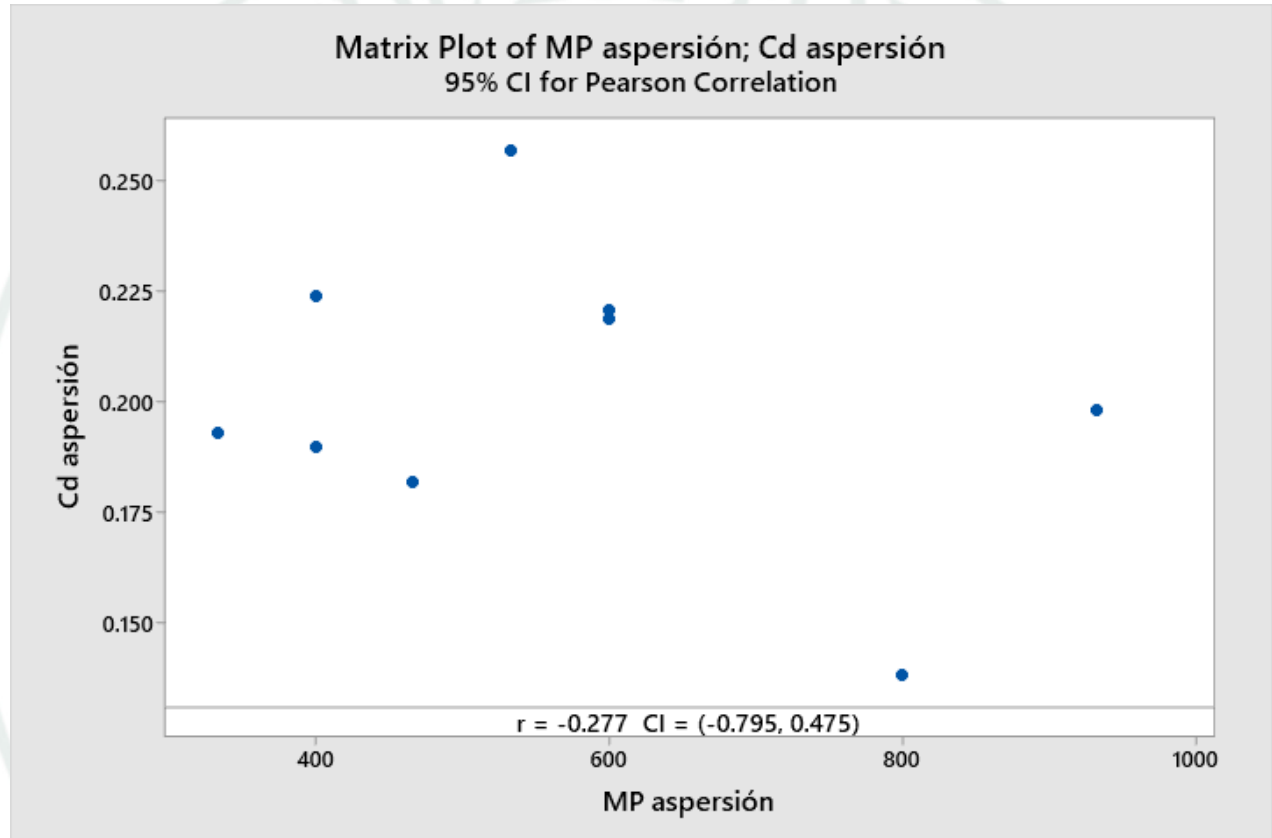
Se deduce que, a medida que la cantidad de microplástico aumenta, también tiende a aumentar la concentración de bario en riego por goteo. La correlación positiva moderada

observada bajo riego por goteo sugiere una mayor coincidencia espacial entre microplásticos y boro; sin embargo, al no ser estadísticamente significativa, esta asociación no se presenta de manera consistente, reflejando una acumulación localizada influenciada por el tipo de riego.

Cadmio

Figura 23.

Correlación entre concentración de microplástico y cadmio bajo riego por aspersión.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

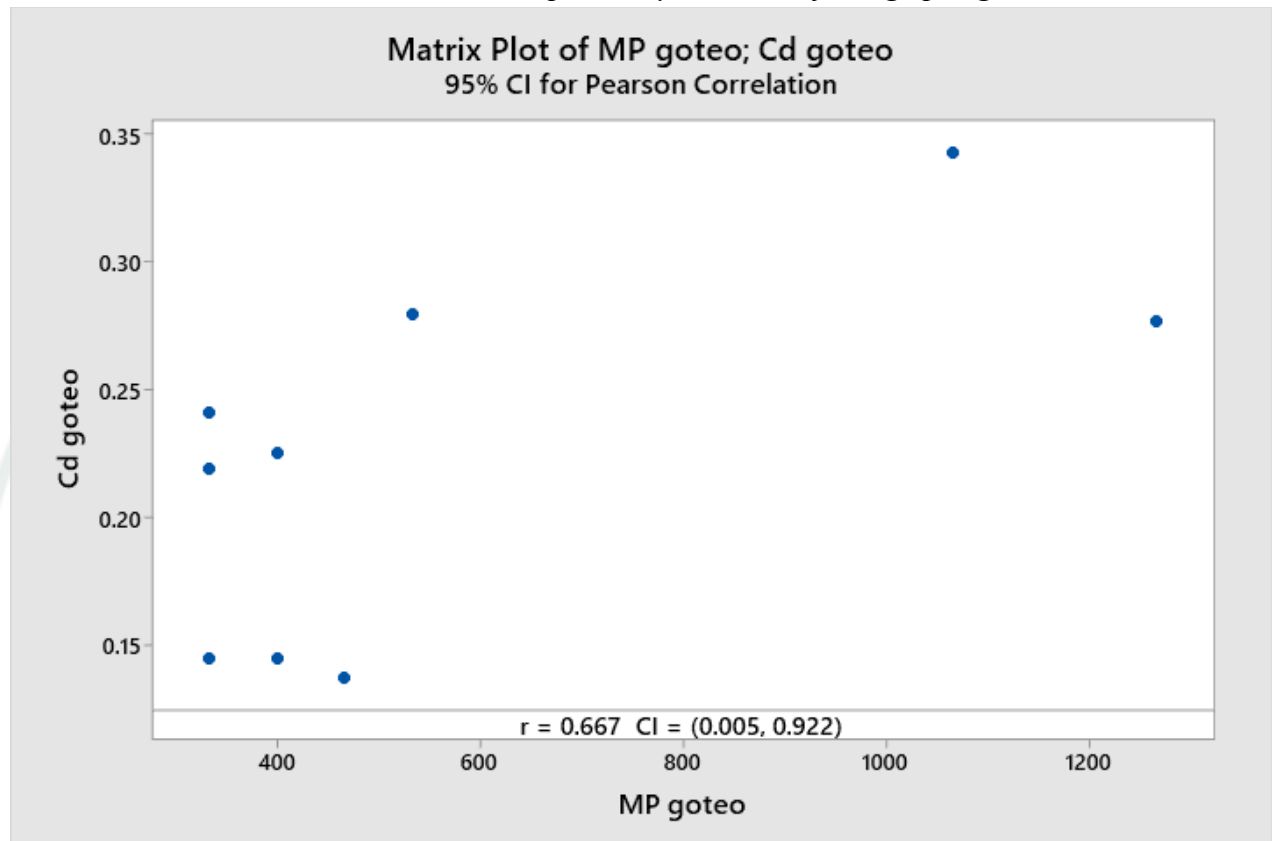
La figura 23 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cadmio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.277$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.795, 0.475$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de cadmio en riego por aspersión. La correlación negativa débil y no

significativa indica que, bajo riego por aspersión, la dispersión del agua reduce la acumulación puntual de microplásticos y cadmio, limitando una relación definida entre ambas variables.

Figura 24.

Correlación entre concentración de microplástico y cadmio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

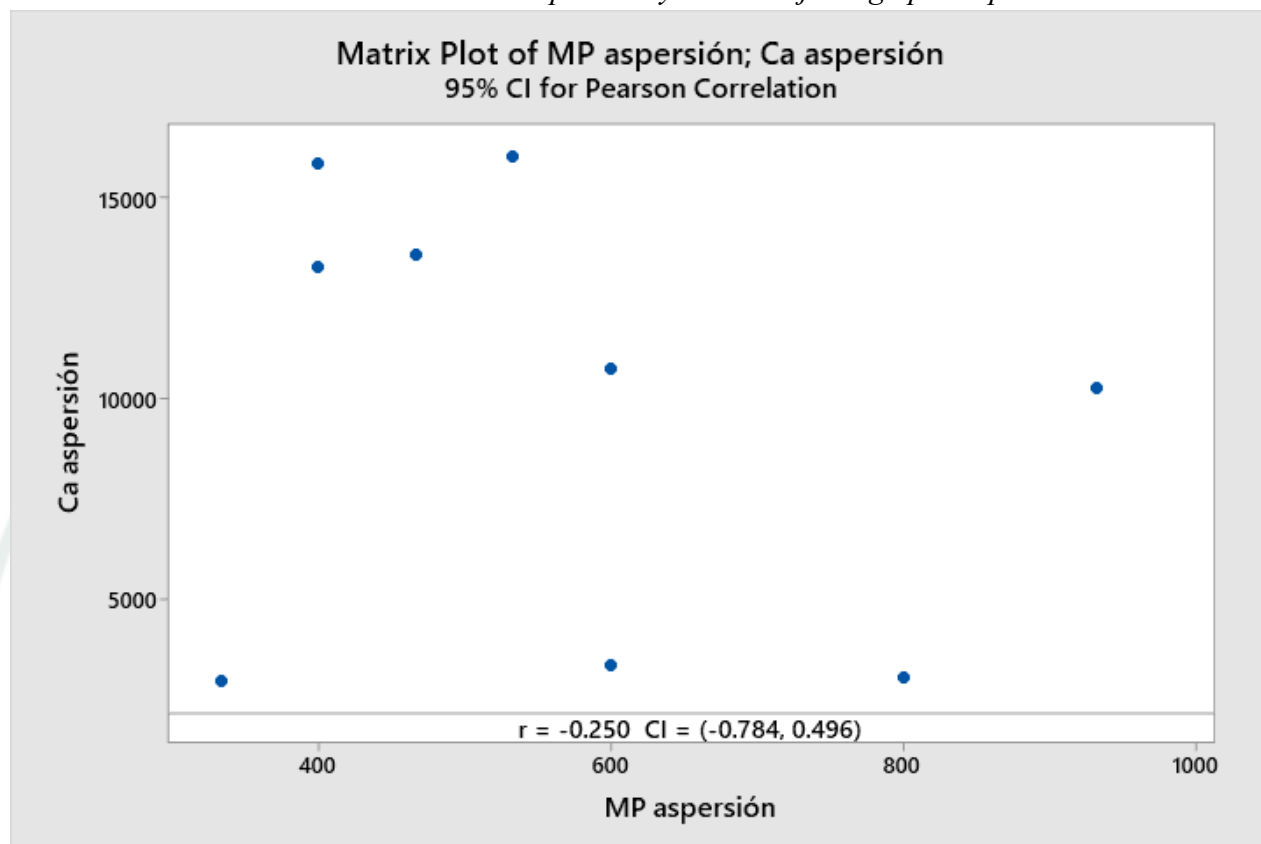
La figura 24 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cadmio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.667$, indicando una correlación positiva moderada, y su intervalo de confianza $-0.005, 0.922$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico aumenta la concentración de cadmio en riego por goteo. La correlación positiva moderada bajo riego por goteo sugiere que la aplicación localizada del agua favorece la coexistencia de microplásticos y cadmio en el suelo; no obstante, la falta de significancia estadística indica que esta relación no es uniforme en todas las muestras.

Calcio

Figura 25.

Correlación entre concentración de microplástico y calcio bajo riego por aspersión.



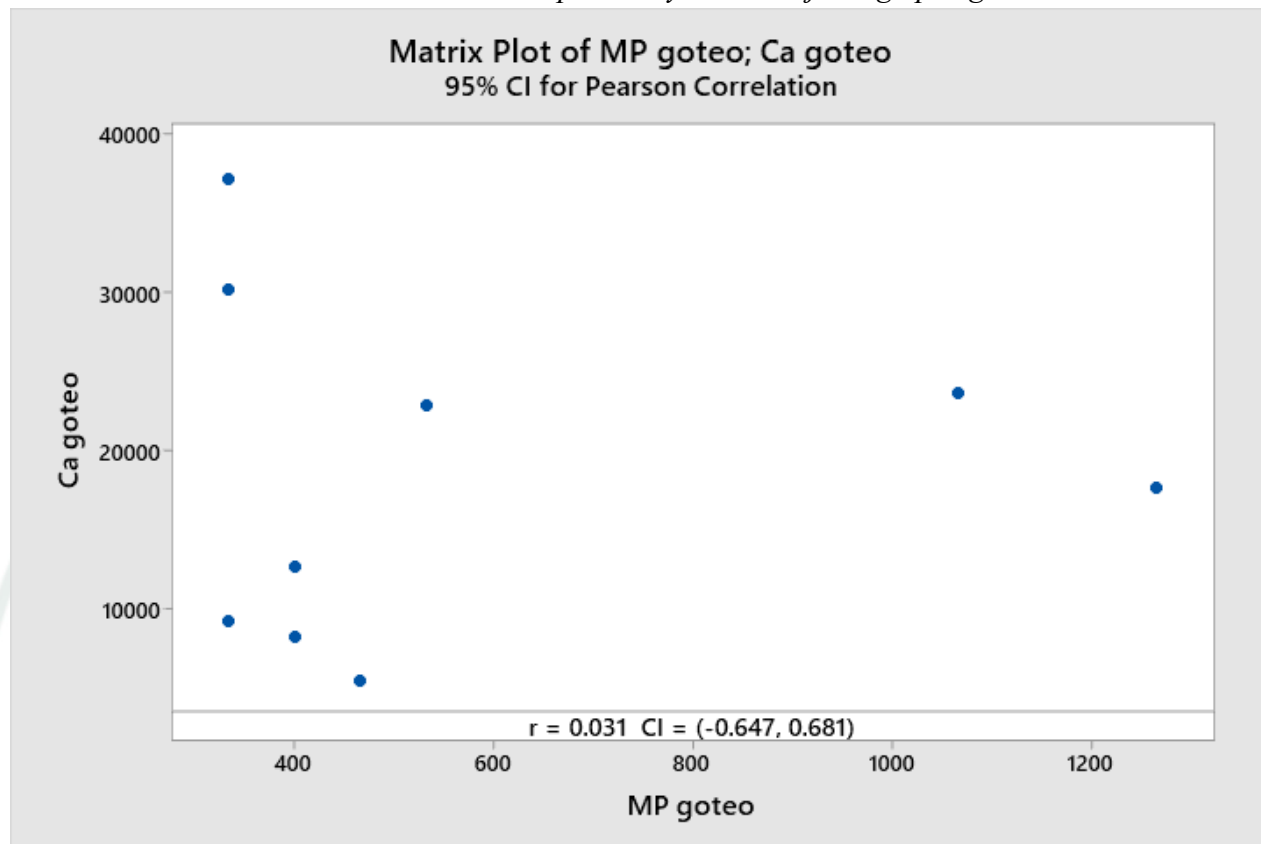
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 25 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y calcio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.250$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.784, 0.496$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de calcio en riego por aspersión. La correlación negativa débil y no significativa muestra que, bajo riego por aspersión, el calcio mantiene una distribución independiente de los microplásticos, sin evidenciar acumulación conjunta asociada al sistema de riego.

Figura 26.

Correlación entre concentración de microplástico y calcio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

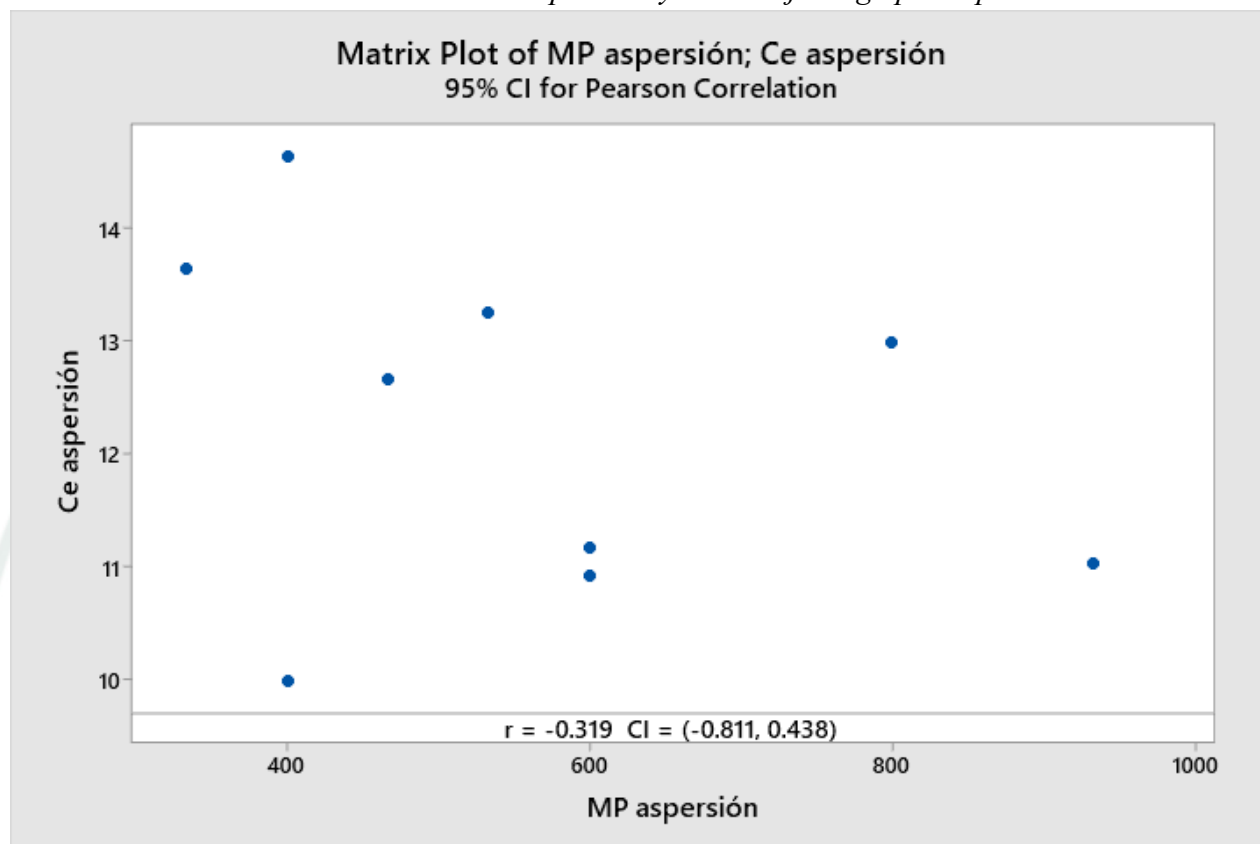
La figura 25 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y calcio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.250$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.784, 0.496$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de calcio en riego por goteo. El comportamiento negativo débil observado bajo riego por goteo indica que, pese a la aplicación localizada del agua, no se establece una relación consistente entre microplásticos y calcio, manteniéndose una distribución independiente.

Cerio

Figura 27.

Correlación entre concentración de microplástico y cerio bajo riego por aspersión.



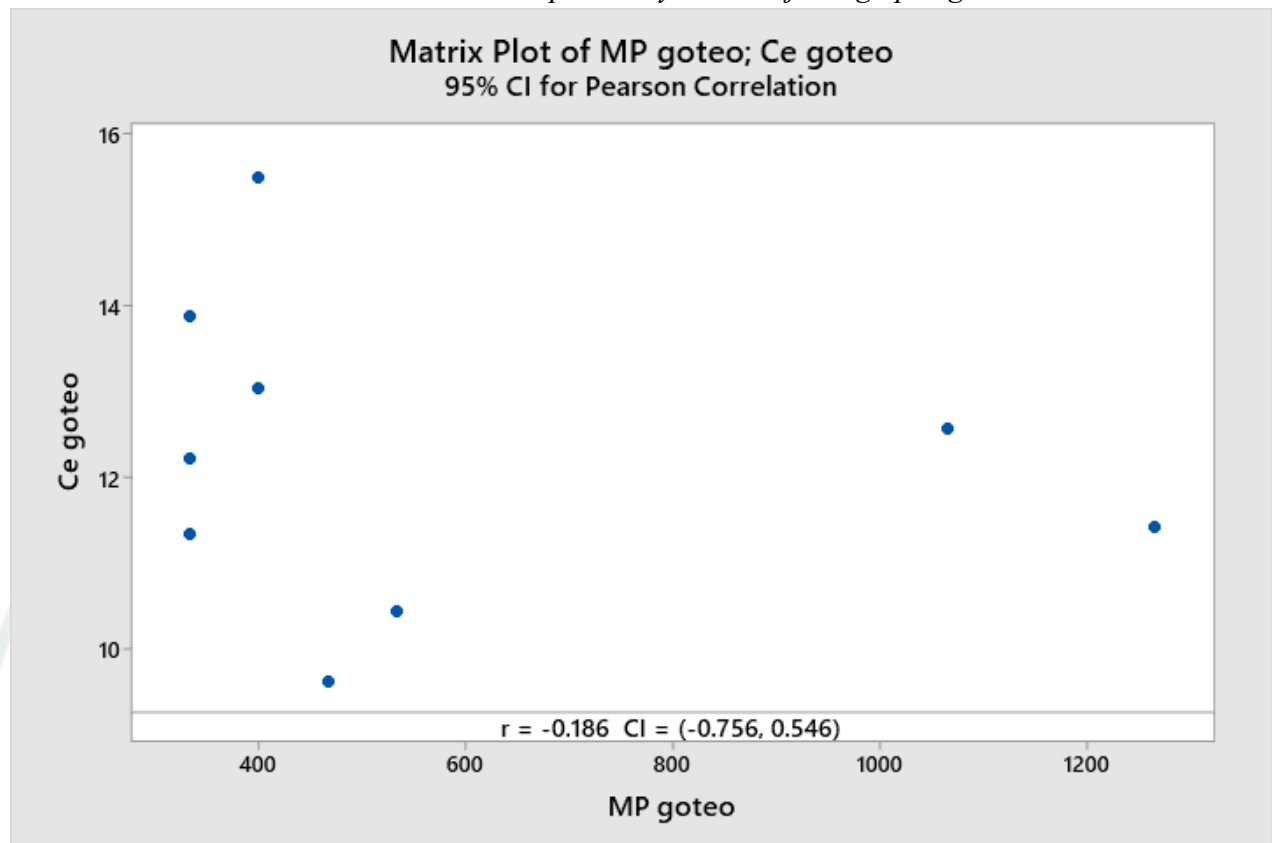
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 27 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cerio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.319$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.811, 0.438$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de cerio en riego por aspersión. La correlación negativa débil bajo riego por aspersión sugiere que la distribución homogénea del agua limita la acumulación simultánea de microplásticos y cerio, sin evidenciar una interacción definida entre ambas variables.

Figura 28.

Correlación entre concentración de microplástico y cerio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

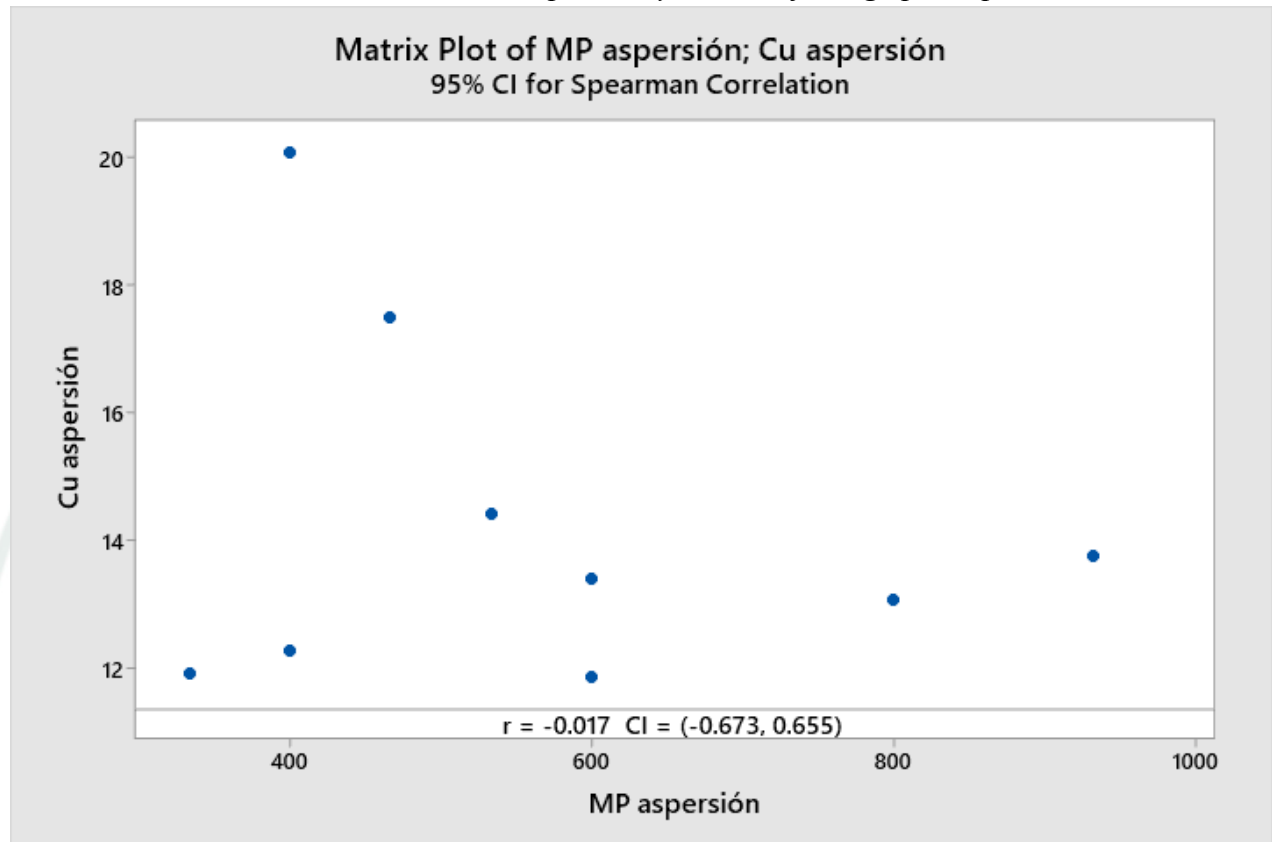
La figura 28 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cerio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.186$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.186, 0.546$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de cerio en riego por goteo. La correlación negativa muy débil y no significativa indica que, aunque el riego por goteo favorece concentraciones localizadas, no se observa una asociación clara entre microplásticos y cerio en el suelo.

Cobre

Figura 29.

Correlación entre concentración de microplástico y cobre bajo riego por aspersión.



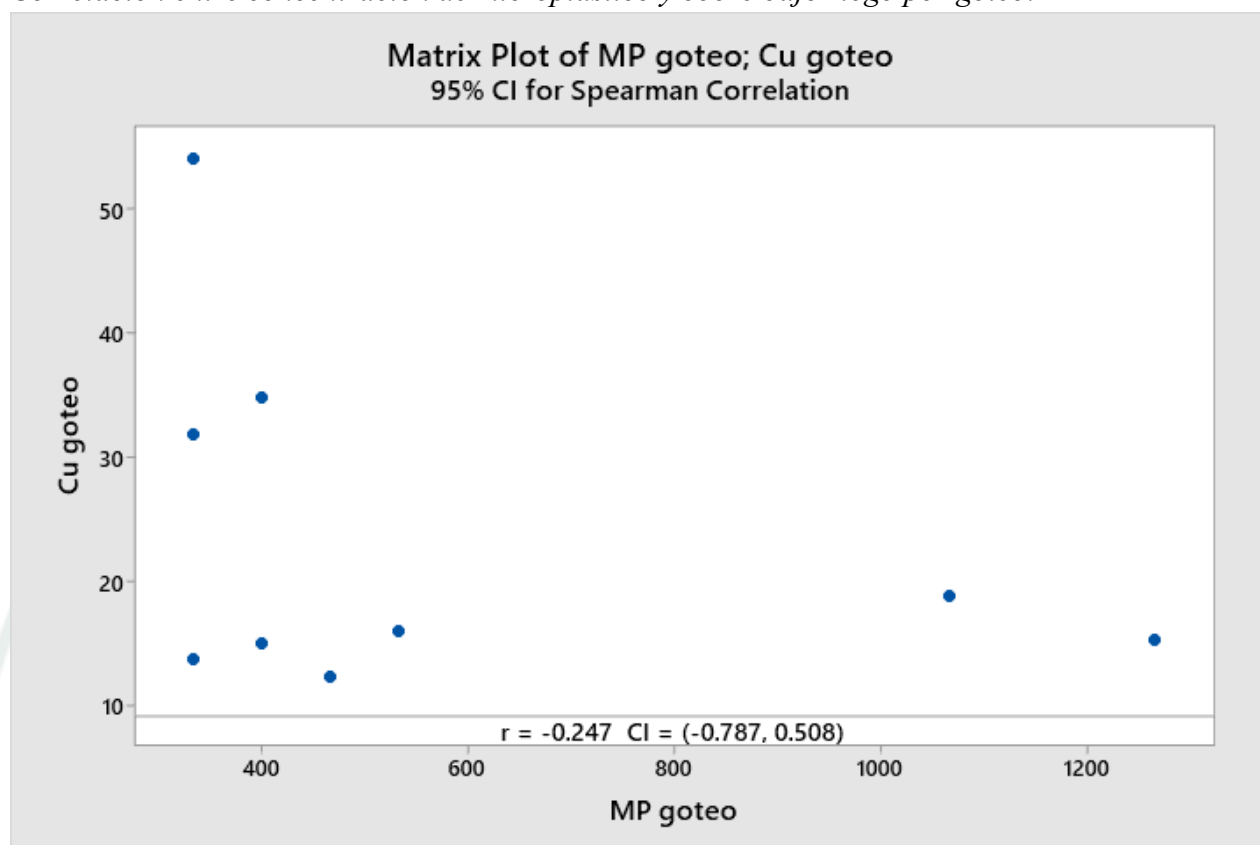
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 29 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cobre bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.017$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.673, 0.655$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de cobre en riego por aspersión. La correlación prácticamente nula bajo riego por aspersión evidencia que el cobre y los microplásticos presentan comportamientos independientes, sin acumulación conjunta atribuible al sistema de riego.

Figura 30.

Correlación entre concentración de microplástico y cobre bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

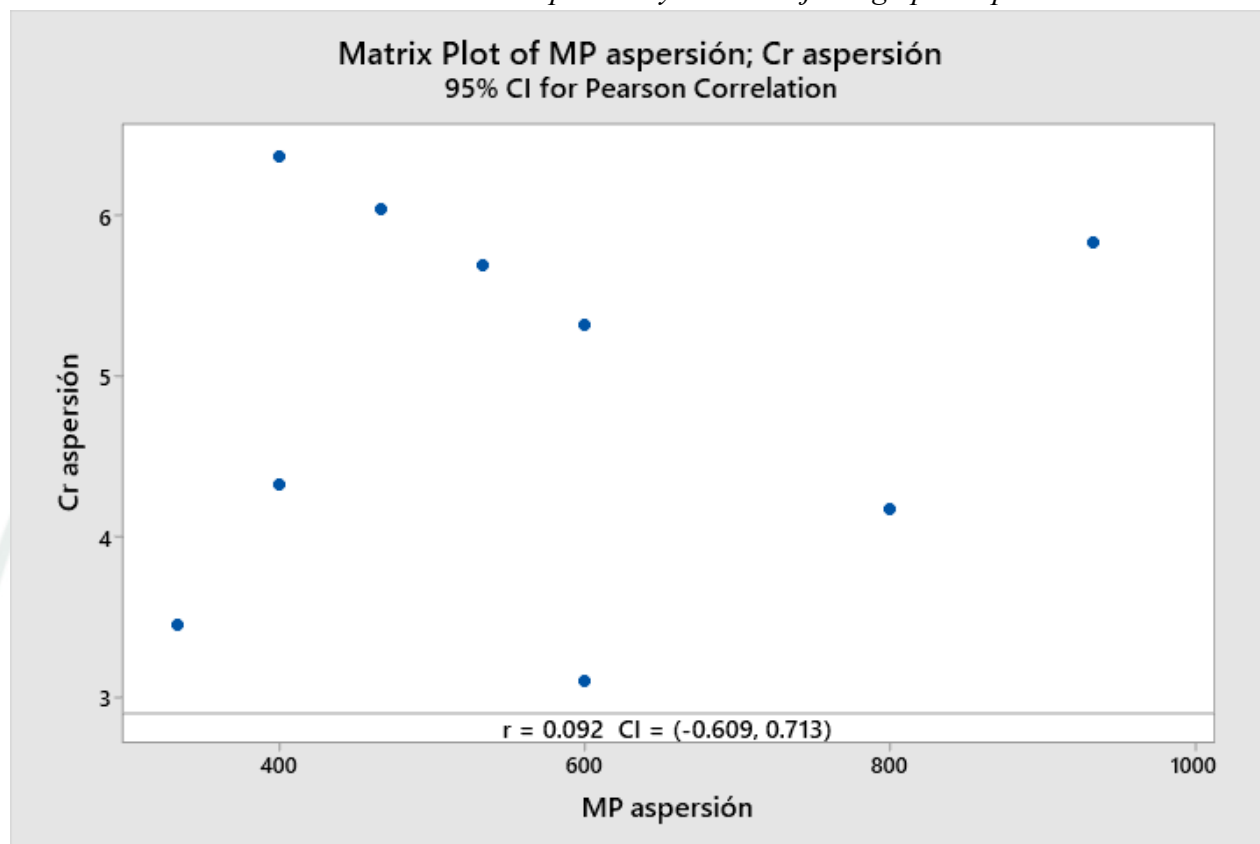
La figura 30 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cobre bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.247$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.787, 0.508$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de cobre en riego por goteo. La correlación negativa débil observada bajo riego por goteo sugiere que la aplicación localizada del agua no genera una relación consistente entre microplásticos y cobre, manteniéndose una distribución variable entre las muestras.

Cromo

Figura 31.

Correlación entre concentración de microplástico y cromo bajo riego por aspersión.



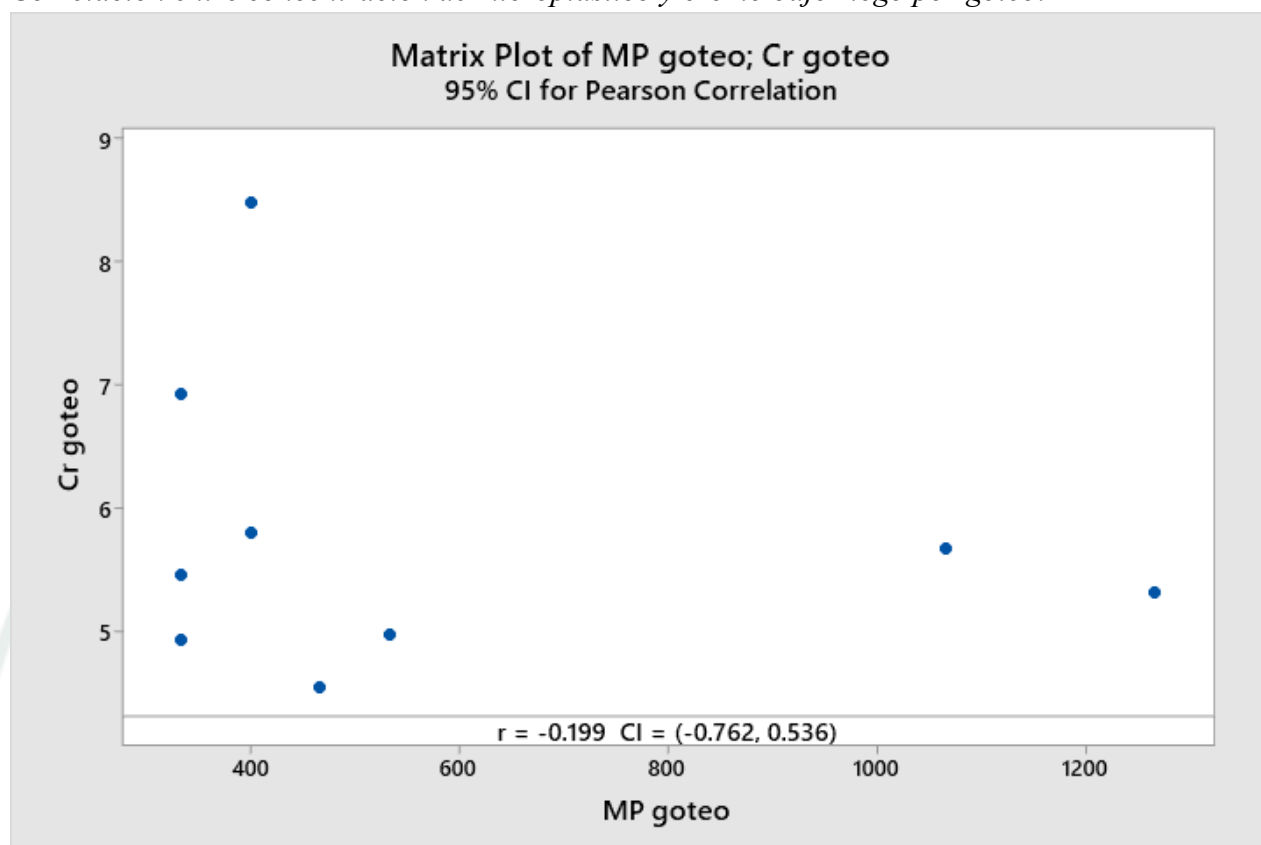
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 31 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cromo bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.092$, indicando una correlación positiva muy débil, y su intervalo de confianza $-0.609, 0.713$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa. La correlación muy débil y no significativa indica que, bajo riego por aspersión, la distribución del cromo no muestra una asociación clara con la presencia de microplásticos, reflejando una dispersión homogénea que limita la acumulación conjunta.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de cromo en riego por aspersión.

Figura 32.

Correlación entre concentración de microplástico y cromo bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

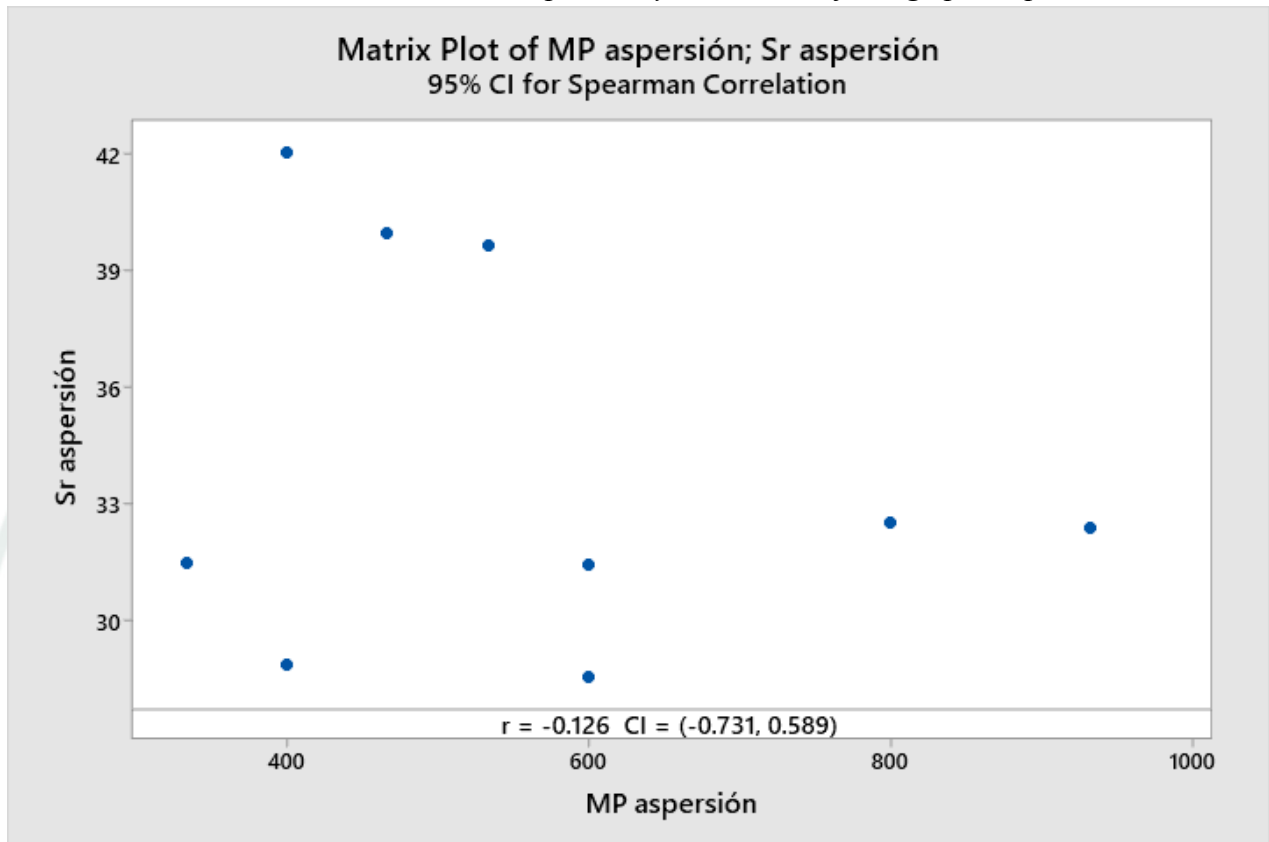
La figura 32 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y cromo bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.199$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.762, 0.536$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de cromo en riego por goteo. El comportamiento observado bajo riego por goteo muestra una relación negativa muy débil, lo que sugiere que, pese a la aplicación localizada del agua, no se establece una interacción consistente entre microplásticos y cromo en el suelo.

Estroncio

Figura 33.

Correlación entre concentración de microplástico y estroncio bajo riego por aspersión.



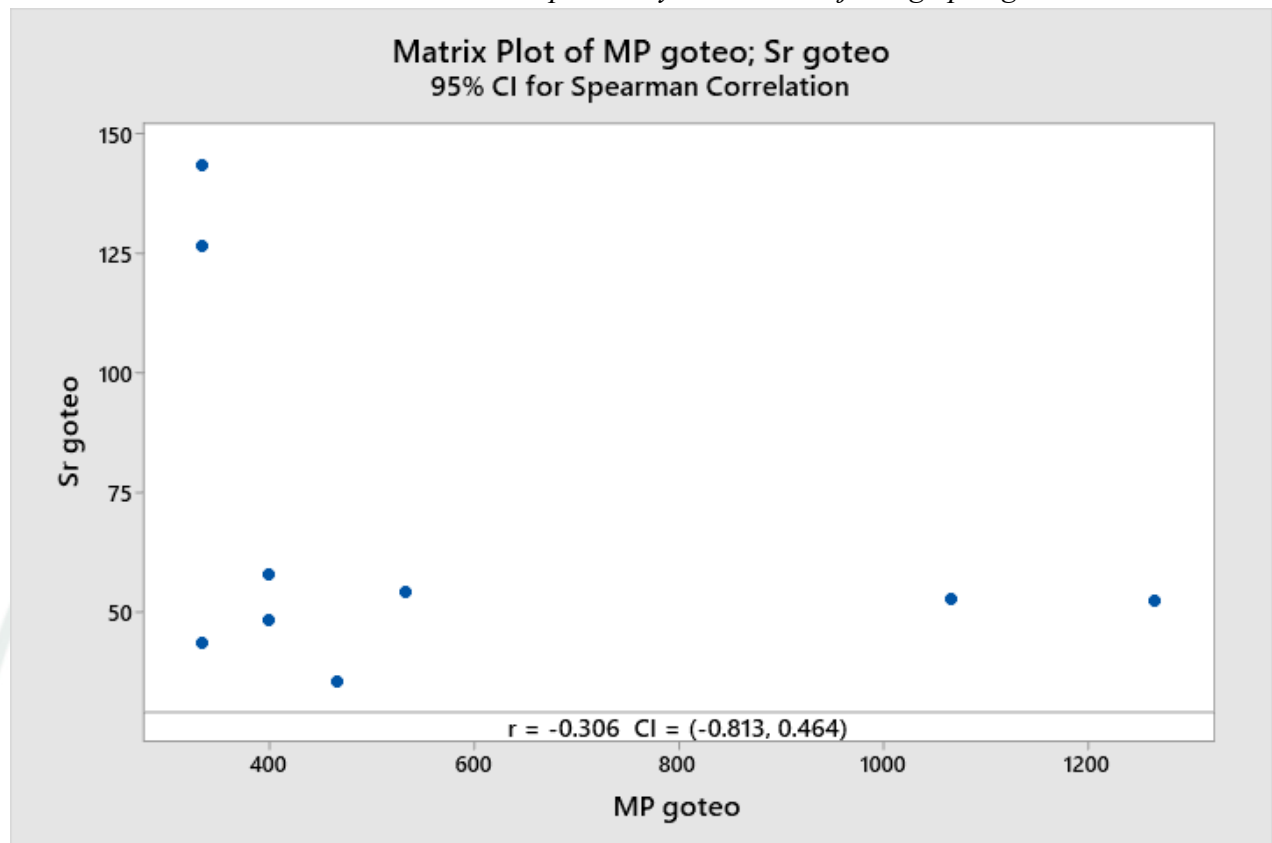
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 33 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y estroncio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.126$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.731, 0.589$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de estroncio en riego por aspersión. La correlación negativa muy débil indica que, bajo riego por aspersión, el estroncio presenta una distribución independiente de los microplásticos, sin evidenciar acumulación conjunta asociada al sistema de riego.

Figura 34.

Correlación entre concentración de microplástico y estroncio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

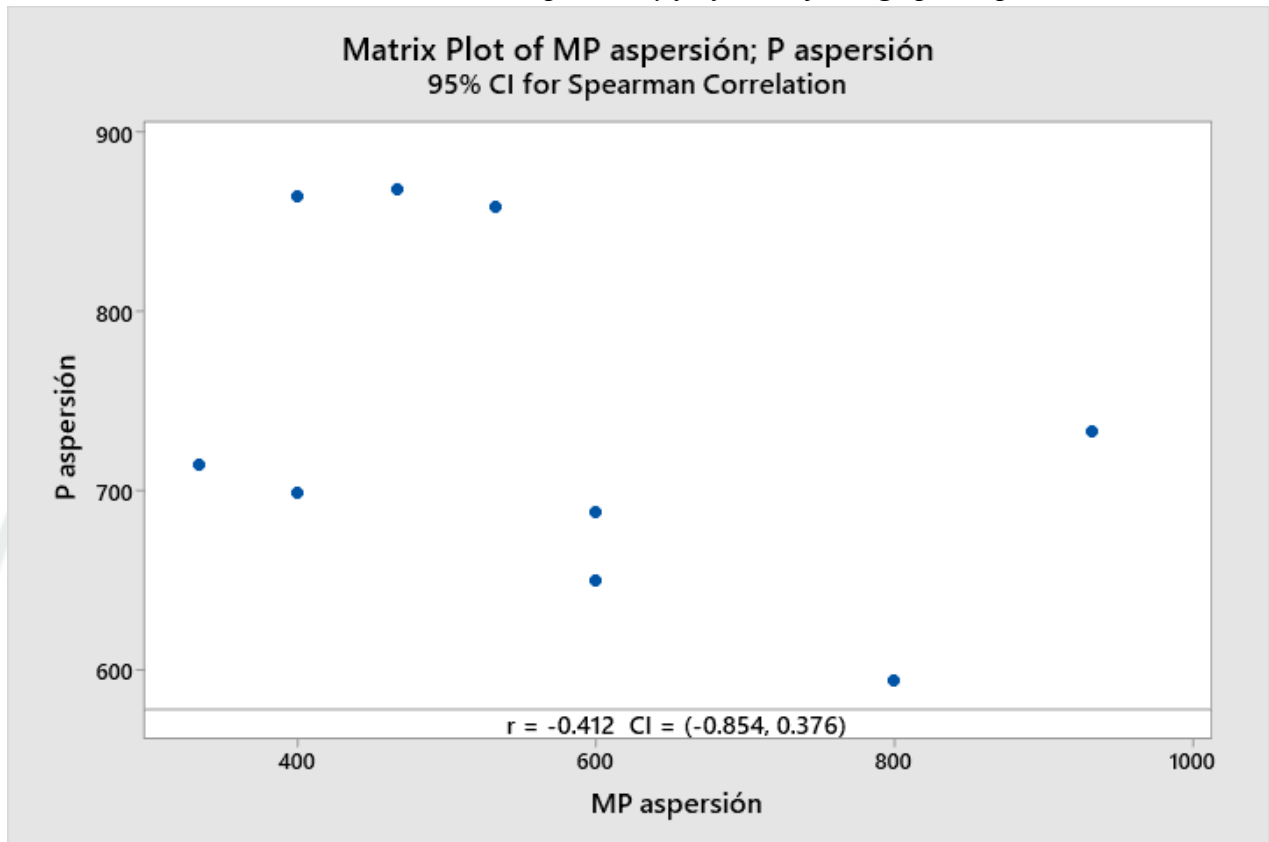
La figura 34 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y estroncio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.306$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.813, 0.464$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de estroncio en riego por goteo. La correlación negativa débil bajo riego por goteo sugiere una ligera tendencia a la separación entre estroncio y microplásticos; sin embargo, esta relación no es consistente, manteniéndose un comportamiento variable entre muestras.

Fósforo

Figura 35.

Correlación entre concentración de microplástico y fósforo bajo riego por aspersión.



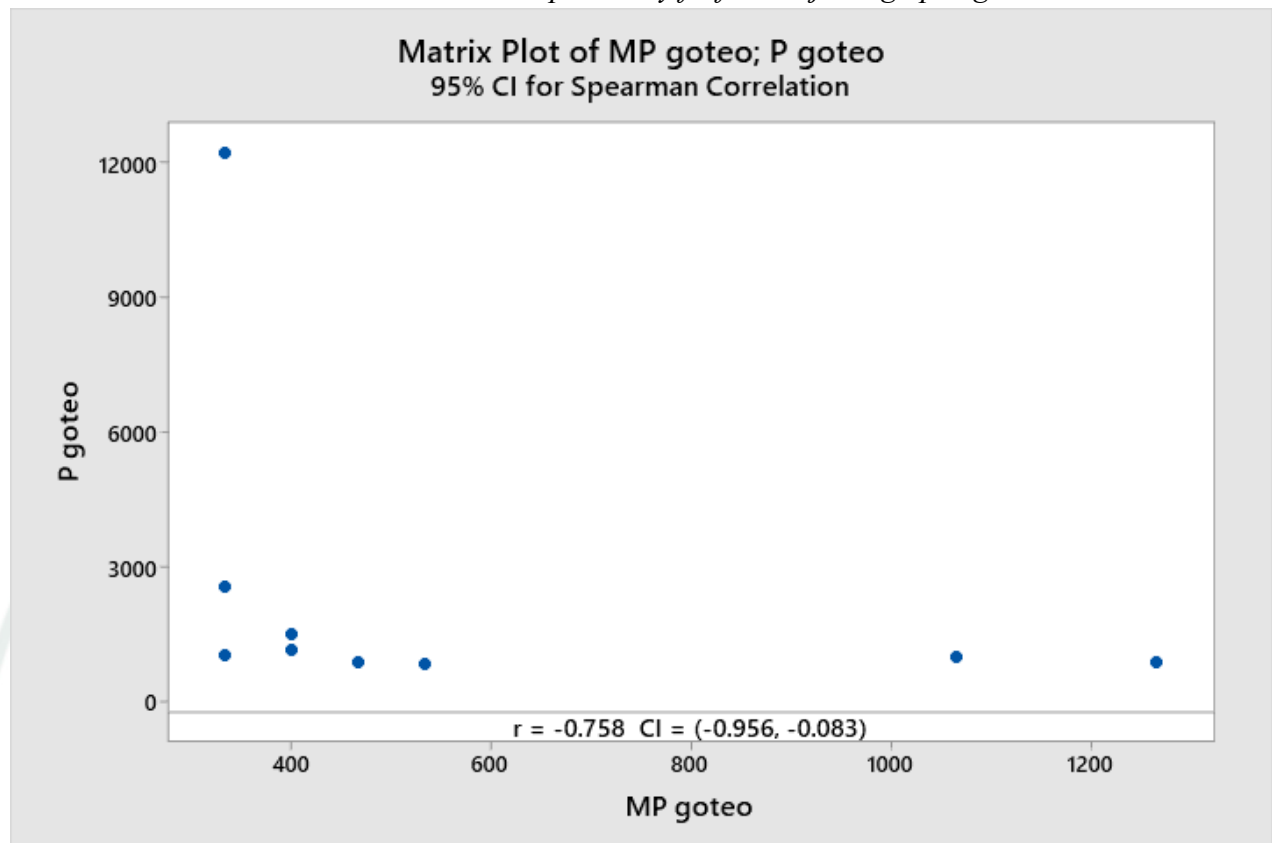
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 35 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y fósforo bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.412$ indicando una correlación negativa moderada, y su intervalo de confianza $-0.854, 0.376$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de fósforo en riego por aspersión. La correlación negativa moderada observada sugiere que, bajo riego por aspersión, el fósforo tiende a distribuirse de manera independiente de los microplásticos, posiblemente debido a una mayor redistribución del agua en el suelo.

Figura 36.

Correlación entre concentración de microplástico y fósforo bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

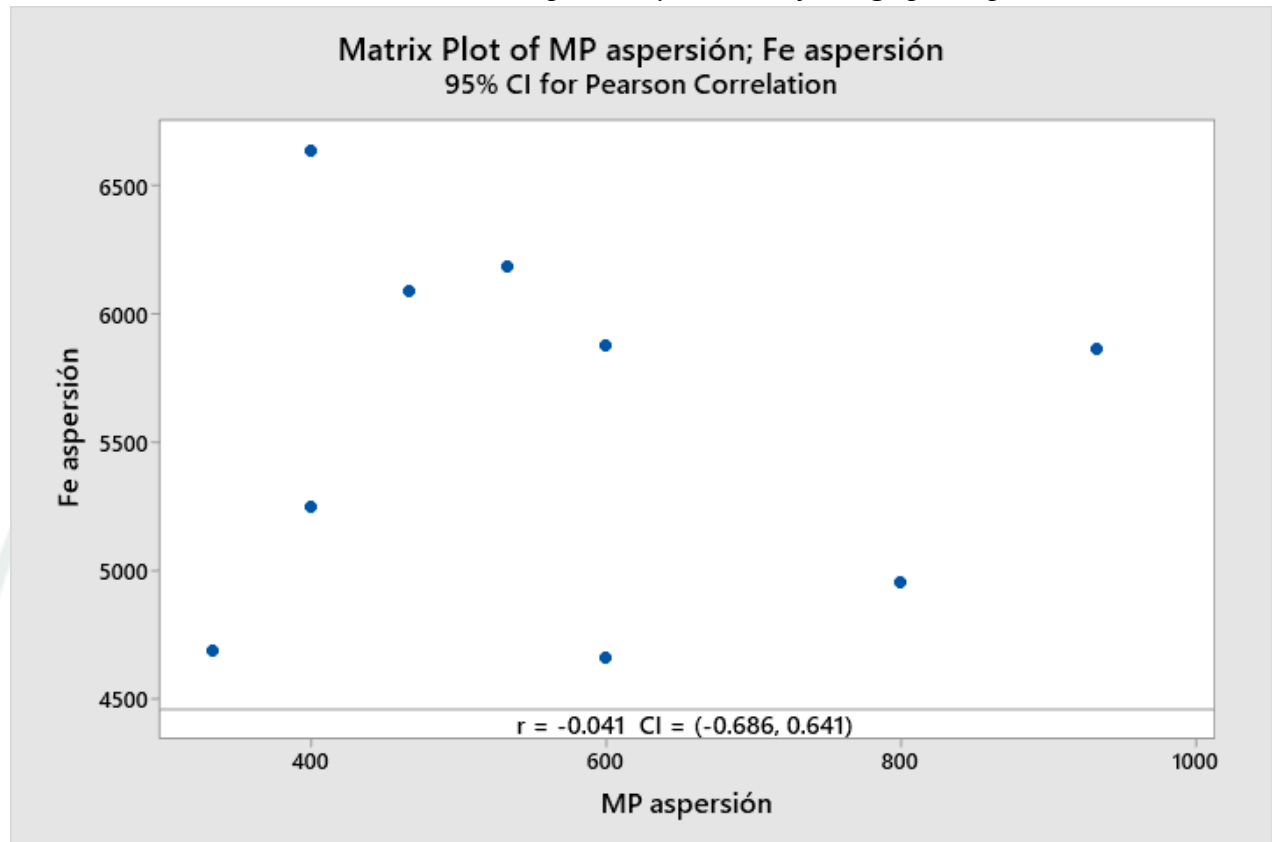
La figura 36 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y fósforo bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.758$ indicando una correlación negativa alta, y su intervalo de confianza $-0.956, 0.083$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de fósforo en riego por goteo. La correlación negativa alta bajo riego por goteo indica una mayor diferenciación espacial entre fósforo y microplásticos, lo que sugiere que la aplicación localizada del agua favorece patrones de acumulación diferenciados en el suelo.

Hierro

Figura 37.

Correlación entre concentración de microplástico y hierro bajo riego por aspersión.



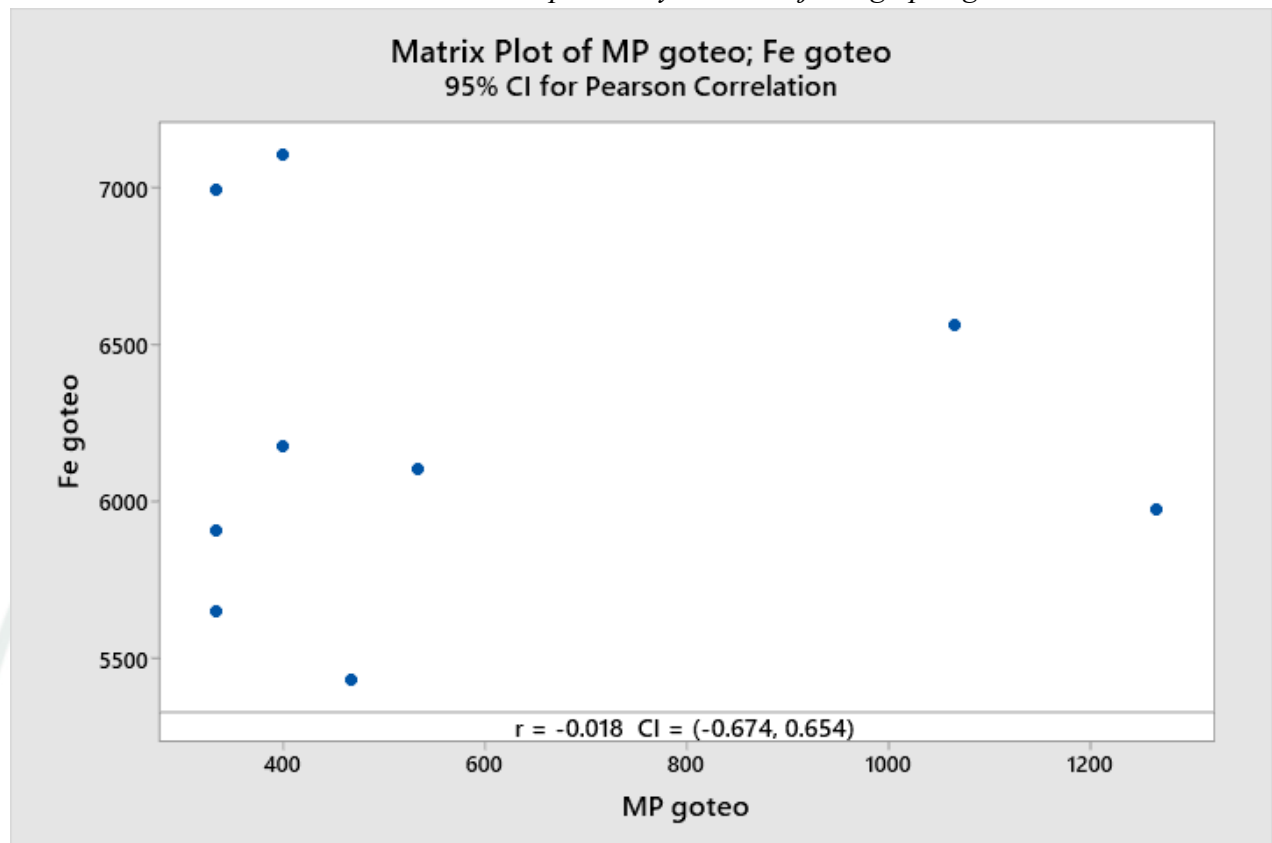
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 37 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y hierro bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.041$ indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.686, 0.641$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de hierro en riego por aspersión. La correlación prácticamente nula evidencia que, bajo riego por aspersión, el hierro y los microplásticos se comportan de manera independiente, sin una relación definida entre ambos componentes.

Figura 38.

Correlación entre concentración de microplástico y hierro bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

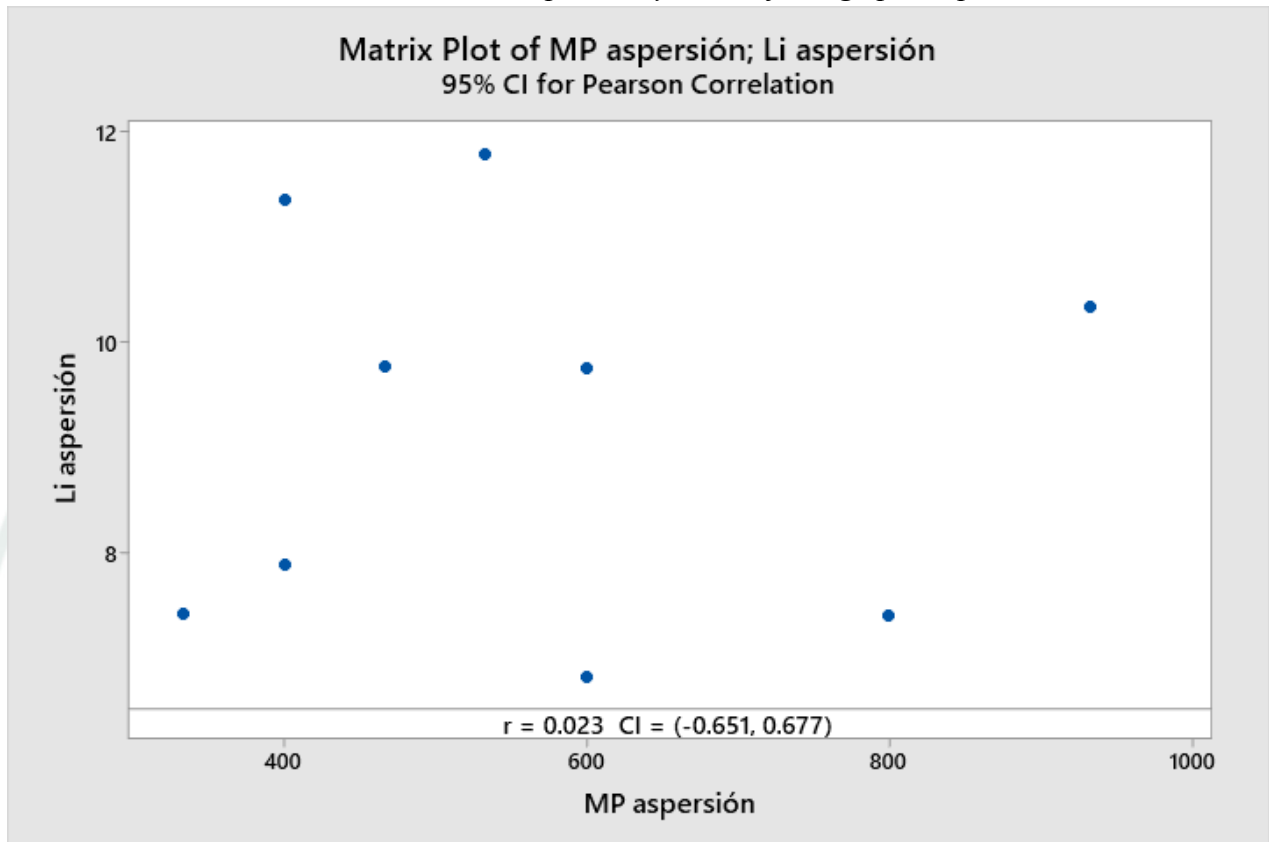
La figura 38 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y hierro bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.018$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.674, 0.654$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de hierro en riego por goteo. El resultado muestra que, bajo riego por goteo, no se establece una asociación entre hierro y microplásticos, manteniéndose una distribución variable que no responde a un patrón común.

Litio

Figura 39.

Correlación entre concentración de microplástico y litio bajo riego por aspersión.



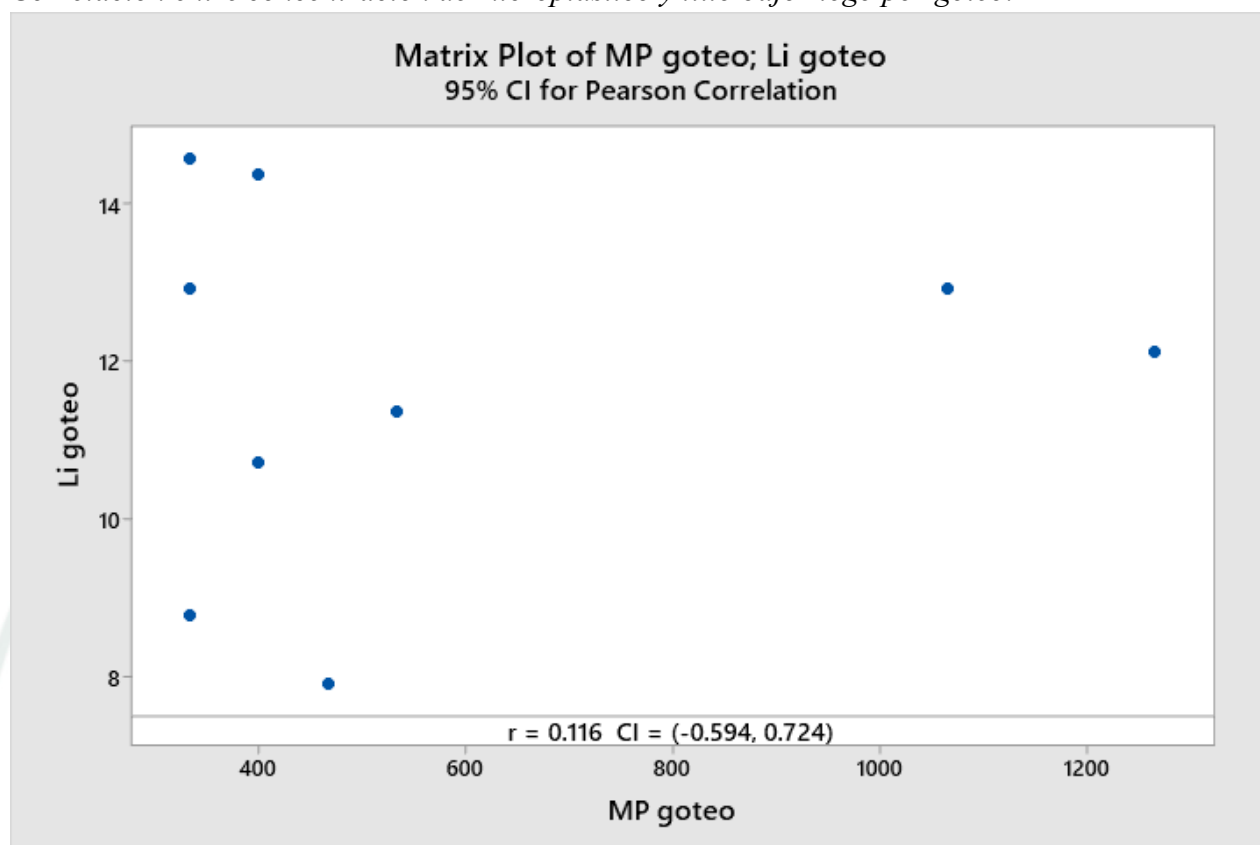
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 39 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y litio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.023$, indicando una correlación positiva muy débil, y su intervalo de confianza $-0.651, 0.677$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de litio en riego por aspersión. La correlación positiva muy débil indica que el litio no presenta una relación definida con los microplásticos bajo riego por aspersión, reflejando una distribución independiente en el suelo.

Figura 40.

Correlación entre concentración de microplástico y litio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

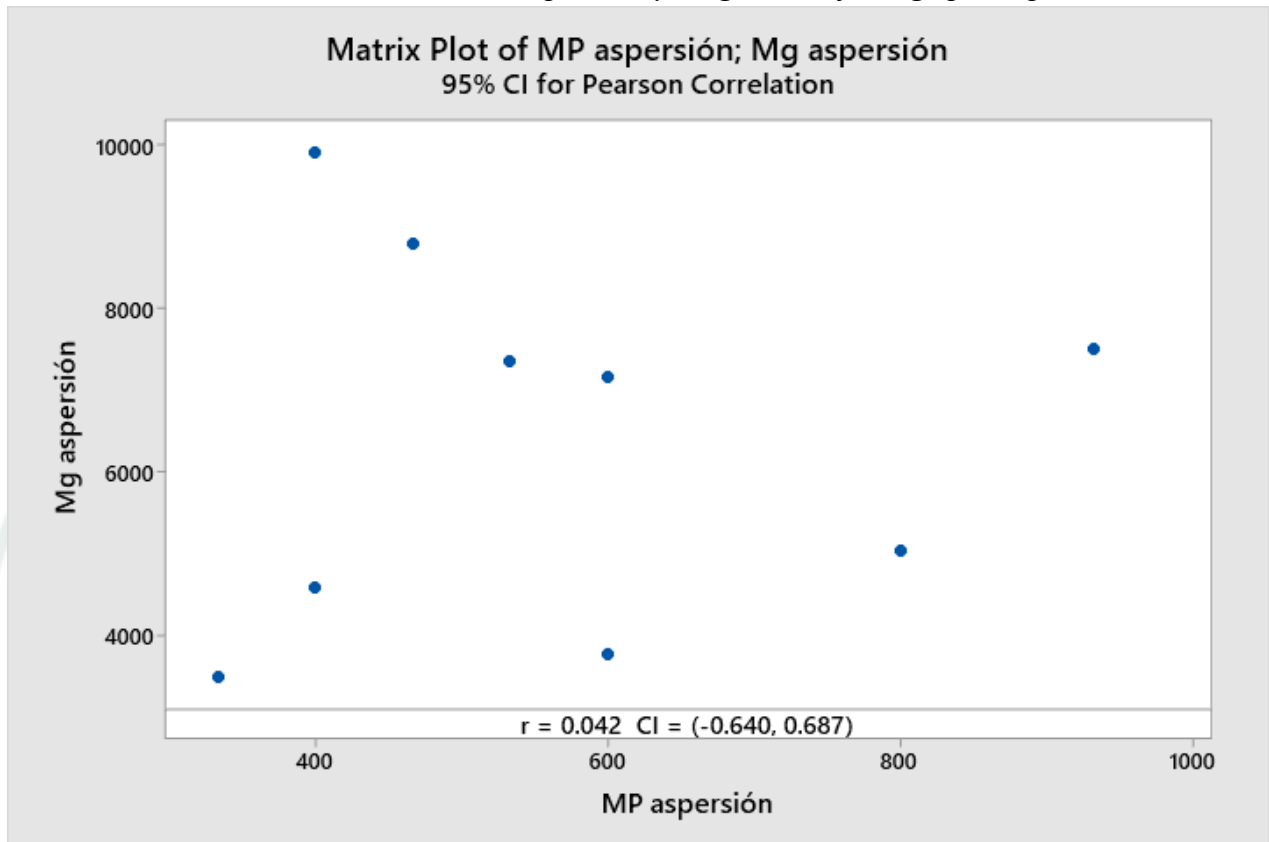
La figura 40 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y litio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.116$, indicando una correlación positiva muy débil, y su intervalo de confianza $-0.594, 0.724$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuir la cantidad de microplástico disminuye la concentración de litio en riego por goteo. El comportamiento observado bajo riego por goteo muestra una asociación muy débil, lo que sugiere que la presencia de microplásticos no condiciona la distribución del litio en el suelo.

Magnesio

Figura 41.

Correlación entre concentración de microplástico y magnesio bajo riego por aspersión.



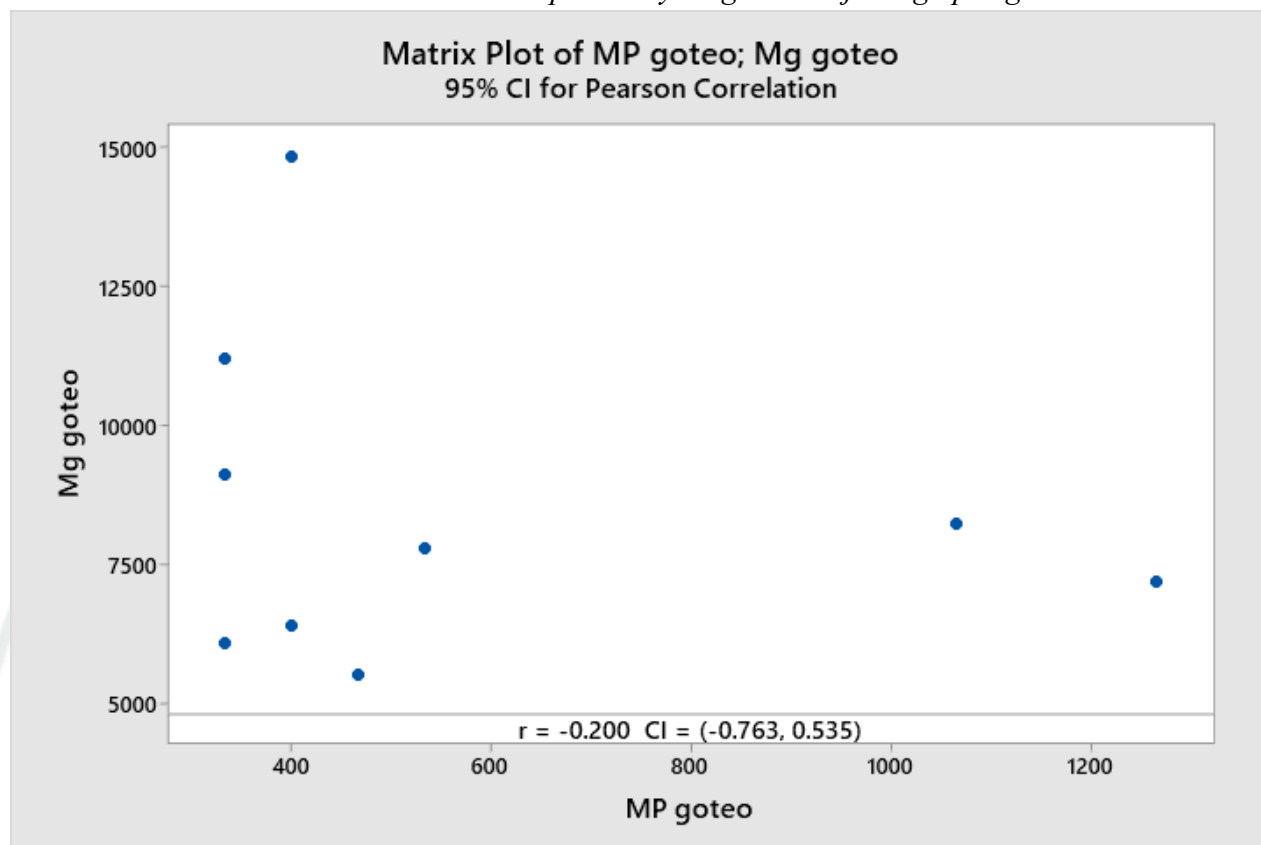
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 41 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y magnesio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.042$, indicando una correlación positiva muy débil, y su intervalo de confianza $-0.640, 0.687$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuir la cantidad de microplástico disminuye la concentración de magnesio en riego por aspersión. La correlación positiva muy débil evidencia que, bajo riego por aspersión, el magnesio mantiene un comportamiento independiente respecto a los microplásticos, sin acumulación conjunta.

Figura 42.

Correlación entre concentración de microplástico y magnesio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

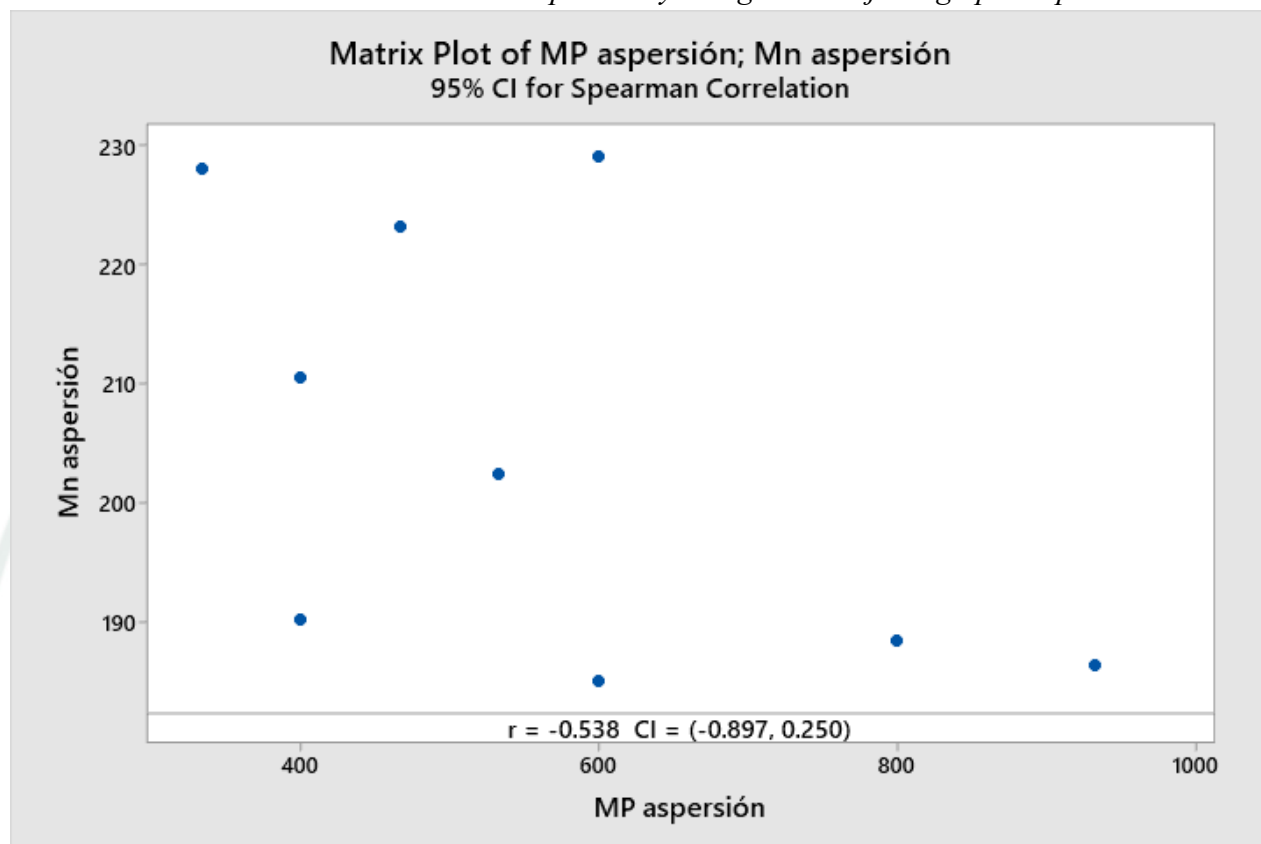
La figura 42 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y magnesio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.200$, indicando una correlación positiva débil, y su intervalo de confianza $-0.763, 0.535$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de magnesio en riego por goteo. La correlación negativa débil indica que, pese a la aplicación localizada del agua, no se observa una interacción consistente entre magnesio y microplásticos bajo riego por goteo.

Manganeso

Figura 43.

Correlación entre concentración de microplástico y manganeso bajo riego por aspersión.



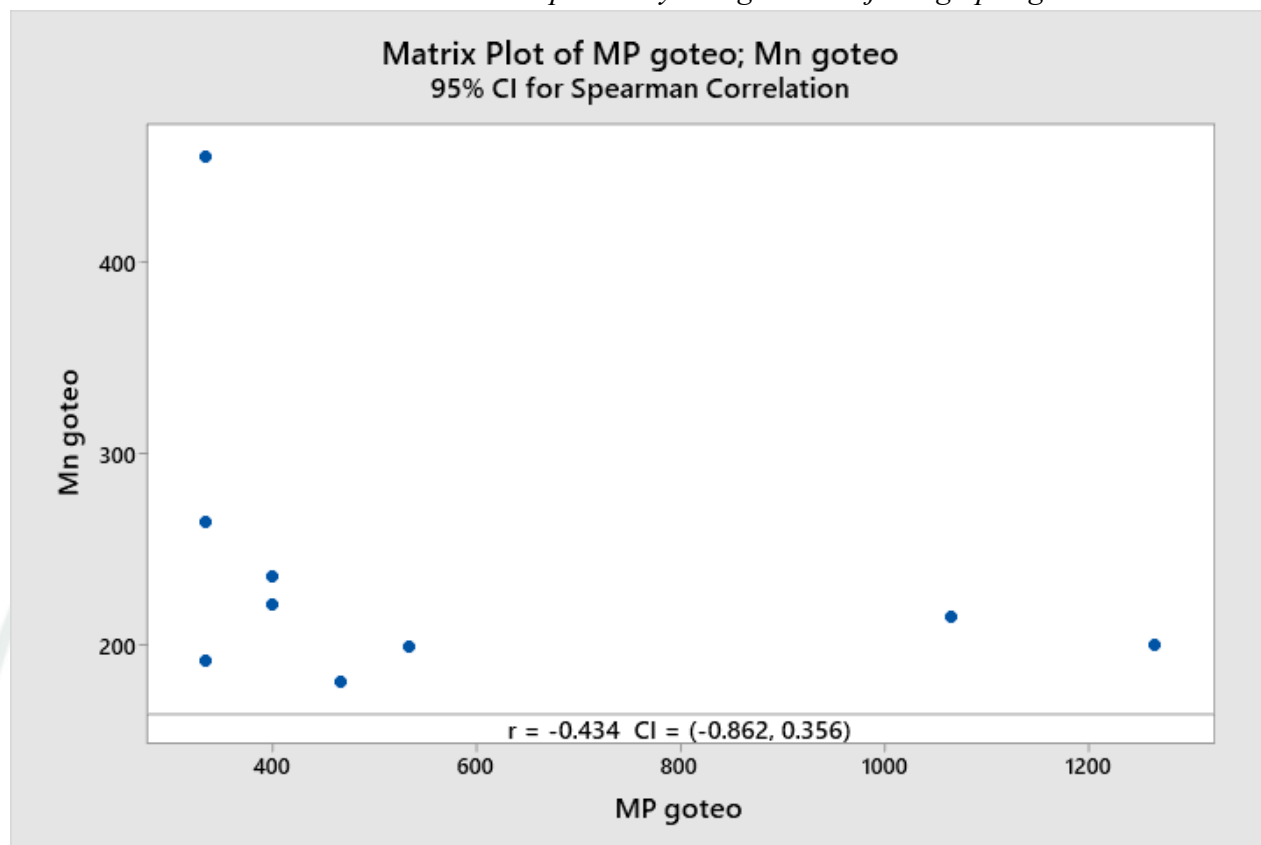
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 43 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y manganeso bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.538$, indicando una correlación negativa moderada, y su intervalo de confianza $-0.897, 0.250$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de manganeso en riego por aspersión. La correlación negativa moderada sugiere que, bajo riego por aspersión, el manganeso tiende a presentar una distribución diferenciada respecto a los microplásticos, sin una asociación uniforme entre ambos.

Figura 44.

Correlación entre concentración de microplástico y manganeso bajo riego por goteo



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

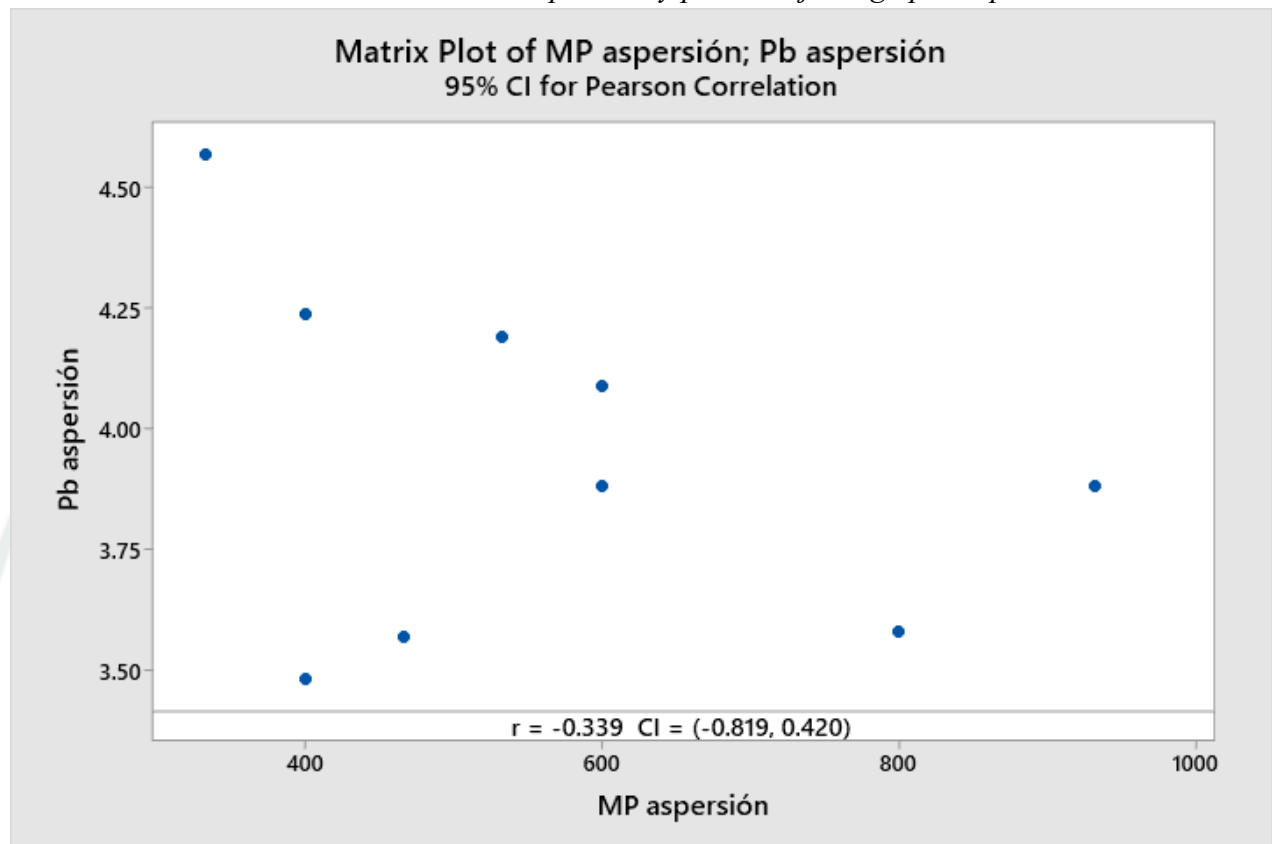
La figura 44 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y manganeso bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.434$, indicando una correlación negativa moderada, y su intervalo de confianza $-0.862, 0.356$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de manganeso en riego por goteo. El resultado indica que, bajo riego por goteo, existe una tendencia negativa moderada entre manganeso y microplásticos; sin embargo, esta relación no es consistente, reflejando una acumulación variable en el suelo.

Plomo

Figura 45.

Correlación entre concentración de microplástico y plomo bajo riego por aspersión.



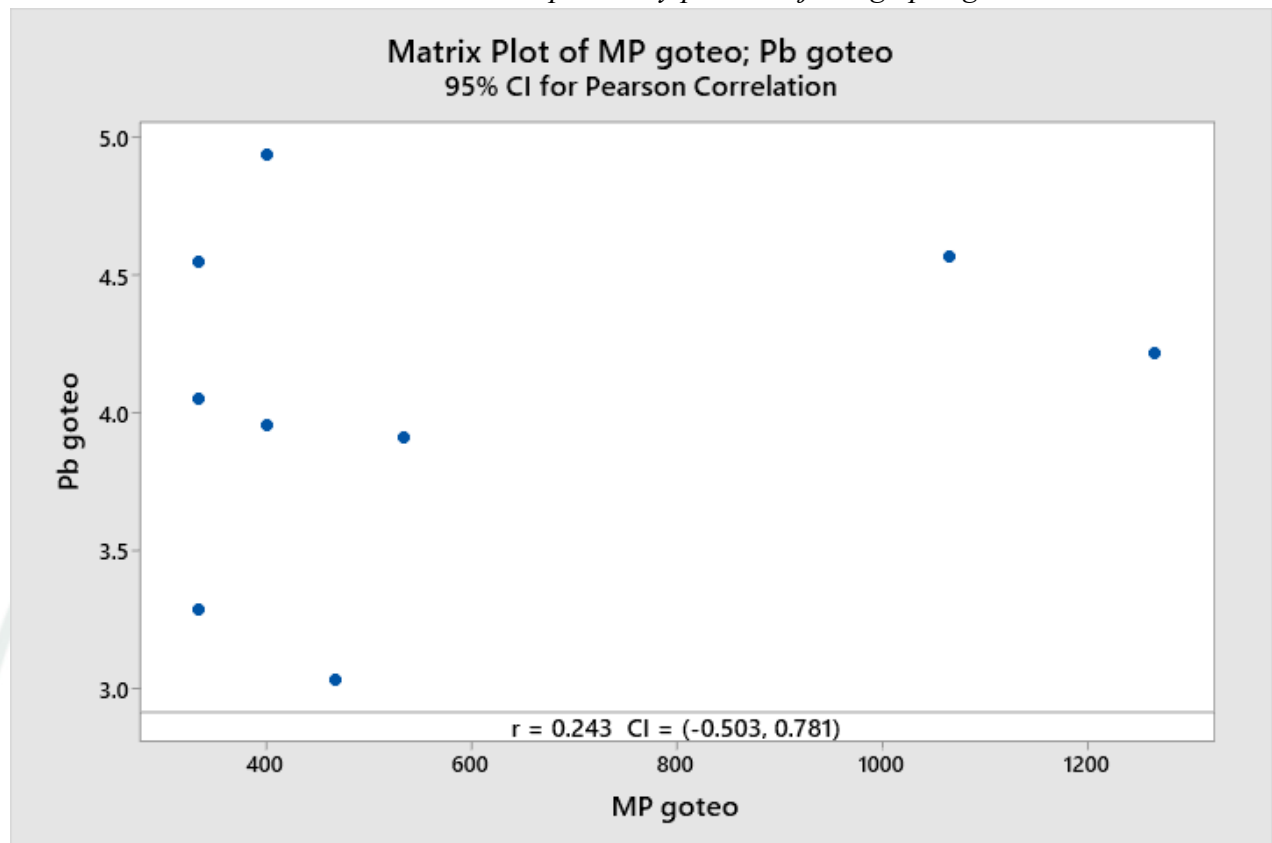
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 45 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y plomo bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.339$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.819, 0.420$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de plomo en riego por aspersión. La correlación negativa débil muestra que, bajo riego por aspersión, el plomo no presenta una asociación definida con los microplásticos, manteniendo una distribución independiente.

Figura 46.

Correlación entre concentración de microplástico y plomo bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

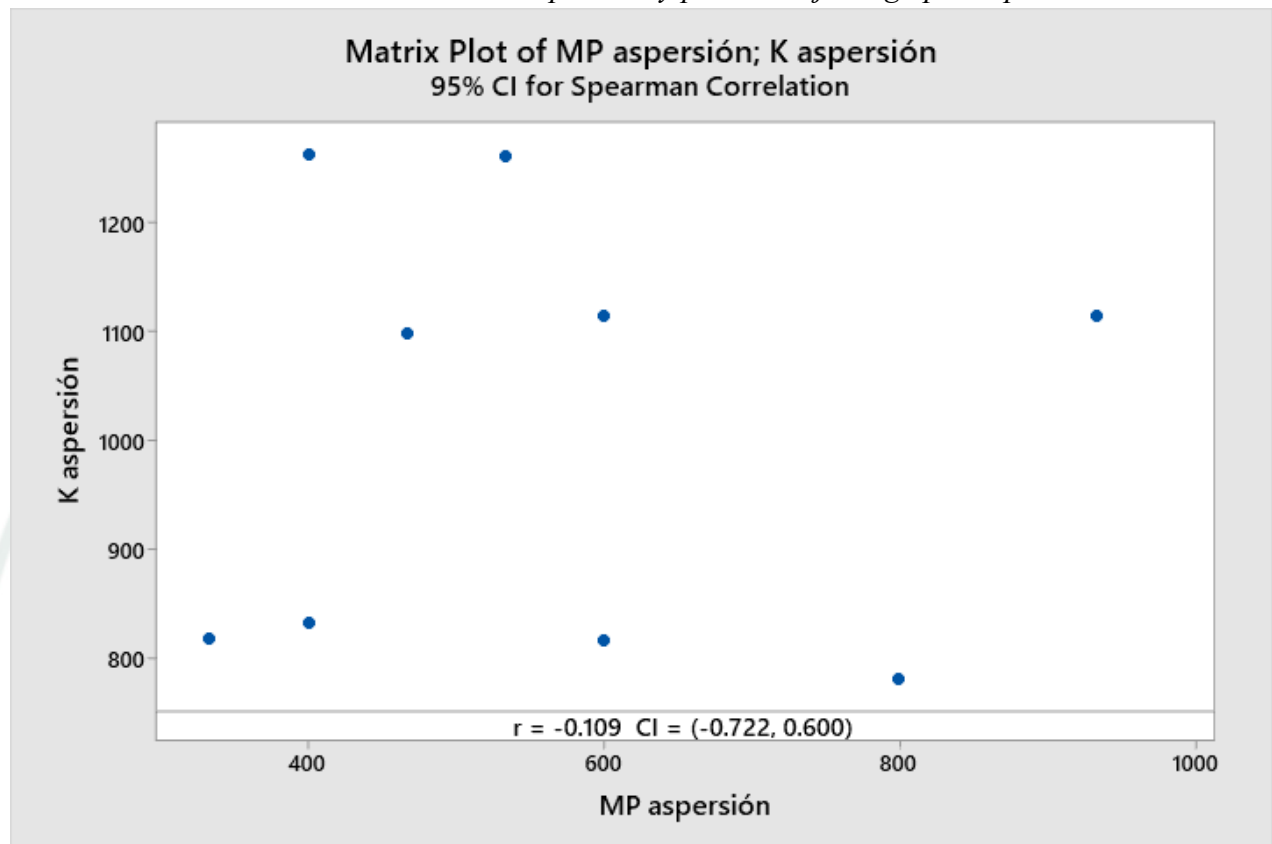
La figura 46 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y plomo bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.243$, indicando una correlación positiva débil, y su intervalo de confianza $-0.503, 0.781$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de plomo en riego por goteo. La correlación positiva débil observada sugiere que, bajo riego por goteo, el plomo y los microplásticos pueden coexistir en zonas localizadas, aunque sin una relación consistente entre ambas variables.

Potasio

Figura 47.

Correlación entre concentración de microplástico y potasio bajo riego por aspersión.



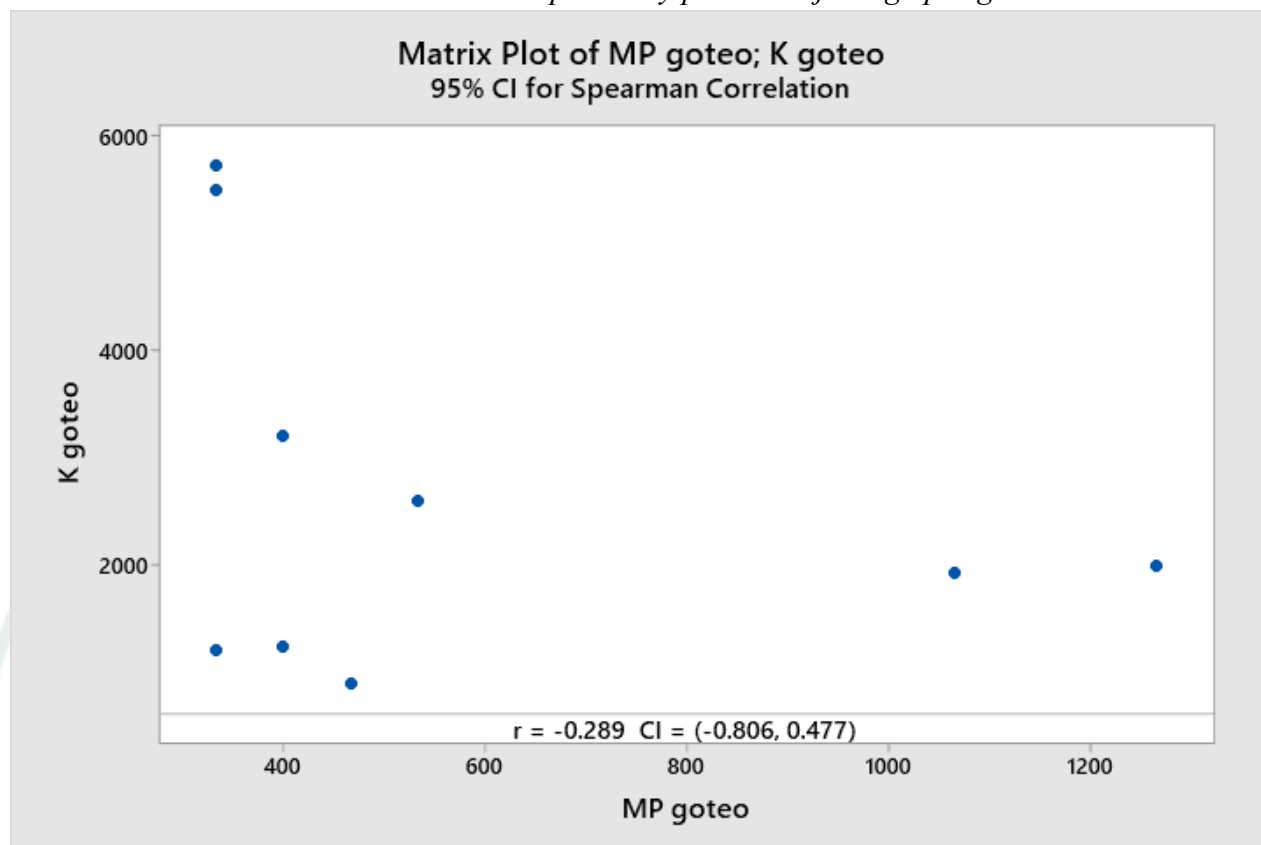
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 47 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y potasio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.109$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.722, 0.600$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de potasio en riego por goteo. La correlación negativa muy débil indica que, bajo riego por aspersión, el potasio presenta una distribución independiente de los microplásticos, sin evidencia de acumulación conjunta.

Figura 48.

Correlación entre concentración de microplástico y potasio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

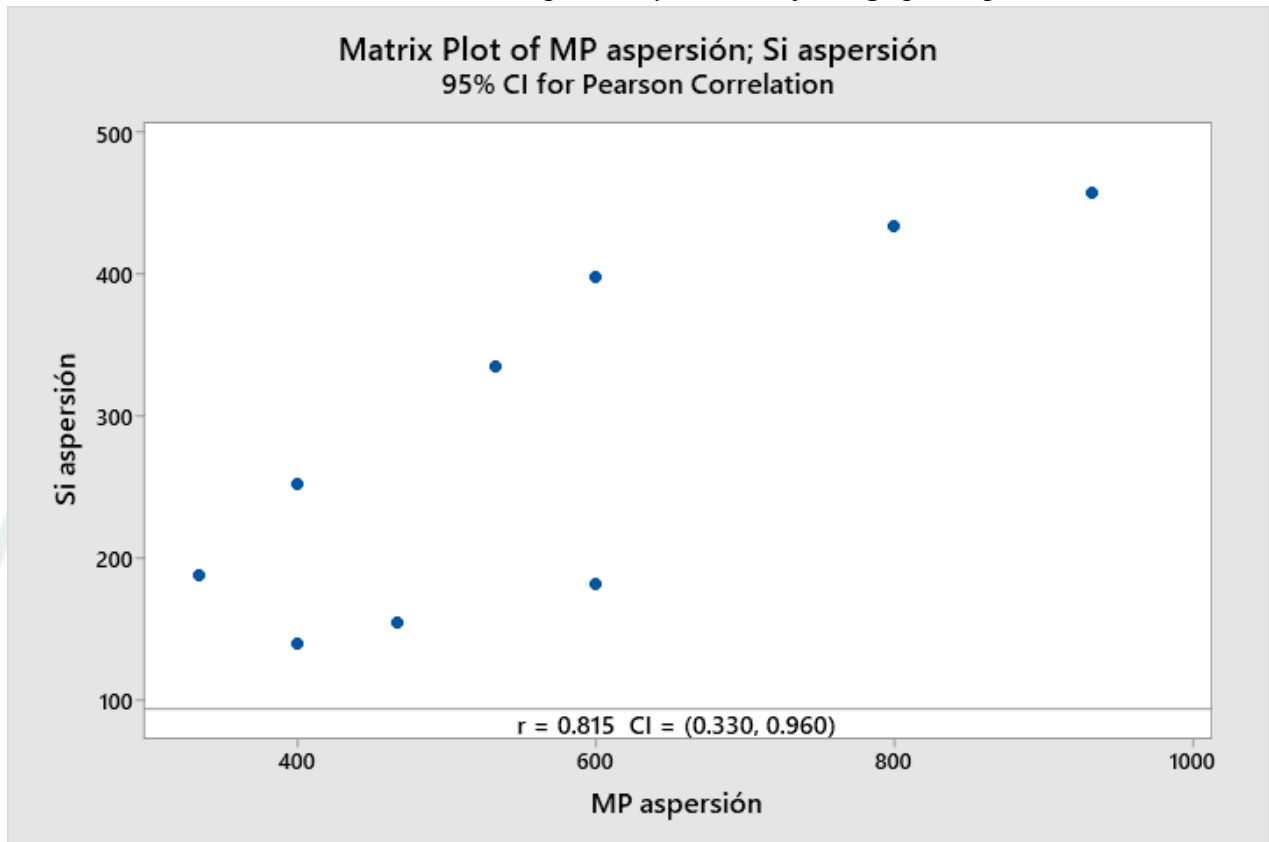
La figura 48 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y potasio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.289$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.806, 0.477$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de potasio en riego por goteo. El comportamiento negativo débil observado bajo riego por goteo sugiere una ligera diferenciación espacial entre potasio y microplásticos, sin establecer una relación definida.

Silicio

Figura 49.

Correlación entre concentración de microplástico y silicio bajo riego por aspersión.



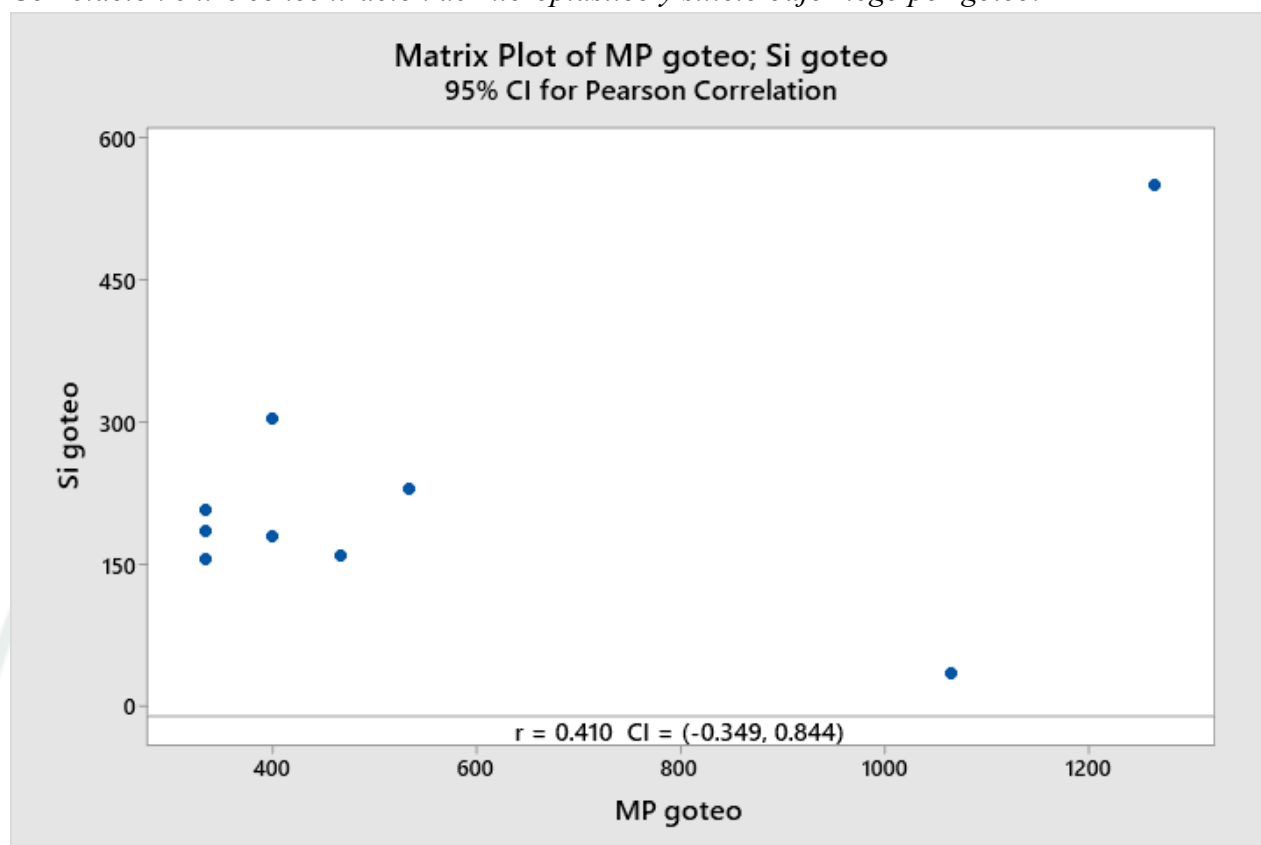
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 49 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y silicio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.815$, indicando una correlación positiva alta, y su intervalo de confianza 0.330, 0.960 el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de silicio en riego por aspersión. La correlación positiva alta sugiere una coincidencia espacial entre silicio y microplásticos bajo riego por aspersión; no obstante, la variabilidad observada indica que esta asociación no es uniforme en todas las muestras.

Figura 50.

Correlación entre concentración de microplástico y silicio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

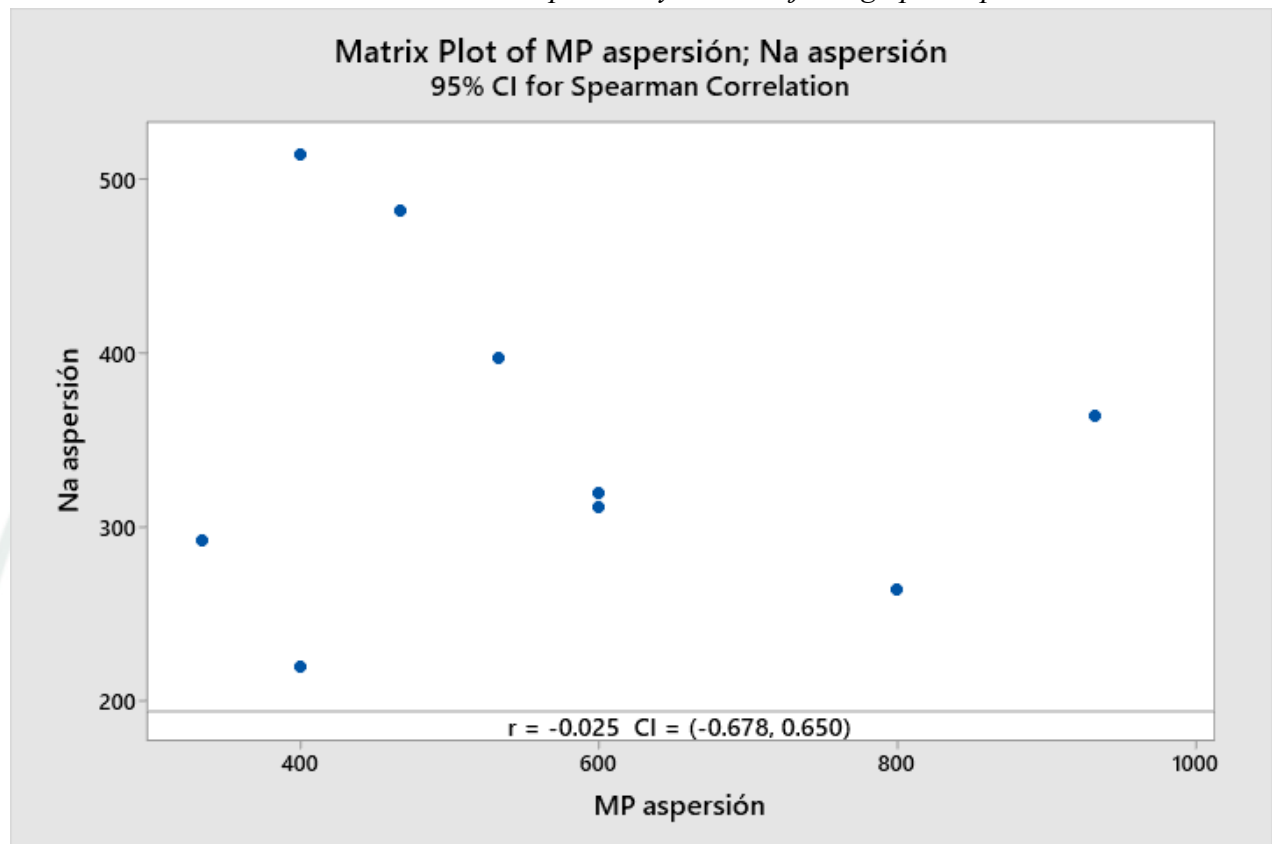
La figura 50 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y silicio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.410$, indicando una correlación positiva moderada, y su intervalo de confianza $-0.349, 0.844$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de silicio en riego por goteo. La correlación positiva moderada indica que, bajo riego por goteo, el silicio y los microplásticos tienden a concentrarse en zonas similares del suelo, reflejando el efecto de la aplicación localizada del agua.

Sodio

Figura 51.

Correlación entre concentración de microplástico y sodio bajo riego por aspersión



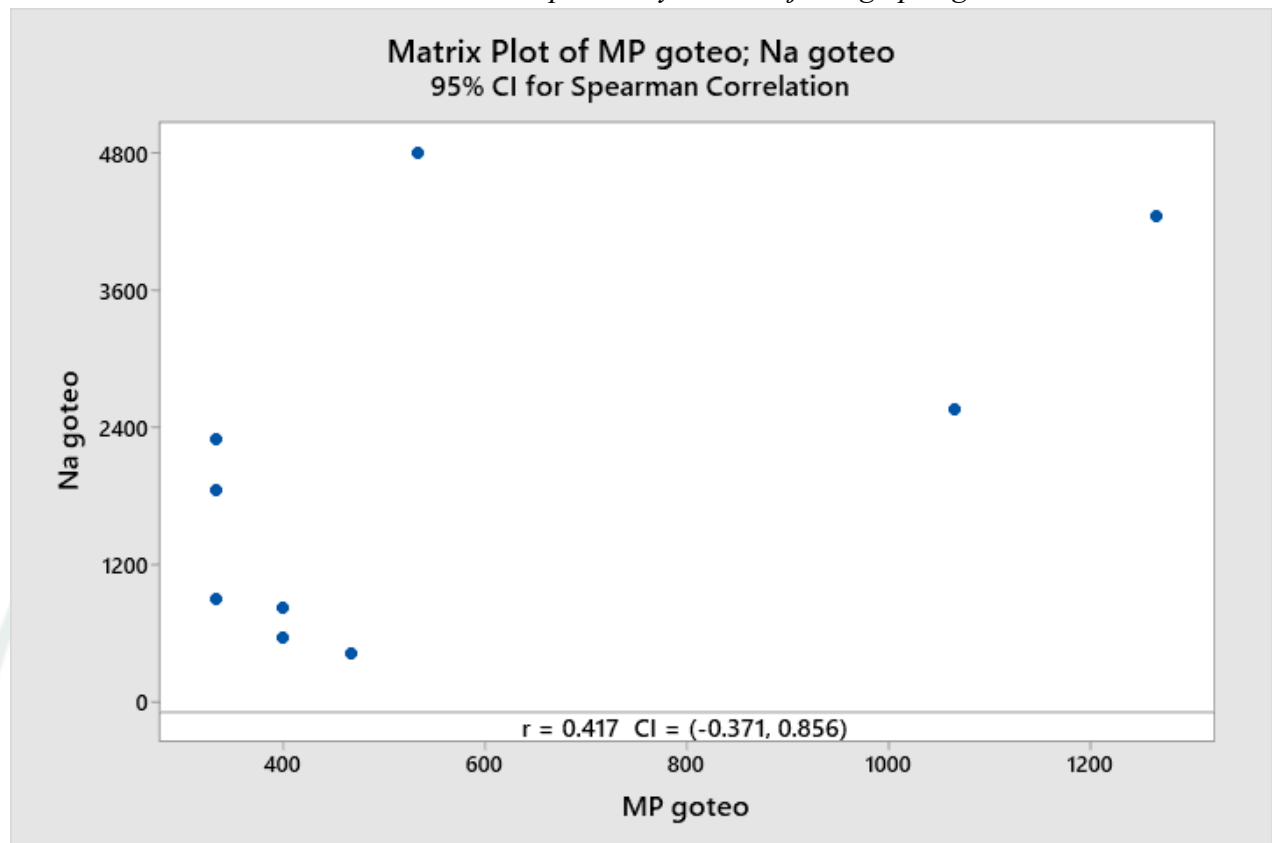
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 51 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y sodio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.025$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.678, 0.650$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de sodio en riego por aspersión. La correlación negativa muy débil evidencia que, bajo riego por aspersión, el sodio mantiene un comportamiento independiente respecto a los microplásticos, sin acumulación conjunta.

Figura 52.

Correlación entre concentración de microplástico y sodio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

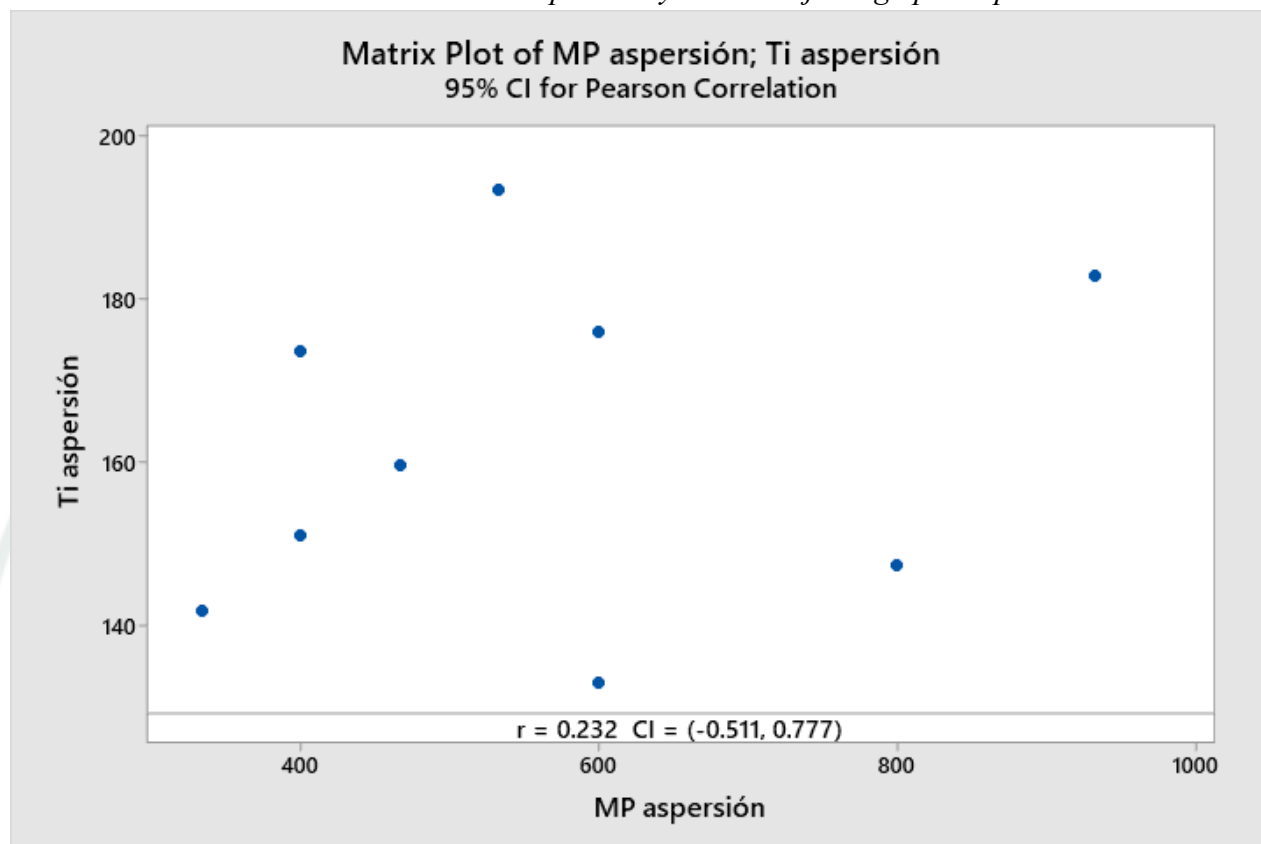
La figura 52 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y sodio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = 0.417$, indicando una correlación positiva moderada, y su intervalo de confianza $-0.371, 0.856$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de sodio en riego por goteo. La correlación positiva moderada sugiere que, bajo riego por goteo, el sodio y los microplásticos tienden a coexistir en zonas localizadas del suelo, aunque sin una relación consistente en todas las muestras.

Titanio

Figura 53.

Correlación entre concentración de microplástico y titanio bajo riego por aspersión



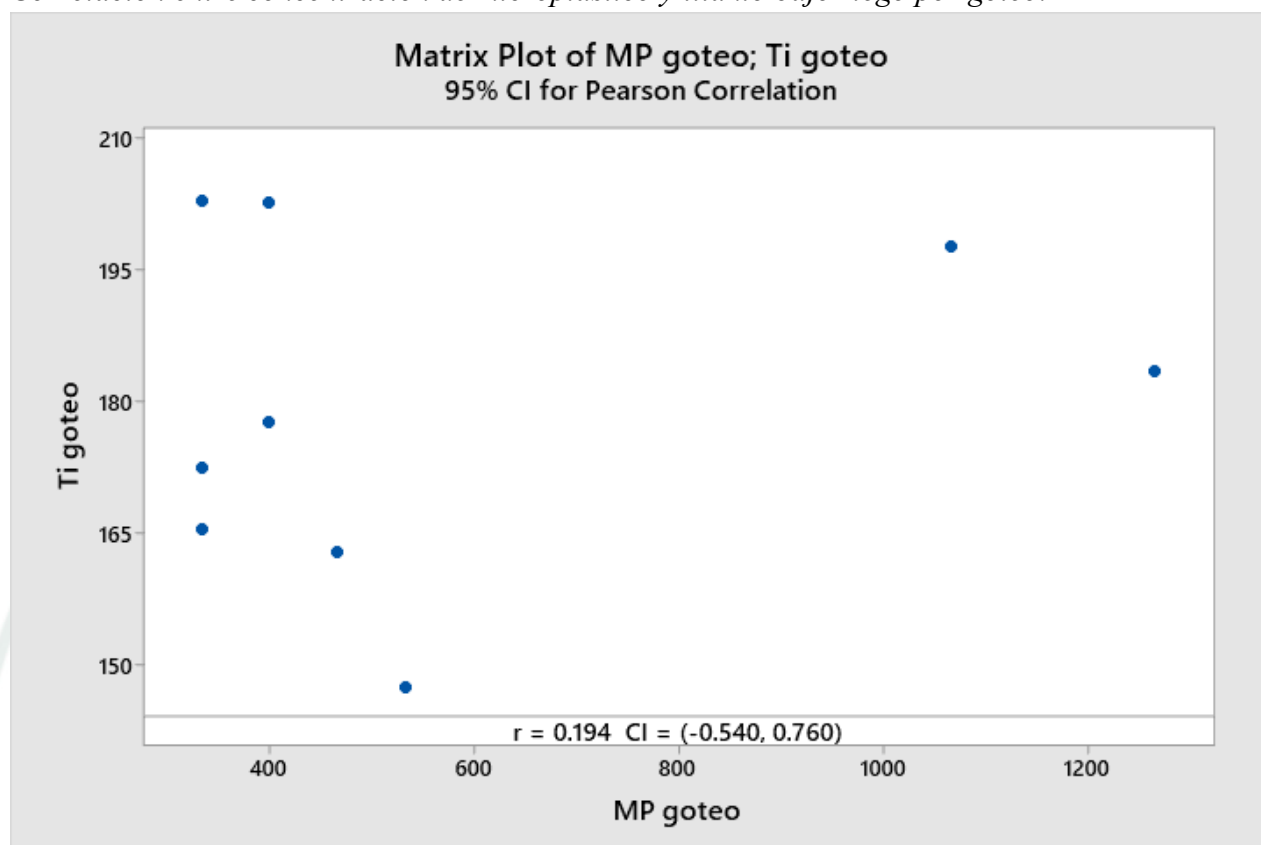
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 53 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y titanio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.232$, indicando una correlación positiva débil, y su intervalo de confianza $-0.511, 0.777$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de titanio en riego por aspersión. La correlación positiva débil indica que, bajo riego por aspersión, el titanio no presenta una asociación clara con los microplásticos, manteniéndose una distribución independiente.

Figura 54.

Correlación entre concentración de microplástico y titanio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

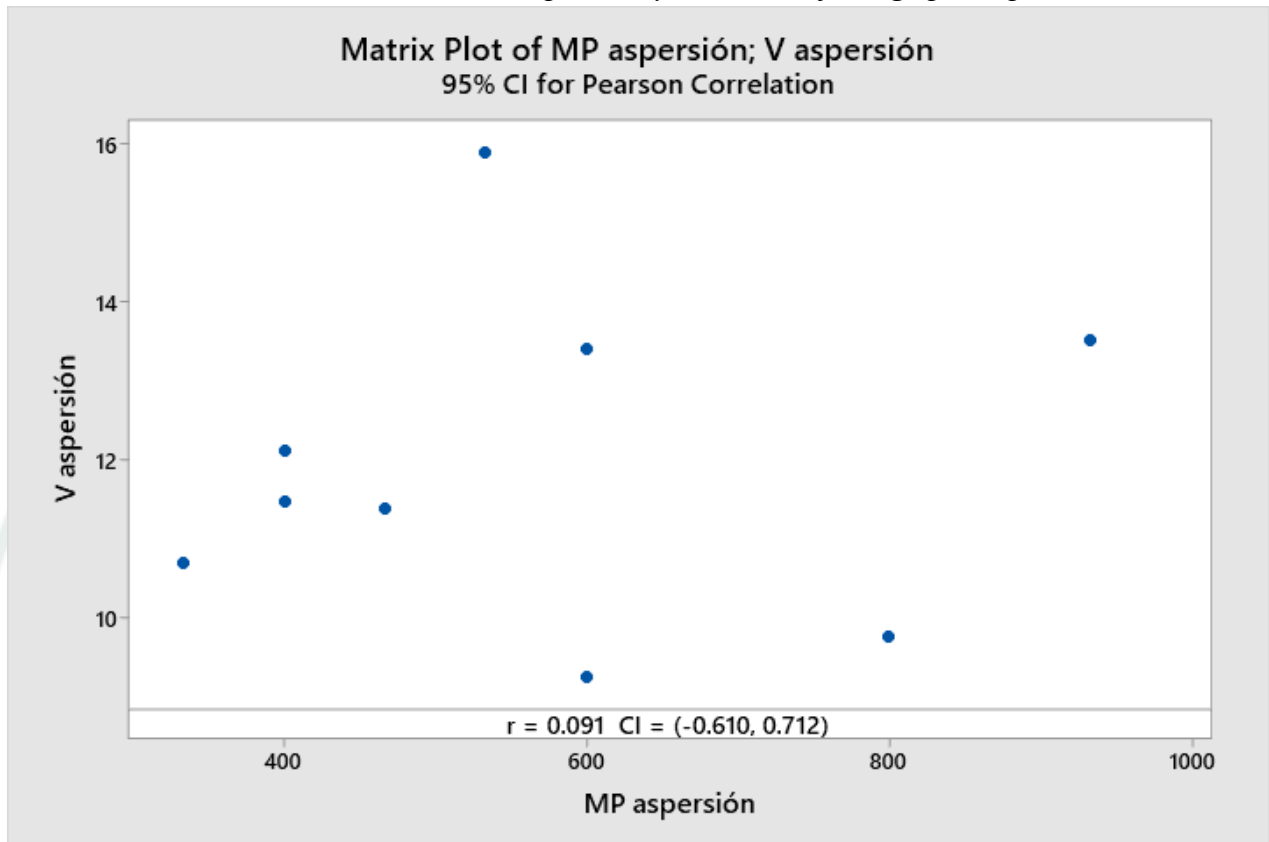
La figura 54 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y titanio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.194$, indicando una correlación positiva muy débil, y su intervalo de confianza $-0.540, 0.760$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de titanio en riego por aspersión. El comportamiento positivo muy débil observado bajo riego por goteo sugiere que la presencia de microplásticos no condiciona la distribución del titanio en el suelo.

Vanadio

Figura 55.

Correlación entre concentración de microplástico y vanadio bajo riego por aspersión.



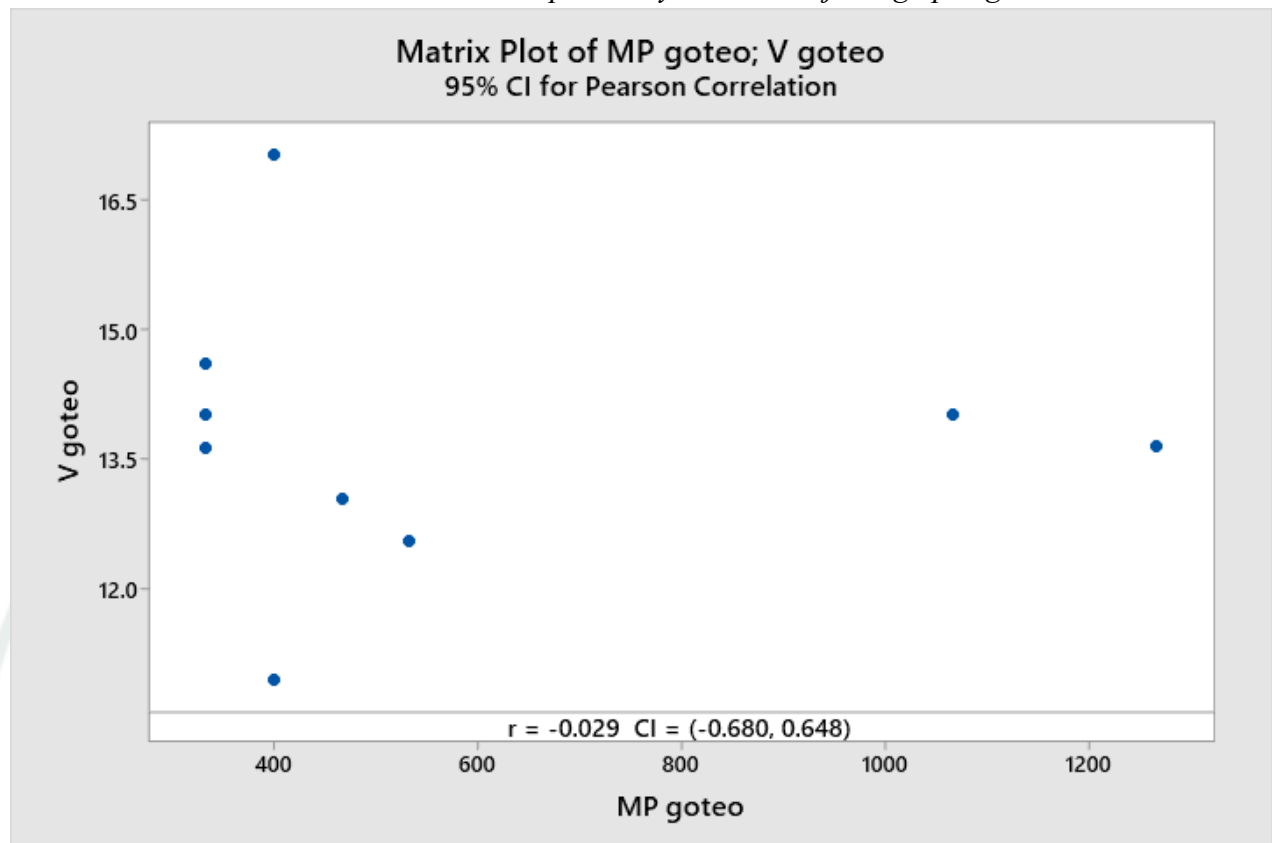
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 55 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y vanadio bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Pearson $r = 0.091$, indicando una correlación positiva muy débil, y su intervalo de confianza $-0.610, 0.712$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que disminuye la cantidad de microplástico disminuye la concentración de vanadio en riego por aspersión. La correlación positiva muy débil evidencia que, bajo riego por aspersión, el vanadio y los microplásticos no presentan una relación definida, manteniendo un comportamiento independiente.

Figura 56.

Correlación entre concentración de microplástico y vanadio bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

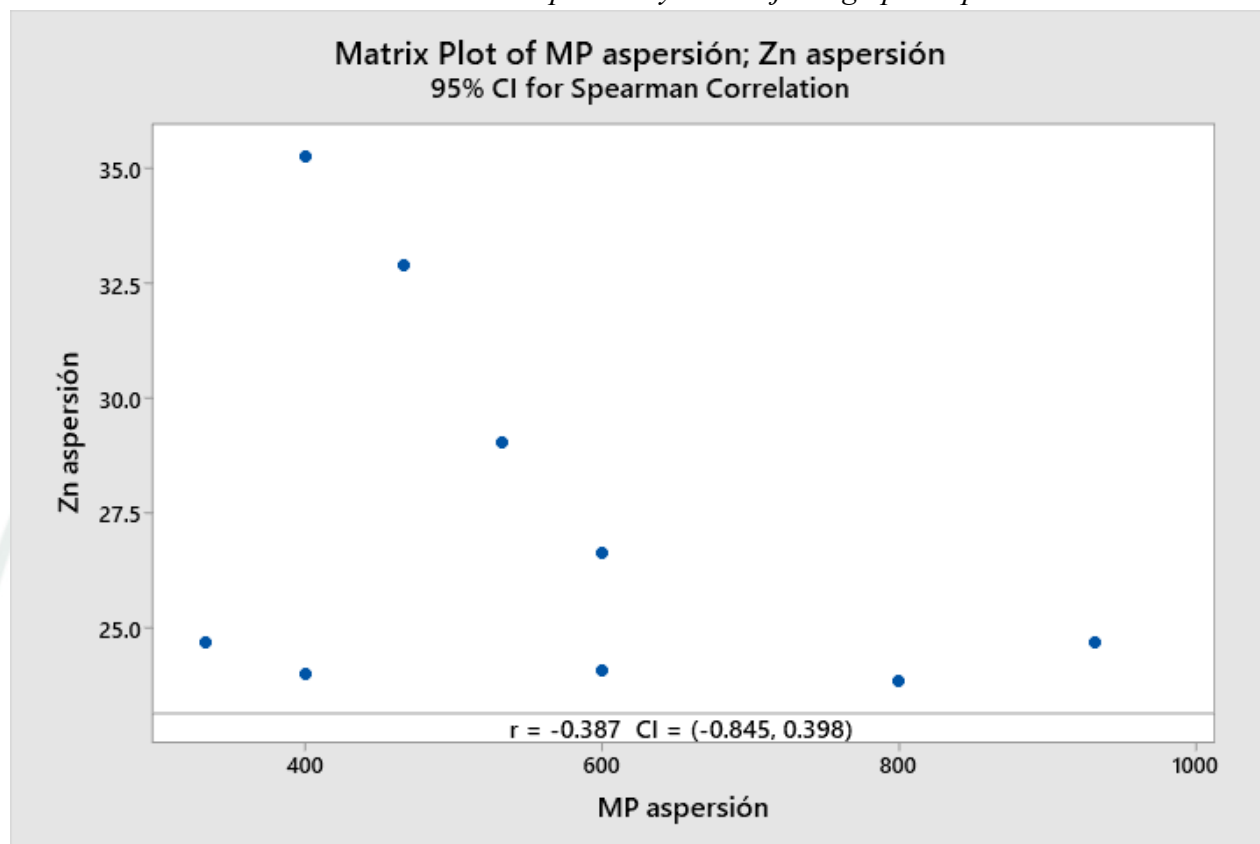
La figura 56 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y vanadio bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Pearson $r = -0.029$, indicando una correlación negativa muy débil, y su intervalo de confianza $-0.680, 0.648$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de vanadio en riego por goteo. La correlación negativa muy débil indica que, bajo riego por goteo, no se establece una interacción clara entre vanadio y microplásticos en el suelo.

Zinc

Figura 57.

Correlación entre concentración de microplástico y zinc bajo riego por aspersión.



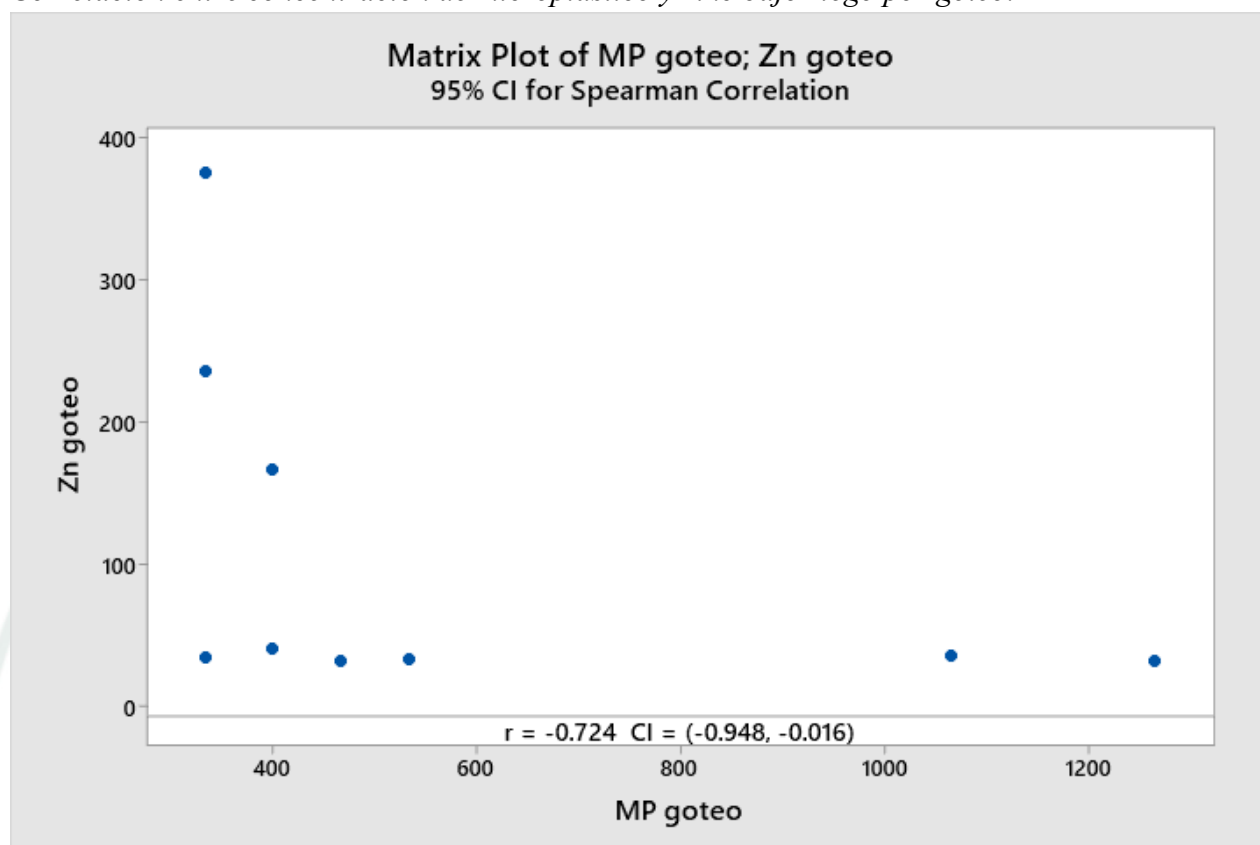
Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 57 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y zinc bajo riego por aspersión, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.387$, indicando una correlación negativa débil, y su intervalo de confianza $-0.845, 0.398$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de zinc en riego por aspersión. La correlación negativa débil sugiere que, bajo riego por aspersión, el zinc presenta una distribución diferenciada respecto a los microplásticos, sin una asociación consistente.

Figura 58.

Correlación entre concentración de microplástico y zinc bajo riego por goteo.



Nota. Elaboración propia. Software: MINITAB

La figura 58 muestra el diagrama de dispersión de la correlación entre microplástico y zinc bajo riego por goteo, indicando el coeficiente de Spearman $r = -0.724$, indicando una correlación negativa alta, y su intervalo de confianza $-0.948, -0.016$ el cual incluye el valor de cero, haciendo referencia que estadísticamente no es significativa.

Se deduce que, a medida que aumenta la cantidad de microplástico disminuye la concentración de zinc en riego por goteo. La correlación negativa alta indica que, bajo riego por goteo, el zinc y los microplásticos tienden a concentrarse de manera diferenciada, reflejando patrones de acumulación contrastantes asociados a la aplicación localizada del riego.

Tabla 16.*Correlación de microplásticos y metales totales en dos sistemas de riego*

Metal	Método	Aspersión		Goteo	
		r	Correlación	r	Correlación
Aluminio	Spearman	-0.092	negativa muy débil	-0.068	negativa muy débil
Arsénico	Pearson	0.373	positiva débil	0.515	positiva moderada
Bario	Spearman	0.008	positiva nula	-0.238	negativa débil
Boro	Spearman	0.067	positiva muy débil	0.502	positiva moderada
Cadmio	Pearson	-0.277	negativa débil	0.667	positiva moderada
Calcio	Pearson	-0.25	negativa débil	0.031	positiva muy débil
Cerio	Pearson	-0.319	negativa débil	-0.186	negativa muy débil
Cobre	Spearman	-0.017	negativa muy débil	-0.247	negativa débil
Cromo	Pearson	0.092	positiva muy débil	-0.199	negativa muy débil
Estroncio	Spearman	-0.126	negativa muy débil	-0.306	negativa débil
Fósforo	Spearman	-0.412	negativa moderada	-0.758	negativa alta
Hierro	Pearson	-0.041	negativa muy débil	-0.018	negativa muy débil
Litio	Pearson	0.023	Positiva muy débil	0.166	positiva muy débil
Magnesio	Pearson	0.042	Positiva muy débil	-0.2	negativa débil
Manganeso	Spearman	-0.538	negativa moderada	-0.434	negativa moderada
Plomo	Pearson	-0.339	negativa débil	0.243	positiva débil
Potasio	Spearman	-0.109	negativa muy débil	-0.289	negativa débil
Silicio	Pearson	0.815	positiva alta	0.41	positiva moderada
Sodio	Spearman	-0.025	negativa muy débil	0.417	positiva moderada
Titanio	Pearson	0.232	positiva débil	0.194	positiva muy débil
Vanadio	Pearson	0.091	Positiva muy débil	-0.029	negativa muy débil
Zinc	Spearman	-0.387	negativa débil	-0.724	negativa alta

Los resultados obtenidos en los suelos agrícolas de El Pedregal muestran que existe una interacción clara entre los microplásticos y los metales totales, interacción que además se ve profundamente modulada por el tipo de sistema de riego utilizado. Este hallazgo adquiere relevancia cuando se compara con la literatura existente, la cual, aunque extensa en torno a los microplásticos, aún presenta limitaciones cuando se analiza de forma conjunta la presencia de

metales, microplásticos y prácticas agrícolas como el riego. En este contexto, el presente estudio se posiciona como un aporte significativo, pues no solo confirma tendencias descritas en otros continentes, sino que también ofrece evidencia novedosa para los suelos agrícolas peruanos, integrando información química, física y de dinámica de riego.

Los patrones encontrados indican que el riego por goteo genera correlaciones de mayor magnitud entre microplásticos y metales totales en relación con el riego por aspersión. Las correlaciones positivas moderadas en el sistema por goteo, como Cadmio ($r = 0.667$), Arsénico ($r = 0.515$), Boro ($r = 0.502$) y Silicio ($r = 0.41$), sugieren la existencia de un mecanismo de co-acumulación espacial entre estos metales y los microplásticos. Este comportamiento puede explicarse por la naturaleza puntual y continua del riego por goteo, que genera zonas de humectación persistente donde las partículas plásticas tienden a concentrarse. Este patrón coincide con los hallazgos de Zhou et al. (2025), quienes concluyeron que los sistemas de riego presurizado —especialmente el goteo— aportan partículas plásticas al suelo debido al desgaste de tuberías y cintas. En consecuencia, estas partículas quedan confinadas en zonas húmedas concentradas, creando microambientes estables donde la interacción entre microplásticos y metales es más probable. Esto guarda relación con lo observado por Sa'adu y Farsang (2022), quienes describieron que los microplásticos extraídos de suelos de invernaderos presentaban metales adheridos, actuando como vectores de transporte dentro del perfil edáfico.

La presencia de correlaciones negativas moderadas y altas bajo riego por goteo —como Fósforo ($r = -0.758$), Zinc ($r = -0.724$) y Estroncio ($r = -0.306$)— refuerza esta hipótesis de interacción, ya que la adsorción de metales sobre superficies plásticas puede modificar la distribución relativa de estos elementos en el suelo. Estudios como los de Liu et al. (2025) demostraron experimentalmente que, a medida que los microplásticos se fragmentan, su capacidad de interactuar con metales aumenta debido al incremento del área superficial efectiva. En el caso de El Pedregal, donde los suelos presentan textura arenosa a franco-arenosa,

los microplásticos pueden desplazarse con mayor facilidad dentro del perfil superficial, generando un contacto frecuente entre la matriz polimérica y los elementos metálicos disueltos o intercambiables. Los resultados de Range et al. (2025) en el Reino Unido también aportan claridad a este fenómeno, al evidenciar que las microfibras y fragmentos plásticos no solo cambian de tamaño y color con el tiempo, sino que además alteran propiedades físico-químicas del suelo, influyendo indirectamente en la movilidad de nutrientes y metales.

Por otro lado, el riego por aspersión presenta predominantemente correlaciones muy débiles o débiles entre microplásticos y metales, como Aluminio ($r = -0.092$), Cobre ($r = -0.017$) y Magnesio ($r = 0.042$). Este patrón puede explicarse por la dispersión más amplia y heterogénea del agua en este sistema, lo que incrementa la redistribución superficial de partículas y reduce la acumulación localizada de microplásticos. La energía de impacto de las gotas y la humectación más uniforme del suelo limitan la permanencia de los microplásticos en puntos específicos, disminuyendo la probabilidad de interacciones sostenidas con los metales. Esta explicación coincide con las investigaciones de Rezaei et al. (2022), quienes encontraron que la distribución de microplásticos en suelos áridos está directamente relacionada con la dinámica del agua y la energía de impacto sobre la superficie del suelo.

Sin embargo, incluso en el riego por aspersión se observan correlaciones de mayor magnitud en algunos elementos, como Manganeso ($r = -0.538$), Fósforo ($r = -0.412$) y especialmente Silicio ($r = 0.815$). Esto indica que, además del tipo de riego, existen afinidades químicas y mineralógicas específicas que influyen en la interacción entre microplásticos y determinados elementos. En el caso del Silicio, la correlación positiva alta podría estar asociada a la mineralogía local del suelo de El Pedregal y a la presencia de silicatos, los cuales facilitan interacciones físicas o químicas con polímeros de uso agrícola, aun cuando el sistema de riego no favorezca una concentración localizada de partículas.

Si se analizan estos resultados a la luz del estado del arte, las coincidencias son múltiples. Por ejemplo, los trabajos de Wang et al. (2025), que estudiaron 53 muestras de suelo agrícola en China, concluyeron que la abundancia de microplásticos depende directamente del tipo de suelo y del manejo agrícola. Este hallazgo es consistente con lo observado en El Pedregal, donde los sistemas de riego intensivo favorecen dinámicas diferenciales de acumulación y redistribución de microplásticos entre goteo y aspersión. Asimismo, los estudios de Xu et al. (2025), que identificaron 108 microplásticos mayores a 1 mm en distintos sistemas de cultivo, demuestran que incluso modificaciones relativamente pequeñas en la estructura del suelo o en el tipo de uso agrícola pueden alterar significativamente la cantidad y distribución de partículas plásticas.

Algo similar ocurre con los reportes de Sakin et al. (2025), quienes documentaron que los invernaderos con mayor tiempo de uso presentan concentraciones superiores de microplásticos, alcanzando entre 192 y 315 partículas por 5 g de suelo. Este resultado refuerza la idea de que los sistemas agrícolas tecnificados, como los utilizados en El Pedregal, ejercen una presión continua sobre el suelo, acumulando progresivamente residuos plásticos derivados del manejo agrícola. Esta acumulación a largo plazo podría explicar la intensidad de las correlaciones negativas observadas en elementos como Zinc y Fósforo bajo riego por goteo, ya que una mayor antigüedad de los materiales incrementa la fragmentación de los plásticos y su interacción con los metales.

El análisis de los cambios en la comunidad microbiana realizado por Deng et al. (2025) permite contextualizar estos resultados desde una perspectiva temporal. Sus hallazgos muestran que los efectos de los microplásticos pueden ser limitados a corto plazo, pero se intensifican con el tiempo debido a los compuestos liberados durante su degradación. En El Pedregal, las correlaciones observadas podrían reflejar estas interacciones prolongadas, donde los microplásticos no solo se acumulan físicamente, sino que comienzan a influir en procesos

edáficos vinculados al comportamiento de nutrientes y metales. Esta interpretación se ve reforzada por la revisión de Liu et al. (2025), quienes identificaron modificaciones en materia orgánica, carbono disuelto y nitrógeno disponible asociadas a la presencia de microplásticos, cambios que podrían incidir indirectamente en la dinámica de los metales analizados.

Un aspecto adicional a considerar es el transporte de microplásticos a través de la atmósfera y del agua descrito por Lwanga et al. (2023). Sus resultados indican que los microplásticos pueden ser redistribuidos entre distintas matrices ambientales. En el caso de El Pedregal, los sistemas de riego podrían facilitar esta redistribución, especialmente bajo riego por aspersión, donde el impacto de las gotas de agua puede suspender partículas microscópicas. Este proceso ayudaría a explicar por qué las correlaciones bajo aspersión son generalmente menos intensas, pero más heterogéneas, al reducir la permanencia prolongada de los microplásticos en contacto con elementos químicos específicos.

Los estudios de Beriot et al. (2021), que reportaron microplásticos tanto en suelos agrícolas como en las heces de animales alimentados en estas zonas, también se relacionan con los resultados del presente estudio, al evidenciar la capacidad de los microplásticos para movilizarse a través de la cadena trófica. Este aspecto resalta la importancia de comprender las interacciones entre microplásticos y metales en zonas agrícolas como El Pedregal, cuya producción puede destinarse al consumo humano o animal. En este contexto, las correlaciones positivas observadas para Cadmio y Arsénico bajo riego por goteo adquieren relevancia adicional, al sugerir escenarios potenciales de transferencia de estos elementos dentro del sistema productivo.

Por lo tanto, al comparar estos resultados con la evidencia peruana sobre metales en suelos, se observa que investigaciones como las de Custodio et al. (2020), Santos-Francés (2017) y Mendoza et al. (2020) han documentado concentraciones significativas de metales en aguas y suelos, pero no han evaluado su interacción con microplásticos. En este sentido, el

presente estudio aporta una perspectiva inédita para el contexto peruano, demostrando que estas interacciones existen y que su magnitud varía sustancialmente en función del sistema de riego, lo cual resulta especialmente relevante para regiones de agricultura intensiva como El Pedregal.

Cabe mencionar que, la distribución y correlación entre microplásticos y metales totales en los suelos agrícolas de El Pedregal (Arequipa), responde a un sistema complejo ambiental controlado simultáneamente por factores edáficos, geoquímicos y prácticas de manejo agrícola propias de ecosistemas áridos irrigados.

Los resultados evidencian que los microplásticos no constituyen únicamente un contaminante emergente independiente, sino que participan activamente en la dinámica geoquímica del suelo actuando como fases sólidas reactivas capaces de modificar la movilidad y biodisponibilidad de elementos metálicos. Estudios recientes han demostrado que partículas plásticas sometidas a envejecimiento ambiental desarrollan grupos funcionales oxigenados capaces de adsorber metales pesados mediante complejación superficial y atracción electrostática (Wang et al., 2020; Huang et al., 2021).

Los suelos del Pedregal derivan predominantemente de materiales volcánicos andinos, caracterizados por alta presencia de aluminosilicatos y óxidos de hierro y aluminio. Estos componentes ejercen un papel fundamental como reguladores naturales de la movilidad metálica debido a su elevada capacidad de adsorción superficial (Kabata-Pendias, 2011; Sparks, 2022).

En ambientes áridos, la limitada precipitación y la intensa evaporación favorecen la acumulación de sales y el desarrollo de pH neutro a ligeramente alcalino, condición que controla fuertemente la especiación química de los metales. Bajo estas condiciones, los cationes metálicos como Pb, Cu y Zn tienden a precipitar o adsorberse sobre minerales del suelo, reduciendo su movilidad vertical (Alloway, 2013). Este comportamiento explica las

correlaciones negativas o débiles observadas en diversos metales, indicando que su presencia está dominada por procesos litogénicos más que por transporte activo.

Sin embargo, la introducción de microplásticos modifica parcialmente este equilibrio geoquímico tradicional. Las superficies plásticas generan microambientes fisicoquímicos que pueden alterar la distribución de cargas, la retención hídrica y la interacción sólido-solución, incrementando la heterogeneidad espacial del suelo (Rillig & Lehmann, 2020).

Además, el riego por aspersión promueve una humectación superficial homogénea que favorece procesos oxidativos y redistribución lateral de partículas. En contraste, el riego por goteo genera zonas localizadas de saturación hídrica que incrementan el flujo preferencial y la infiltración vertical.

Diversos estudios han señalado que el riego localizado puede aumentar la migración de contaminantes asociados a partículas coloidales, incluidos microplásticos y metales adsorbidos (Li et al., 2023; Zhang et al., 2022). Las correlaciones positivas moderadas registradas en el sistema de goteo sugieren que este método podría favorecer el transporte conjunto microplástico–metal a través del perfil edáfico.

Este fenómeno resulta especialmente relevante en zonas agrícolas intensivas del sur peruano, donde la irrigación permanente reemplaza al régimen natural de precipitación, transformando profundamente la hidrodinámica del suelo.

La literatura reciente reconoce a los microplásticos como un nuevo componente del sistema edáfico capaz de alterar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (de Souza Machado et al., 2019). Los mecanismos más relevantes incluyen: aumento de porosidad y cambios en la retención de agua; generación de superficies de adsorción adicionales; transporte coloidal de contaminantes; modificación de comunidades microbianas responsables de procesos redox.

Finalmente, estas interacciones explican por qué la relación microplástico–metal no depende exclusivamente de la concentración total, sino de procesos dinámicos de sorción-desorción controlados por condiciones ambientales locales.





CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El diagnóstico del tipo de riego en la localidad de El Pedregal evidenció que existen dos sistemas de riego aspersión y goteo, predominado el riego por goteo, donde se obtuvieron caudales de 0.000011, 0.000434 y 0.000625 L/s en riego por aspersión y 0.002307, 0.000133 y 0.000169 L/s en riego por goteo; además que solo el Arsénico supera el ECA para agua de riego teniendo valores de 0.021473 mg/L y 0.031086 mg/L en riego por aspersión y goteo respectivamente.
- El contenido de microplásticos y metales totales analizados se evidenció la presencia de microplásticos y metales totales en las muestras de suelo que varían de acuerdo al tipo de riego. La mayor presencia de microplásticos se evidencia en el riego por goteo siendo de 1266.6 partículas/kg de la parcela 2; mientras que el riego por aspersión el máximo es de 933.3 partículas/kg de la parcela 1. En cuanto a los metales totales, superó el ECA, el Cromo 3.1 a 6.37 mg/kg y 4.55 a 8.48 mg/kg en riego por aspersión y goteo respectivamente.
- La correlación entre microplásticos y metales totales evidenció interacciones significativas dependiendo al tipo de riego. En el riego por aspersión, la correlaciones más débiles o dispersas; en cambio, el riego por goteo presenta las correlaciones más altas. Además, elementos de Ba, Cd, Ca, Cr, Mg, Pb, Na y V interactúan de distinta forma en los sistemas de riego. Concluyendo así que el riego por aspersión es favorable debido evitando la acumulación puntual de microplásticos y la interacción con los metales.

5.2. Recomendaciones

- Implementar un programa de monitoreo de calidad de agua para el uso de riego en la zona de El Pedregal, considerando la presencia de microplásticos, metales totales, con la finalidad de prevenir la contaminación de estos contaminantes en el suelo.
- Realizar una caracterización más profunda y/o específica de metales considerando su biodisponibilidad y movilidad, y como interactúan con los microplásticos (tipo de polímero, grado de envejecimiento).
- Correlacionar con otras variables como presencia y concentración de plaguicidas, tipo de cultivo y en su crecimiento.

5.3. Limitaciones

- Si bien los resultados obtenidos permiten identificar patrones relevantes en la relación entre microplásticos, metales y tipo de riego, es necesario considerar algunas limitaciones inherentes al diseño del estudio que pueden influir en la interpretación y alcance de los hallazgos. En primer lugar, el tamaño de muestra fue reducido, ya que el análisis se realizó sobre un número limitado de predios agrícolas por tipo de riego. Esta condición restringe la capacidad de extrapolar los resultados a escalas espaciales mayores o a otros contextos agrícolas con características edafoclimáticas distintas.
- Asimismo, el estudio presenta un enfoque transversal, evaluando las concentraciones de microplásticos y metales en un único periodo de muestreo. La ausencia de un análisis temporal impide evaluar la evolución de estos contaminantes a lo largo del tiempo, así como identificar tendencias estacionales o acumulativas asociadas al uso prolongado de los sistemas de riego. En consecuencia, las correlaciones observadas representan una fotografía puntual del sistema, más que una dinámica temporal continua.

- Finalmente, el análisis estadístico se centró en la evaluación de correlaciones bivariadas, lo que limita la identificación de relaciones más complejas o multivariadas entre microplásticos, metales y otras propiedades del suelo. Por ello, los resultados deben interpretarse como indicativos de posibles patrones de interacción, más que como relaciones causales definitivas.





CAPÍTULO V

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroPerú. (2023). Arequipa: Impulsan cultivo de holantao con fines de exportación.
- AgroPerú. (2023). Arequipa: Productores adoptan tecnologías para mejorar producción de semillas de maíz morado.
- Alloway, B. J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils Springer. Dordrecht, 11-50.
- Alves, L. R., Reis, A. D., & Gratão, P. L. (2016). Heavy metals in agricultural soils: from plants to our daily life (a review).
- Amador, L. R. T., Martínez, F. D. G., Hernández, L. J. M., Vergara, L. A. W., & Suárez, J. N. C. (2015). Niveles de metales totales en muestras biológicas y su importancia en salud. *Revista Nacional de Odontología*, 11(21).
- An, Q., Zhou, T., Wen, C., & Yan, C. (2023). The effects of microplastics on heavy metals bioavailability in soils: a meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 460, 132369.
- Andrade, K. Castillo, I & Quispe, R. 2020. Determination of heavy metals in agricultural soils and crop soils of *solanum tuberosum* from the interior bay of puno. **DOI:** 10.23881/idupbo.020.1-11i
- Andrés-Bercianos, R., Martínez-Hernández, V., & Meffe, R. (2024). Impacto de los usos del suelo y otros parámetros sobre la presencia de microplásticos en el suelo y en el agua subterránea: una revisión crítica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 37(1), 56-75.
- Araujo, C. F., Nolasco, M. M., Ribeiro, A. M., & Ribeiro-Claro, P. J. (2018). Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. *Water research*, 142, 426-440.

Arbat, G., Parals, S., Duran-Ros, M., Pujol, J., Puig-Bargués, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2018). Dinámica del agua en el suelo, productividad del agua y economía en riego por inundación y goteo en arroz. In *XXXVI Congreso Nacional de Riegos, AERYD: Valladolid, Spain* (Vol. 19, pp. 1-10).

AUTODEMA. (2017). Aspectos Generales. Recuperado de: <https://www.autodema.gob.pe/generalidades-pemsii/>

AUTODEMA. (2024). AUTODEMA asesora en tecnología de equipos automatizados para el riego por goteo en parcelas de majes. Recuperado de: <https://www.autodema.gob.pe/autodema-asesora-en-tecnologia-de-equipos-automatizados-para-el-riego-por-goteo-en-parcelas-de-majes/>

AUTODEMA. (2024). El proyecto especial integral majes siguas – AUTODEMA contribuye a obtener una buena calidad de agua para todos. Recuperado de: <https://www.autodema.gob.pe/el-proyecto-especial-integral-majes-siguas-autodema-contribuye-a-obtener-una-buena-calidad-de-agua-para-todos/#:~:text=DE%20RECURSOS%20HIDRICOS-EL%20PROYECTO%20ESPECIAL%20INTEGRAL%20MAJES%20SIGUAS%20%E2%80%93%20AUTODEMA%20CONTRIBUYE%20A%20OBTENER,CALIDAD%20DE%20AGUA%20PARA%20TODOS.&text=El%20gobierno%20Regional%20de%20Arequipa,la%20planta%20de%20la%20Tomilla>

Bailey, R. M., Stokes, S., & Bray, H. (2003). Inductively-coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for dose rate determination: some guidelines for sample preparation and analysis. *Ancient TL*, 21(1), 11-15.

Baroudi Guijarro, A. (2024). Fabricación y caracterización de membranas de quitosano para la liberación controlada de medicamentos y fertilizantes.

- Bech, J., Poschenrieder, C., Llugany, M., Barceló, J., Tume, P., Tobias, F. J., ... & Vásquez, E. R. (1997). Arsenic and heavy metal contamination of soil and vegetation around a copper mine in Northern Peru. *Science of the Total Environment*, 203(1), 83-91.
- Beriot, N., Peek, J., Zornoza, R., Geissen, V., & Lwanga, E. H. (2021). Low density-microplastics detected in sheep faeces and soil: A case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. *Science of the Total Environment*, 755, 142653.
- Bethencourt, A. S. (2024). Desarrollo de Materiales Compuestos Estructurales Sostenibles y Reciclables.
- Buteler, M. (2019). ¿Qué es la contaminación por plástico y por Qué nos afecta a todos?.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplastics: a contaminant that grows in all environmental areas, its characteristics and possible risks to public health from exposure. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160-175.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplastics: a contaminant that grows in all environmental areas, its characteristics and possible risks to public health from exposure. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160-175.
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. J. (2015). Treatments for removal of heavy metals commonly found in industrial wastewater. A review. *Revista de Ingeniería y Región*, 13(1), 73-90.
- CHRISTIAN, Anggelia Essi y KÖPER, Ingo, 2023. Microplastics in biosolids: A review of ecological implications and methods for identification, enumeration, and characterization. *Science of The Total Environment*. Vol. 864, p. 161083. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2022.161083.
- Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2019). Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the total environment*, 671, 411-420.

- Costa, D. (2025). Arqueología dos plásticos: um estudo contemporâneo sobre os polímeros. *Vestígios-Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica*, 19(1), 127-154.
- Cowger, W., Booth, A. M., Hamilton, B. M., Thaysen, C., Primpke, S., Munno, K., ... & Nel, H. (2020). Reporting guidelines to increase the reproducibility and comparability of research on microplastics. *Applied spectroscopy*, 74(9), 1066-1077.
- Cuenca Castillo, M. N., & Mayancela Guiracocha, M. A. (2023). Determinación de microplásticos y metales totales presentes en la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, provincia de Morona Santiago (Bachelor's thesis).
- Custodio, M., Álvarez, D., Cuadrado, W., Montalvo, R., & Ochoa, S. (2020). Potentially toxic metals and metalloids in surface water intended for human consumption and other uses in the Mantaro River watershed, Peru. *Soil & Water Research*, 15(4).
- Custodio, M., Cuadrado, W., Peñaloza, R., Montalvo, R., Ochoa, S., & Quispe, J. (2020). Human risk from exposure to heavy metals and arsenic in water from rivers with mining influence in the Central Andes of Peru. *Water*, 12(7), 1946.
- Custodio, M., Fow, A., Chanamé, F., Orellana-Mendoza, E., Peñaloza, R., Alvarado, J. C., ... & Pizarro, S. (2021). Ecological risk due to heavy metal contamination in sediment and water of natural wetlands with tourist influence in the central region of Peru. *Water*, 13(16), 2256.
- de Nieto, B. V. G. F. (2019). Contaminación del agua por metales totales As, B, Cu, Pb, Cd y CN-en las cuencas de los Ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña de la región Arequipa (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de San Agustín).
- de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2019). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global change biology*, 24(4), 1405-1416.

- Deng, W., Zhang, X., Liu, W., Wang, X., Wang, Z., Liu, J., ... & Zhao, Z. (2025). Deciphering the effects of long-term exposure to conventional and biodegradable microplastics on the soil microbiome. *Journal of Hazardous Materials*, 491, 137890.
- Doctorovich, F., Autorial, C., & Kornblihtt, A. (2020). PLÁSTICOS Y FIBRAS. *EXPLORA Las Ciencias En El Mundo Contemporáneo*, 1-16.
- Du, A., Zhao, Y., Hu, C., Wang, X., Cheng, H., Xia, W., ... & Xing, J. (2024). Distribution characteristics of atmospheric microplastics in typical desert agricultural regions. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43(9), 1982-1995.
- El Pueblo. (2025). Contaminación en el río majes sigue agravándose.
- ElBuho. (2024). Arequipa: producción de arroz baja por contaminación del río Tambo y declaratoria de emergencia no sirvió.
- ess.
- FAO & UNEP. 2021. *Global Assessment of Soil Pollution: Report*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4894en>
- FAO. (2023). Microplásticos | Una aproximación al riesgo toxicológico y microbiológico en el Caribe colombiano
- Fernández-Villa, S. G., & Moya, M. S. A. (2006). Problemática asociada a la conservación de los materiales plásticos de moldeo. *Revista Pátina-ESCRBC (Escuela de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid)*, (13-14).
- Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2491-2509.
- García Fernández-Villa, S., San Andrés Moya, M., & Roja de la Roja, J. M. D. L. (2010). *Conservar el diseño industrial contemporáneo: problemas prácticos en la identificación de piezas de plástico*. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.

- García Vargas, C. C. (2017). Obtención de un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como sustituto del plástico.
- Gegenschatz, S. A., Chiappini, F. A., Teglia, C. M., de la Peña, A. M., & Goicoechea, H. C. (2022). Binding the gap between experiments, statistics, and method comparison: A tutorial for computing limits of detection and quantification in univariate calibration for complex samples. *Analytica Chimica Acta*, 1209, 339342.
- Gobierno Regional Arequipa. (2024). Miles de agricultores en riesgo al no transferir Majes - Siguan al ejecutivo.
- Guo, S., Zhang, J., Liu, J., Guo, N., Zhang, L., Wang, S., ... & Chen, Y. (2023). Organic fertilizer and irrigation water are the primary sources of microplastics in the facility soil, Beijing. *Science of the total environment*, 895, 165005.
- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng, E. Y. (2020). A global perspective on microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(1), e2018JC014719.
- Horton, A. A., & Barnes, D. K. (2020). Microplastic pollution in a rapidly changing world: Implications for remote and vulnerable marine ecosystems. *Science of the Total Environment*, 738, 140349.
- HOSSAIN, Md Nayon et al., 2023. Identification and quantification of microplastics in agricultural farmland soil and textile sludge in Bangladesh. *Science of The Total Environment*. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2022.160118
- Hoyos, A. A., Rico, J. J. V., & Ortiz, C. S. G. (2023). Microplásticos, ambiente y salud humana. Una revisión a nivel global. *Gestión y Ambiente*, 26(2), 11.
- Huang, Y. et al. (2021). Interaction between microplastics and heavy metals in soil environments. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 126-137.

- JIA, Weiqian et al., 2022d. Automated identification and quantification of invisible microplastics in agricultural soils. *Science of The Total Environment*. Vol. 844, p. 156853. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2022.156853.
- JUNHAO, Cao et al., 2021^a. Extraction and identification methods of microplastics and nanoplastics in agricultural soil: A review. *Journal of Environmental Management*. Vol. 294, p. 112997. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2021.112997.
- Kabata-Pendias, A. (2021). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press.
- KADAC-CZAPSKA, Kornelia et al., 2023. Microplastics in food - a critical approach to definition, sample preparation, and characterisation. *Food Chemistry*. Vol. 418, p. 135985. DOI 10.1016/J.FOODCHEM.2023.135985.
- Li, J. et al. (2023). Irrigation practices influence contaminant transport in agricultural soils. *Environmental Pollution*, 316, 120-134.
- Liao, Y. L., Gan, C. D., Zhao, X., Du, X. Y., & Yang, J. Y. (2025). Insight into the interactions between microplastics and heavy metals in agricultural soil solution: adsorption performance influenced by microplastic types. *Environmental Science: Processes & Impacts*.
- Liu, X., Cui, H., Xia, W., Liu, Z., Jiang, X., Liu, X., ... & Xiao, S. (2025). Impact of microplastic concentration on soil nematode communities on the Qinghai-Tibet Plateau: Evidence from a field-based microcosms experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 490, 137856.
- Liu, X., Lin, H., Xu, S., Yan, Y., Yu, R., & Hu, G. (2023). Occurrence, distribution, and characteristics of microplastics in agricultural soil around a solid waste treatment center in southeast China. *Journal of Soils and Sediments*, 23(2), 936-946.
- Liu, Z., Li, Y., Xu, G., & Yu, Y. (2025). Effects of microplastics on black soil health: A global meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 490, 137850.

- López-Aguirre, J. F., Pomaquero-Yuquilema, J. C., & López-Salazar, J. L. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba. *Polo del conocimiento*, 5(12), 725-742.
- Lwanga, E. H., Van Roshum, I., Munhoz, D. R., Meng, K., Rezaei, M., Goossens, D., ... & Ritsema, C. (2023). Microplastic appraisal of soil, water, ditch sediment and airborne dust: The case of agricultural systems. *Environmental Pollution*, 316, 120513.
- Manrique Muñante, R. E. (2019). Microplásticos sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú.
- Marqués, M. J., Martínez-Conde, E., & Rovira, J. V. (2001). Los macroinvertebrados como índices de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos contaminados por metales totales. *Ecotoxicology and Environmental Restoration*, 4(1), 25-31.
- Martínez Huacho, J. N. (2022). Percepción de los consumidores sobre el riesgo a la salud y medio ambiente por el uso de agroquímicos en los principales cultivos de la irrigación Majes–Pedregal, distrito de Majes, 2021.
- Martínez-Granados, D., & Calatrava, J. (2021). Conocimiento y percepción sobre técnicas de riego deficitario controlado por parte de agricultores y técnicos agrarios del sudeste español. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 117(4).
- Meléndez Gallego, K. D., Güiza Merchan, D. R., & Acosta Arciniegas, J. E. (2022). Evaluación a través de un análisis bibliográfico del posible reúso del plástico termoestable en la industria.
- Mendoza, E. O., Custodio, M., Ascensión, J., & Bastos, M. C. (2020). Heavy metals in soils from high andean zones and potential ecological risk assessment in Peru's central andes. *Journal of Ecological Engineering*, 21(8).

- Mendoza-Olea, I. J., Leal-Bautista, R. M., Cejudo, E., Cervantes-Uc, J. M., Rodríguez-Fuentes, N., & Acosta-González, G. (2022). Contaminación por microplásticos en el acuífero kárstico de la península de Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 9(3).
- MINAGRI. (2015). Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistema de Riego.
- MINAM. (2017). D.S. N° 011-2017 MINAM
- Moreno Fernández, M. (2018). La contaminación del suelo por plomo y sus consecuencias sobre la salud humana.
- Novoa Villa, H. H., Arizaca Avalos, A., & Huisa Mamani, F. (2022). Efectos en los ecosistemas por presencia de metales totales en la actividad minera de pequeña escala en Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 182-189.
- OCDE. (2024). Policy Scenarios for Eliminating Plastic Pollution by 2040. https://www.oecd.org/en/publications/policy-scenarios-for-eliminating-plastic-pollution-by-2040_76400890-en/full-report.html
- Octavio-Aguilar, P., & Olmos-Palma, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales totales. *Herreriana*, 4(1), 43-47.
- Olmos Espinar, S. (2021). Presencia y evolución de microplásticos en estaciones depuradoras de aguas residuales de la Región de Murcia: propuesta de las mejores tecnologías disponibles para una emisión cero (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Cartagena).
- ONU. (2023). Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos
- ONU. (2025). La capacitación en competencias verdes, una herramienta clave para enfrentar la contaminación por plásticos. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-capacitacion-en-competencias-verdes-una-herramienta-clave-para>

- Pahlawan, M. F. R., Kim, Y., Aline, U., Zahroh, A., MASITHOH, R., KIM, M., ... & Cho, B. K. (2025). Non-destructive identification of microplastics in soil using spectroscopy and hyperspectral imaging. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118216.
- Pastor, B., & Agulló, V. (2019). Presence of microplastics in water and the potential impact on public health. *Revista española de salud pública*, 93, e201908064-e201908064.
- Pawlaczyk, A., Maćkiewicz, E., & Szyrkowska, M. I. (2018). Speciation of trace elements and its importance in environmental and biomedical sciences. *Recent Advances in Trace Elements*, 501-543.
- Perdomo, G. A. (2002). Plásticos y medio ambiente. *Revista iberoamericana polimeros*, 3(2), 1-13.
- Pérez-Mora, W. (2021). Evaluation of the geoaccumulation index of some heavy metals in vegetable cultivation soils on the Bogotá riverbank. *Revista ION*, 34(1).
- Pérez-Reverón, R., Álvarez-Méndez, S. J., Kropp, R. M., Perdomo-González, A., Hernández-Borges, J., & Díaz-Peña, F. J. (2022). Microplastics in agricultural systems: analytical methodologies and effects on soil quality and crop yield. *Agriculture*, 12(8), 1162.
- Pinilla, J. O., & Rico, A. F. O. (2021). ¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables?. *Comunicaciones en Estadística*, 14(1), 53-63.
- Piñeiro, X. F., Ave, M. T., Mallah, N., Caamaño-Isorna, F., Jiménez, A. N. G., Vieira, D. N., ... & Muñoz-Barús, J. I. (2021). Heavy metal contamination in Peru: implications on children's health. *Scientific reports*, 11(1), 22729.
- Plastic debris is a human health issues, *Environ. Sci. Technol.*, 50(13), 6825-6826.
- Prata, J. C., Da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150-159.

- Ramage, S. J., Coull, M., Cooper, P., Campbell, C. D., Prabhu, R., Yates, K., ... & Pagaling, E. (2025). Microplastics in agricultural soils following sewage sludge applications: Evidence from a 25-year study. *Chemosphere*, 376, 144277.
- Ramírez, M. G. V., Barrantes, J. A. G., Thomas, E., Miranda, L. A. G., Pillaca, M., Peramas, L. D. T., & Tapia, L. R. B. (2020). Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. *Catena*, 189, 104454.
- Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A., & Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 13(6), 1521.
- Rebollar, A. M., & Francisco, W. C. (2015). The Correlation Among Social Interaction Activities Registered Through New Technologies and Elderlys Social Isolation Level. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 36(3), 181-190.
- Rezaei, M., Abbasi, S., Pourm Mahmood, H., Oleszczuk, P., Ritsema, C., & Turner, A. (2022). Microplastics in agricultural soils from a semi-arid region and their transport by wind erosion. *Environmental Research*, 212, 113213.
- Rillig, M. C., & Lehmann, A. (2020). Microplastic in terrestrial ecosystems. *Science*, 368(6498), 1430-1431.
- Rodríguez Heredia, D (2019). Metales totales: ¿Perjudiciales o beneficiosos? Investigación Química. *ENCUENTRO CON LA*, 5(2), 19.
- Rodríguez Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales totales. *Medisan*, 21(12), 3372-3385.
- Ruíz-Santoyo, V., Cruz-Mérida, J., García Carvajal, S., & Arenas Arrocena, M. C. (2025). Microplastics and nanoplastics: a threat to human health and the environment. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 18(34).

- Sa'adu, I., & Farsang, A. (2022). Greenhouse farming as a source of macroplastic and microplastics contamination in agricultural soils: a case study from Southeast-Hungary. *Agrokemia es Talajtan*.
- Sakin, E., Dilekoğlu, M. F., & Yanardağ, İ. H. (2025). Unseen threat: The devastating impact of microplastics on soil health in agricultural lands. *Catena*, 253, 108904.
- Sánchez-Veranes, C., Falcón-Acosta, M. D. C., & Sala-Hernández, L. (2022). Evaluación del asesoramiento al regante en la Cooperativa de Producción Agropecuaria Amistad Cubano Búlgara. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(3).
- Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Alonso Rojo, P., & García Sánchez, A. (2017). Geochemical background and baseline values determination and spatial distribution of heavy metal pollution in soils of the Andes mountain range (Cajamarca-Huancavelica, Peru). *International journal of environmental research and public health*, 14(8), 859.
- Sarria-Villa, R. A., & Gallo-Corredor, J. A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1).
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(3), 361-372.
- Selim, T., Elkefay, S. M., Berndtsson, R., Elkiki, M., & El-Kharbotly, A. A. (2023). Heavy Metal Transport in Different Drip-Irrigated Soil Types with Potato Crop. *Sustainability*, 15(13), 10542.
- Sharma, S., Sharma, V., & Chatterjee, S. (2023). Contribution of plastic and microplastic to global climate change and their conjoining impacts on the environment-A review. *Science of the total environment*, 875, 162627.
- Sparks, D. L., Singh, B., & Siebecker, M. G. (2022). *Environmental soil chemistry*. Elsevier.
- Stegmann, P., Daioglou, V., Londo, M. P., van Vuuren, D & Junginger, M. (2022). Palastic future and their CO2 emissions. *Nature* volume 612, pages272–276

- Su, L., Xiong, X., Zhang, Y., Wu, C., Xu, X., Sun, C., & Shi, H. (2022). Global transportation of plastics and microplastics: A critical review of pathways and influences. *Science of the total Environment*, 831, 154884.
- Tunali, M., & Rillig, M. C. (2025). Vertical distribution of microplastics in soil affects plant response to microplastics. *NanoImpact*, 38, 100557.
- Valencia, M. (2021). *Evaluación De La Presencia De Microplásticos En El Lago De Chapala* (Doctoral Dissertation, Instituto Politécnico Nacional).
- Walker, T. R., & Fequet, L. (2023). Current trends of unsustainable plastic production and micro (nano) plastic pollution. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 160, 116984.
- Wang, L., Wang, T., Chen, Q., & Ji, R. (2020). Microplastics as vectors of chemicals and microorganisms in the environment. In *Particulate plastics in terrestrial and aquatic environments* (pp. 209-230). CRC Pr
- Wang, X., Feng, Q., Yang, L., Li, M., Zhao, F., Tang, J., ... & Chen, L. (2025). Effect of land use on occurrence and spatial variability of soil microplastics in agricultural watershed. *Ecological Frontiers*.
- Welz, B., & Sperling, M. (2008). *Atomic absorption spectrometry*. John Wiley & Sons.
- Xu, G., Feng, W., Yang, Y., Xu, Z., Liu, Y., & Li, H. (2025). Occurrence, sources, and risks of microplastics in agricultural soils of Weishan Irrigation District in the lower reaches of the Yellow River, China. *Journal of Hazardous Materials*, 491, 137849.
- Yu, H., Li, C., Yan, J., Ma, Y., Zhou, X., Yu, W., ... & Dong, P. (2023). A review on adsorption characteristics and influencing mechanism of heavy metals in farmland soil. *RSC advances*, 13(6), 3505-3519.
- Yu, H., Zhang, W., Li, J., Yang, J., Yang, X., Hai, C., ... & Yang, Y. (2025). Vertical Distribution and Multi-Source Pathways of Microplastics in Agricultural Soils: A Study of

Typical Irrigation Areas in the Upper Yellow River Basin. *Environmental Pollution*, 126479.

Zhang, G. S., & Liu, Y. F. (2018). The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Science of the Total Environment*, 642, 12-20.

Zhang, H. et al. (2022). Transport behavior of microplastics in agricultural soils. *Environmental Science & Technology*, 56, 103-115.

Zhang, Y., Hou, R., Fu, Q., Li, T., Li, M., Cui, S., & Dong, W. (2023). Drip irrigation impacts on the root zone soil environment and enrichment characteristics of heavy metals in soybean. *Agricultural Water Management*, 288, 108483.

Zhou, Y., Du, Y., Sheng, J., Liu, Y., Wan, C., Dong, H., ... & Zhang, H. (2025). Assessment of microplastic ecological risk and environmental carrying capacity of agricultural soils based on integrated characterization: A case study. *Science of The Total Environment*, 960, 178375.

ANEXOS

Anexo 1 Lista de metales del ICP-OE y su toxicidad

Metal	Símbolo	Toxicidad
Aluminio	Al	Tóxico en suelos ácidos
Antimonio	Sb	Cancerígeno
Arsénico	As	Cancerígeno, metaloide
Bario	Ba	Venenosos
Berilio	Be	Carcinógeno
Bismuto	Bi	No tóxico
Boro	B	Tóxico, en grandes cantidades
Cadmio	Cd	Muy tóxico, cancerígeno
Calcio	Ca	Tóxico, en grandes cantidades
Cerio	Ce	Baja toxicidad
Cobalto	Co	Esencial, exceso tóxico
Cobre	Cu	Tóxico, en grandes cantidades
Cromo	Cr	Tóxico
Estaño	Sn	Baja toxicidad
Estroncio	Sr	No tóxico
Fosforo	P	Blanco: muy tóxico / Rojo: no tóxico
Hierro	Fe	Esencial, indicador redox
Litio	Li	Muy tóxico
Magnesio	Mg	No tóxico, esencial para el ser humano
Manganeso	Mn	Esencial, exceso afecta plantas
Mercurio	Mg	Neurotóxico, volátil
Molibdeno	Mo	Micronutriente

Metal	Símbolo	Toxicidad
Niquel	Ni	Alérgeno, mutagénico
Plata	Ag	Tóxico en altos niveles
Plomo	Pb	Alta toxicidad, bioacumulativo
Potasio	K	Tóxico en altos niveles
Selenio	Se	Esencial en bajas dosis
Silicio	Si	Poco tóxico, oligoelemento
Sodio	Na	Tóxico en altos niveles
Talio	Tl	Muy tóxico
Titanio	Ti	No tóxico, biocompatible
Torio	Th	Radiactivo
Uranio	U	Tóxico, radioactivo
Vanadio	V	Potencialmente tóxico
Zinc	Zn	Micronutriente, fitotóxico a altas dosis

Nota: Calvo-Bbrenes, G. 2024

Anexo 2 Ficha de recolección de datos a agricultores

FICHA N° 01.

CONSENTIMIENTO DE INFORMACIÓN

1. Acepto participar de manera voluntaria

Si No

2. Autorizo el uso de mis respuestas con fines académicos

Si No

DATOS GENERALES DEL ENCARGADO Y/O DUEÑO DEL PREDIO

3. Nombre y Apellidos

Ann Maria Bustamante Huanco

4. Edad

18 a 20 21 a 30 31 a 40 41 a 50 más de 50

5. Sexo

Femenino Masculino

6. Tamaño aproximado del predio o parcela

2.5 hectáreas 3.5 hectáreas 4.5 hectáreas 5.5 hectáreas

PRÁCTICAS DE RIEGO

7. Fuente principal del agua para riego

Agua Subterránea Canal Agua Potable Otros

8. Tipo de riego predominante

Inundación Goteo Aspersión Otros

9. Horas promedio de riego

1 a 5 horas 5 a 10 horas más de 10 horas

10. Frecuencia de uso de riego

10 años 20 años 30 años más de 40 años

FICHA N° 02.

CONSENTIMIENTO DE INFORMACIÓN

1. Acepto participar de manera voluntaria

Si No

2. Autorizo el uso de mis respuestas con fines académicos

Si No

DATOS GENERALES DEL ENCARGADO Y/O DUEÑO DEL PREDIO

3. Nombre y Apellidos

Ana Maria Bustamante Huanco

4. Edad

18 a 20 21 a 30 31 a 40 41 a 50 más de 50

5. Sexo

Femenino Masculino

6. Tamaño aproximado del predio o parcela

2.5 hectáreas 3.5 hectáreas 4.5 hectáreas 5.5 hectáreas

PRÁCTICAS DE RIEGO

7. Fuente principal del agua para riego

Agua Subterránea Canal Agua Potable Otros

8. Tipo de riego predominante

Inundación Goteo Aspersión Otros

9. Horas promedio de riego

1 a 5 horas 5 a 10 horas más de 10 horas

10. Frecuencia de uso de riego

10 años 20 años 30 años más de 40 años

FICHA N° 03

CONSENTIMIENTO DE INFORMACIÓN

1. Acepto participar de manera voluntaria

Si No

2. Autorizo el uso de mis respuestas con fines académicos

Si No

DATOS GENERALES DEL ENCARGADO Y/O DUEÑO DEL PREDIO

3. Nombre y Apellidos

Martin Antonio Montes Condoni

4. Edad

18 a 20 21 a 30 31 a 40 41 a 50 más de 50

5. Sexo

Femenino Masculino

6. Tamaño aproximado del predio o parcela

2.5 hectáreas 3.5 hectáreas 4.5 hectáreas 5.5 hectáreas

PRÁCTICAS DE RIEGO

7. Fuente principal del agua para riego

Agua Subterránea Canal Agua Potable Otros

8. Tipo de riego predominante

Inundación Goteo Aspersión Otros

9. Horas promedio de riego

1 a 5 horas 5 a 10 horas más de 10 horas

10. Frecuencia de uso de riego

10 años 20 años 30 años más de 40 años

FICHA N° 01.

CONSENTIMIENTO DE INFORMACIÓN

1. Acepto participar de manera voluntaria

Si No

2. Autorizo el uso de mis respuestas con fines académicos

Si No

DATOS GENERALES DEL ENCARGADO Y/O DUEÑO DEL PREDIO

3. Nombre y Apellidos

Esika Vegazo Seo

4. Edad

18 a 20 21 a 30 31 a 40 41 a 50 más de 50

5. Sexo

Femenino Masculino

6. Tamaño aproximado del predio o parcela

2.5 hectáreas 3.5 hectáreas 4.5 hectáreas 5.5 hectáreas

PRÁCTICAS DE RIEGO

7. Fuente principal del agua para riego

Agua Subterránea Canal Agua Potable Otros

8. Tipo de riego predominante

Inundación Goteo Aspersión Otros

9. Horas promedio de riego

1 a 5 horas 5 a 10 horas más de 10 horas

10. Frecuencia de uso de riego

10 años 20 años 30 años más de 40 años

FICHA N° 96.

CONSENTIMIENTO DE INFORMACIÓN

1. Acepto participar de manera voluntaria

Si No

2. Autorizo el uso de mis respuestas con fines académicos

Si No

DATOS GENERALES DEL ENCARGADO Y/O DUEÑO DEL PREDIO

3. Nombre y Apellidos

Daniela Centeno Guevara

4. Edad

18 a 20 21 a 30 31 a 40 41 a 50 más de 50

5. Sexo

Femenino Masculino

6. Tamaño aproximado del predio o parcela

2.5 hectáreas 3.5 hectáreas 4.5 hectáreas 5.5 hectáreas

PRÁCTICAS DE RIEGO

7. Fuente principal del agua para riego

Agua Subterránea Canal Agua Potable Otros

8. Tipo de riego predominante

Inundación Goteo Aspersión Otros

9. Horas promedio de riego

1 a 5 horas 5 a 10 horas más de 10 horas

10. Frecuencia de uso de riego

10 años 20 años 30 años más de 40 años

FICHA N° 006

CONSENTIMIENTO DE INFORMACIÓN

1. Acepto participar de manera voluntaria

Si No

2. Autorizo el uso de mis respuestas con fines académicos

Si No

DATOS GENERALES DEL ENCARGADO Y/O DUEÑO DEL PREDIO

3. Nombre y Apellidos

Julio Rivera

4. Edad

18 a 20 21 a 30 31 a 40 41 a 50 más de 50

5. Sexo

Femenino Masculino

6. Tamaño aproximado del predio o parcela

2.5 hectáreas 3.5 hectáreas 4.5 hectáreas 5.5 hectáreas

PRÁCTICAS DE RIEGO

7. Fuente principal del agua para riego

Agua Subterránea Canal Agua Potable Otros

8. Tipo de riego predominante

Inundación Goteo Aspersión Otros

9. Horas promedio de riego

1 a 5 horas 5 a 10 horas más de 10 horas

10. Frecuencia de uso de riego

10 años 20 años 30 años más de 40 años

Anexo 3 Certificados de acreditación de Analytical Laboratory

Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Cooperativa de vivienda SID Sur Mz E Lt 9 – provincia y departamento de Arequipa

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 07 de agosto de 2024¹

Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2027

Firmado por:
AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU 20600283015
soft
Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Fecha: 2024-08-09 20:19:45

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 09 de agosto de 2024



Cedula N°: 398-2024-INACAL/DA
Adenda N°: 05 del contrato N°025-16/INACAL-DA
Registro N°: LE - 096

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

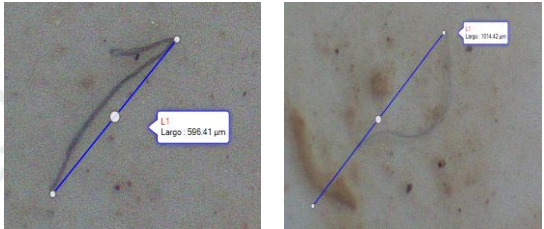
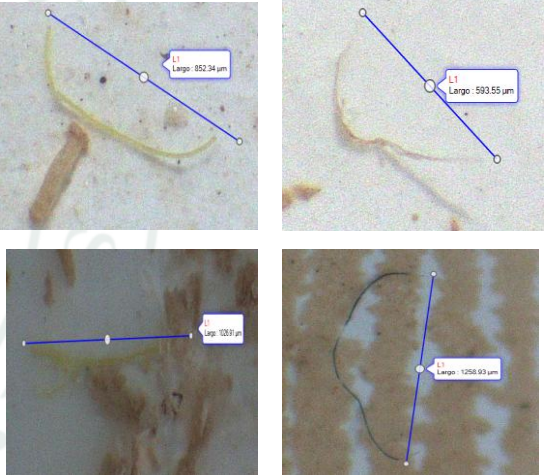
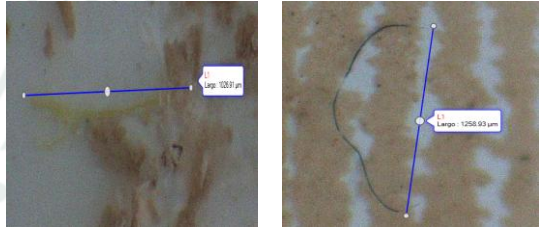
La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

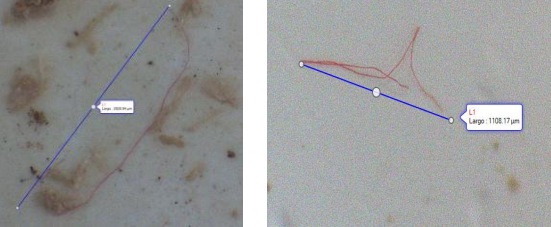
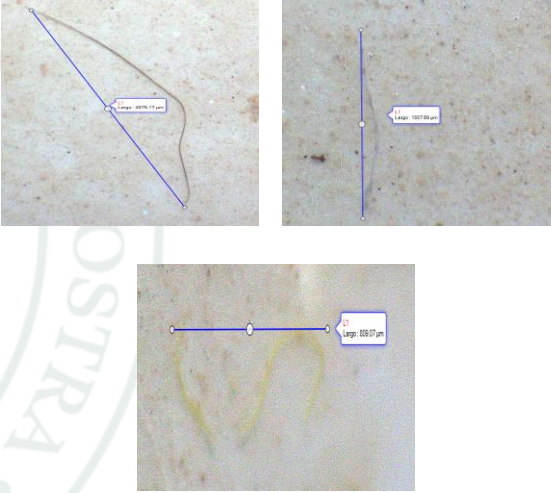
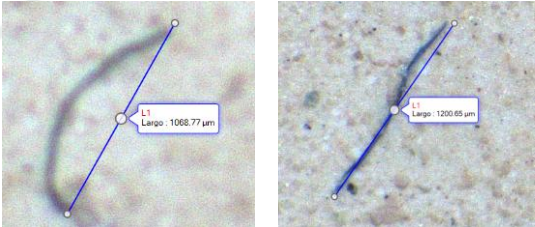
DA-acr-01P-02M Ver 03

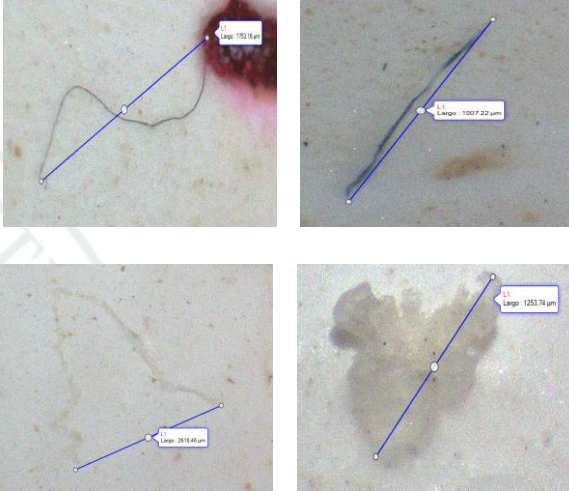
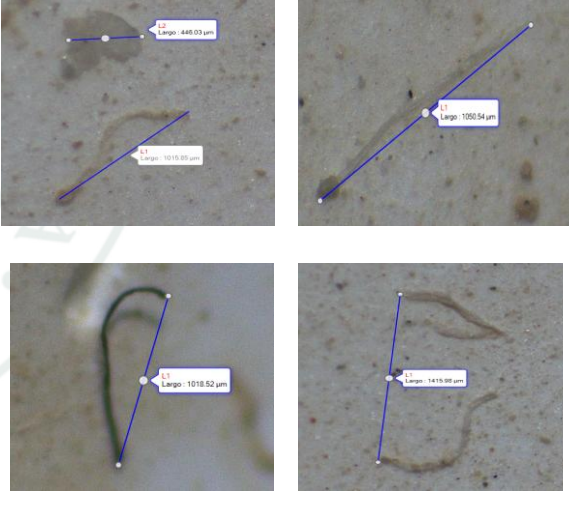
DNC: Documento No Controlado

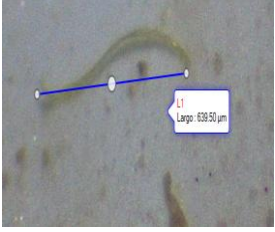
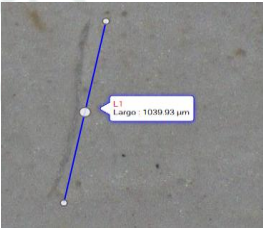
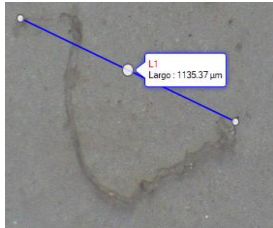
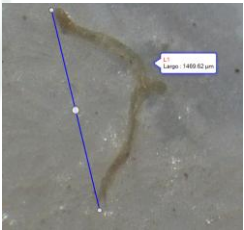
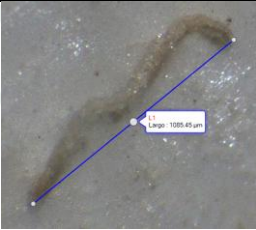
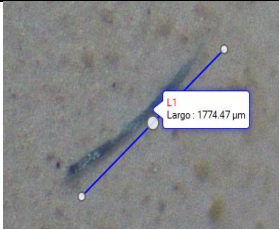
¹ A partir de esta fecha inicia las operaciones de esta nueva sede, en el marco de la acreditación

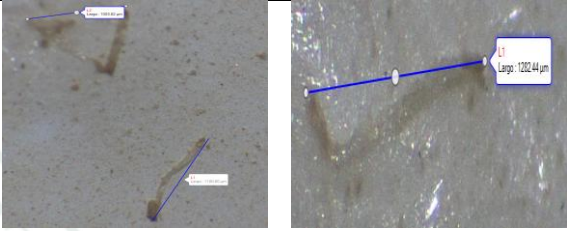
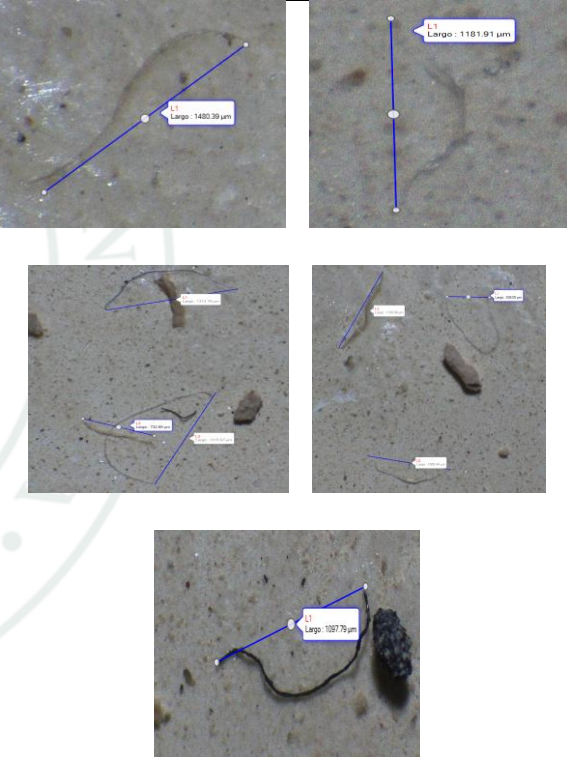
Anexo 4 Imagen de microplástico en estereoscopio

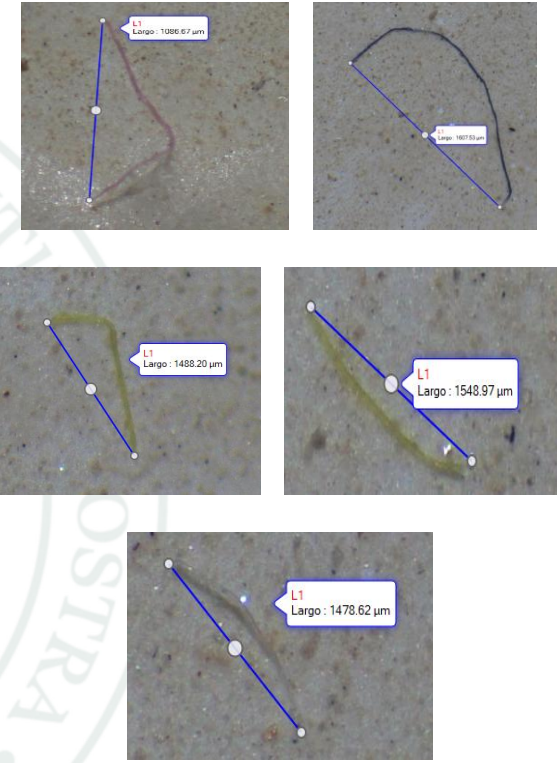
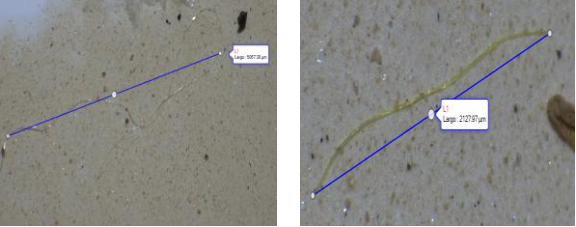
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P1-M1-S1	Fibra	Azul	1035.34 1063.75	400	
P1-M1-S2	Fibra	Amarillo	1026.91 1258.93	800	
P1-M1-S3	Fibra	Rojo	1108.17 2928.94	400	

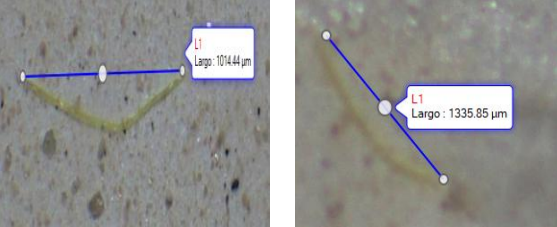
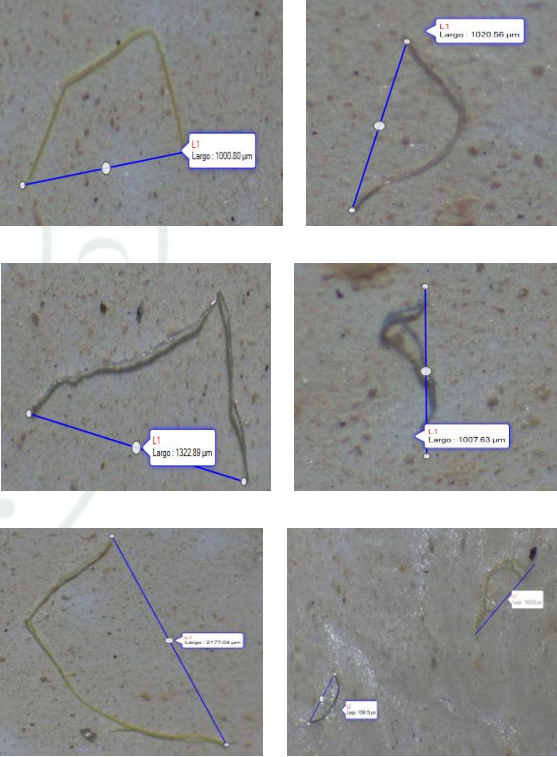
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P1-M2-S1	Fibra	Transparente Amarillo	1007.69 4975.17	600	
P1-M2-S2	Fibra	Azul	1068.77 1200.65	400	

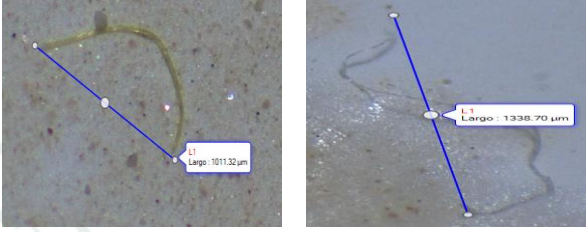
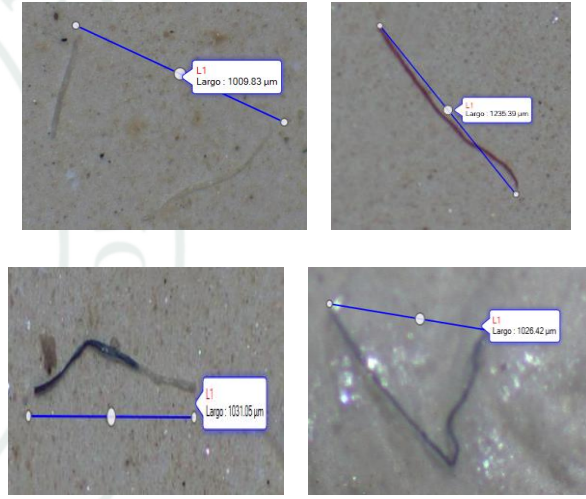
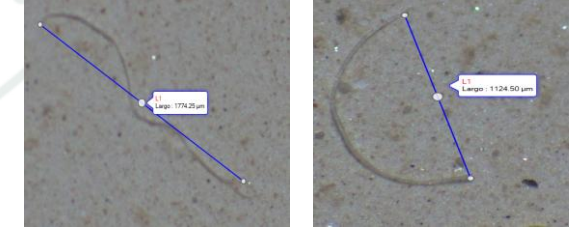
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P1-M2-S3	Fibra Fragmento	Transparente Amarrillo	1007.22 2618.46	800	
P1-M3-S1	Fibra Fragmento	Transparente Amarrillo	1015.85 1415.98	1200	


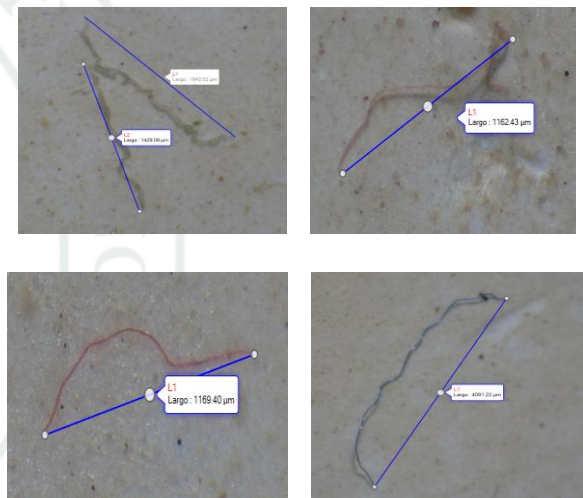
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P1-M3-S2	Fibra	Transparente Amarillo	1039.93 1469.62	600	  
P1-M3-S3	Fibra	Transparente Azul	1003.82 1774.47	1000	 

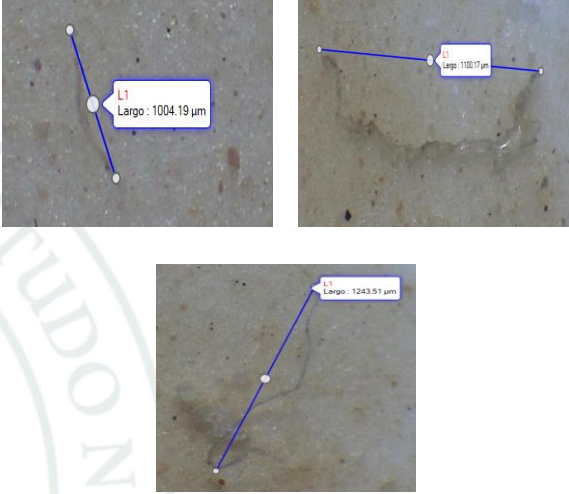
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P2-M1-S1	Fibra	Transparente Negro	1065.44 1480.39	1800	

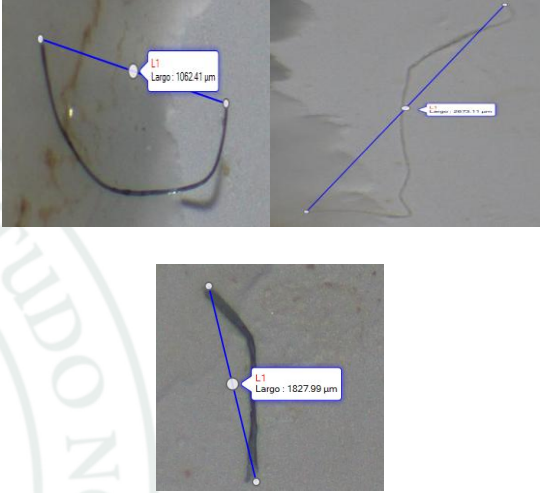
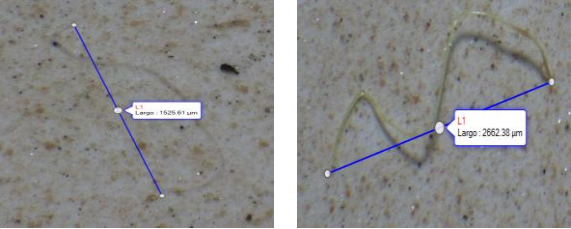
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P2-M1-S2	Fibra	Rojo Azul Amarillo	1086.67 1607.53	1000	
P2-M1-S3	Fibra	Transparente Amarillo	1014.44 5000.38	1000	

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P2-M2-S1	Fibra	Transparente Amarrillo	1000.80 2177.04	1600	

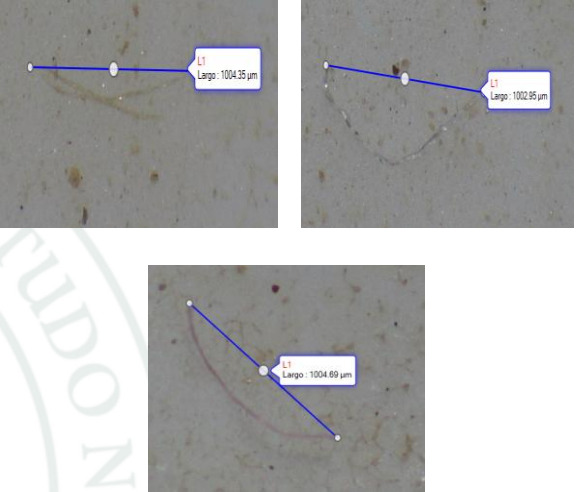
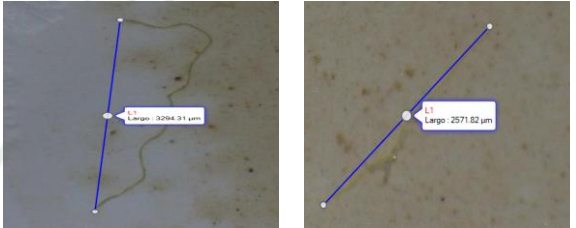

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P2-M2-S2	Fibra	Transparente Rojo Azul	1009.83 1235.39	800	
P2-M2-S3	Fibra	Transparente Rojo	1000.04 1774.25	800	

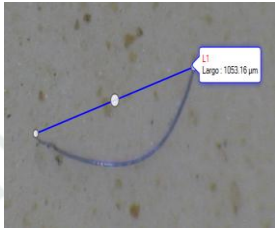
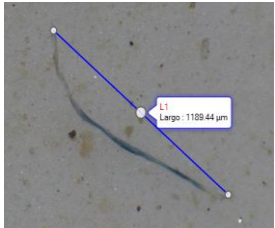
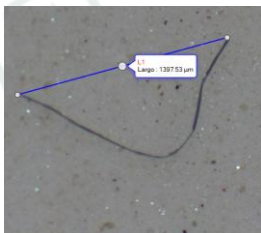
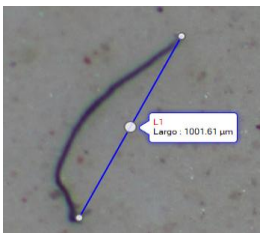
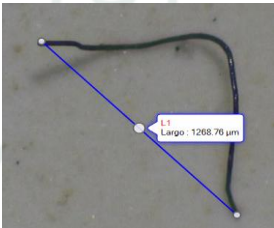
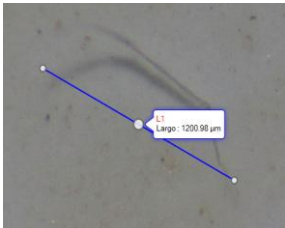
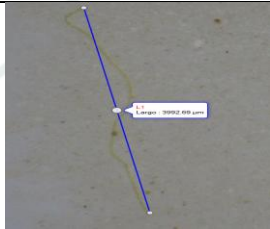

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P2-M3-S1	Fibra	Transparente Rojo	1162.43 4091.22	1000	

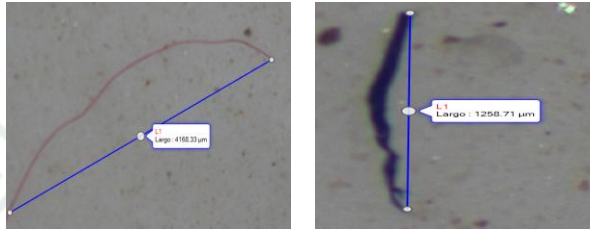
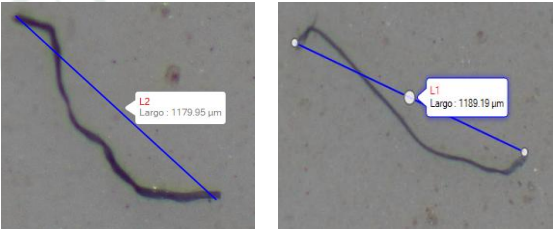
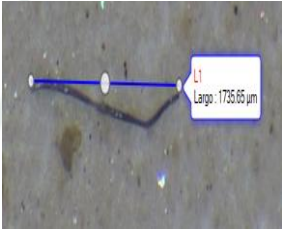
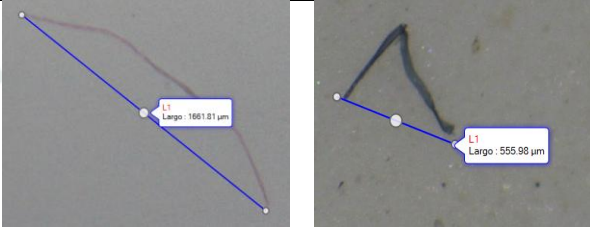
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P2-M3-S2	Fibra	Transparente Azul	1004.19 1243.51	600	
P2-M3-S3	-	-	-	0	-


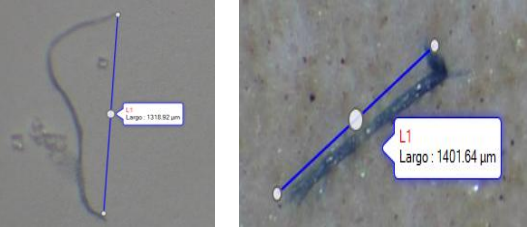
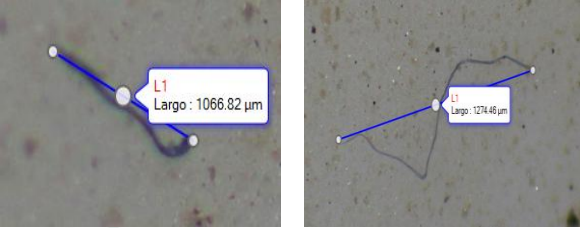
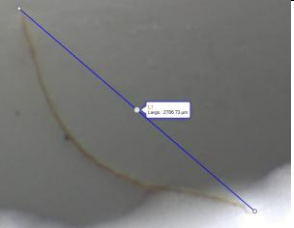
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P3-M1-S1	Fibra	Azul	1062.41 2673.11	600	
P3-M1-S2	-	-	-	0	-
P3-M1-S3	Fibra	Transparente Amarillo	1525.61 2662.38	400	

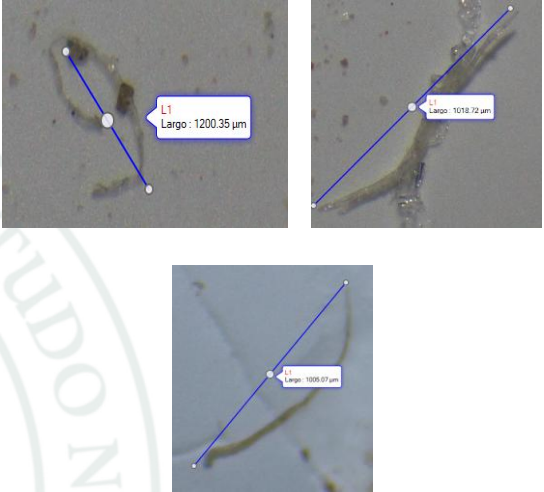
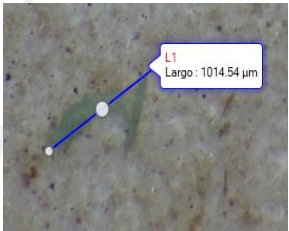
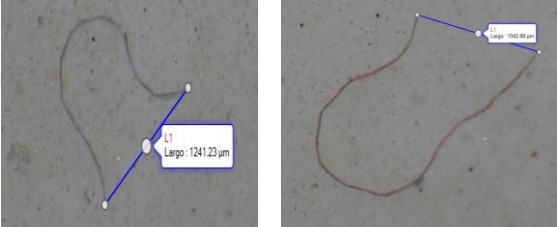
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P3-M2-S1	Fibra Fragmento	Transparente Verde Amarillo	1003.15 3921.42	800	
P3-M2-S2	Fibra Fragmento	Verde	1323.26	400	

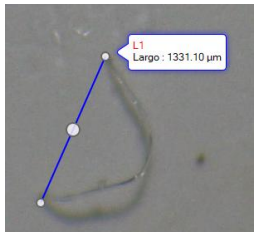
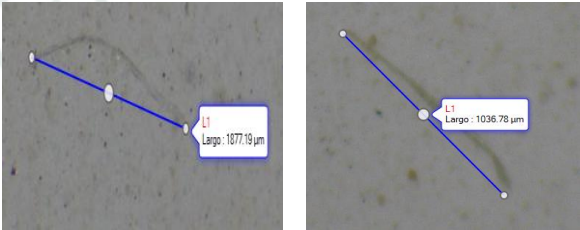
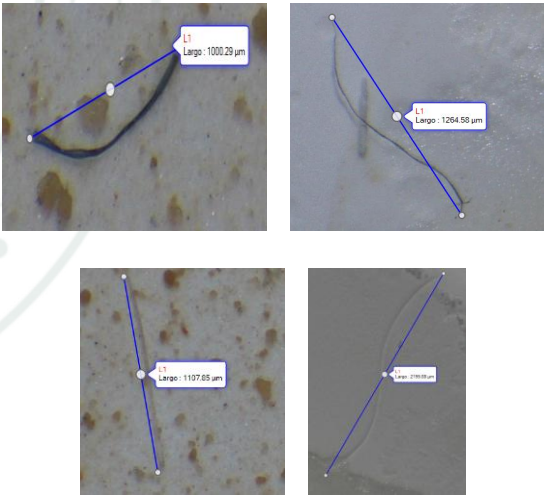
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P3-M2-S3	Fibra	Transparente Rojo	1002.95 1004.69	600	 <p>Three microscopic images showing individual fibers. The top-left image shows a fiber with a length measurement of 1004.25 μm. The top-right image shows a fiber with a length measurement of 1002.95 μm. The bottom-center image shows a fiber with a length measurement of 1004.69 μm.</p>
P3-M3-S1	Fibra	Amarillo	3294.31 2571.82	400	 <p>Two microscopic images showing yellow fibers. The left image shows a fiber with a length measurement of 3294.31 μm. The right image shows a fiber with a length measurement of 2571.82 μm.</p>
P3-M3-S2	Fibra	Rojo Azul	1464.11 1542.94	400	 <p>Two microscopic images showing red-blue fibers. The left image shows a fiber with a length measurement of 1542.94 μm. The right image shows a fiber with a length measurement of 1464.11 μm.</p>

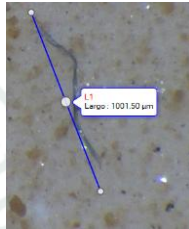
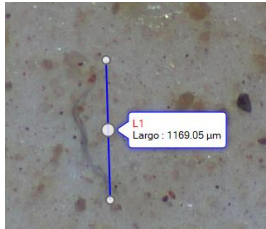

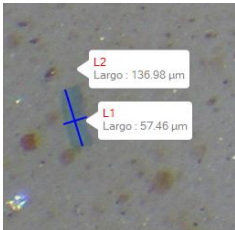
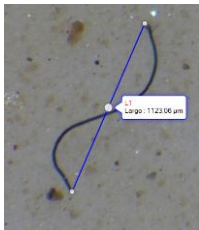
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P3-M3-S3	Fibra	Azul	1053.16 1189.44	400	 
P4-M1-S1	Fibra	Azul	1001.61 1397.53	400	 
P4-M1-S2	Fibra	Azul Transparente	1200.98 1268.76	400	 
P4-M1-S3	Fibra	Amarillo	3992.69 4585.56	400	 

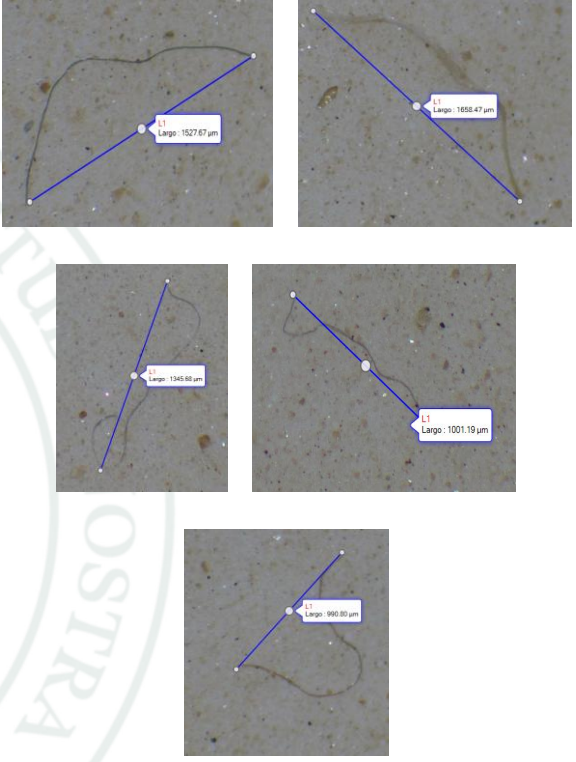
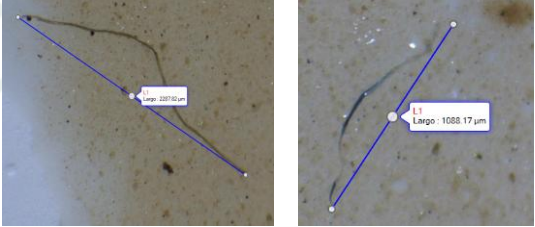
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P4-M2-S1	Fibra	Rojo Azul	1258.71 4168.33	400	
P4-M2-S2	Fibra	Azul	1179.95 1189.19	400	
P4-M2-S3	Fibra	Azul	1735.65	200	
P4-M3-S1	Fibra	Rojo Azul Transparente	1317.91 1661.81	600	


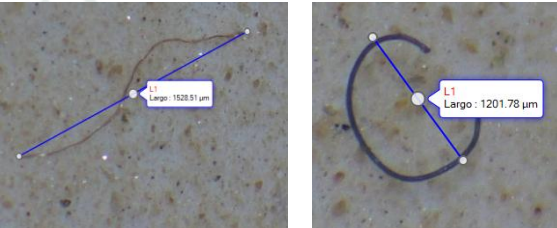
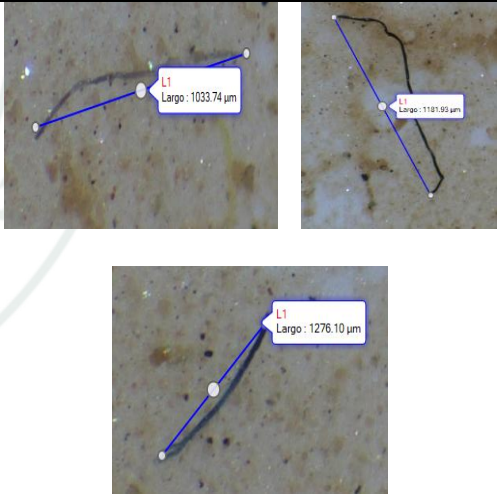
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P4-M3-S2	Fibra	Azul	1318.92 1401.64	400	
P4-M3-S3	Fibra	Azul	1066.82 1274.46	400	
P5-M1-S1	Fibra	Amarillo	2786.73	200	

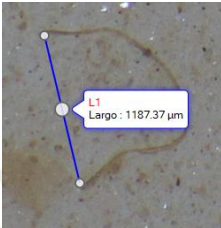
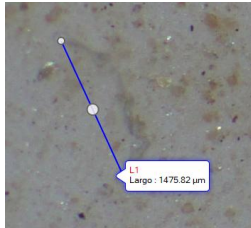
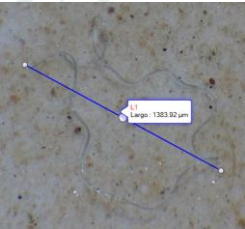
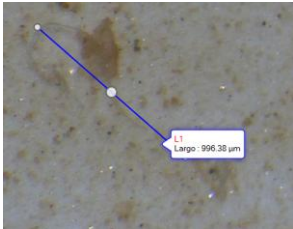

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P5-M1-S2	Fibra	Transparente	1005.07 1200.35	600	 <p>Microscopic images showing three transparent fibers. The first image shows a fiber with a length of 1200.35 μm. The second image shows a fiber with a length of 1018.72 μm. The third image shows a fiber with a length of 1008.07 μm.</p>
P5-M1-S3	Fibra	Verde	1014.54	200	 <p>Microscopic image showing a green fiber with a length of 1014.54 μm.</p>
P5-M2-S1	Fibra	Transparente Rojo	1042.89 1241.23	400	 <p>Microscopic images showing two fibers. The first image shows a transparent fiber with a length of 1241.23 μm. The second image shows a red fiber with a length of 1062.89 μm.</p>

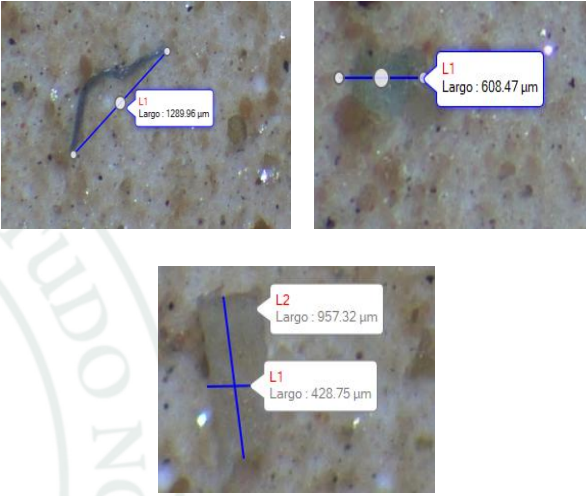
Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P5-M2-S2	Fibra	Transparente	1331.1	200	
P5-M2-S3	Fibra	Transparente	1036.78 1877.19	400	
P5-M3-S1	Fibra	Azul Transparente	1000.29 1107.85 1264.58 2155.88	800	

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P5-M3-S2	-	-	-	0	
P5-M3-S3	Fibra	Azul Transparente	1001.5 1169.05	400	 
P6-M1-S1	Fibra	Azul Transparente	1123.06 1265.76	600	  

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P6-M1-S2	Fibra	Transparente	990.80 1658.47	1000	
P6-M1-S3	Fibra	Azul Transparente	1088.17 2287.82	800	

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
					
P6-M2-S1	Fibra	Rojo Azul	1201.78 1528.51	400	
P6-M2-S2	Fibra	Azul	1033.74 12766.10	600	

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P6-M2-S3	Fibra	Transparente	1187.37 1475.82	400	 
P6-M3-S1	Fibra	Azul Transparente	996.38 1862.00	600	  
P6-M3-S2	-	-	0	-	-

Muestra	Tipo	Color	Intervalo de tamaño	Cantidad (partículas/kg)	Evidencia Fotografía
P6-M3-S3	Fibra	Azul	1289.96	600	

Anexo 5 Microplástico en ANOVA

One-way ANOVA: Microplástico versus Riego por Aspersión

Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis Not all means are equal
 Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Parcela	3	P1; P3; P6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Parcela	2	89869	44934	1.21	0.361
Error	6	222236	37039		
Total	8	312104			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
192.456	28.79%	5.06%	0.00%

Means

Parcela	N	Mean	StDev	95% CI
P1	3	689	214	(417; 961)

P3 3 444.4 138.8 (172.5; 716.3)

P6 3 556 214 (284; 827)

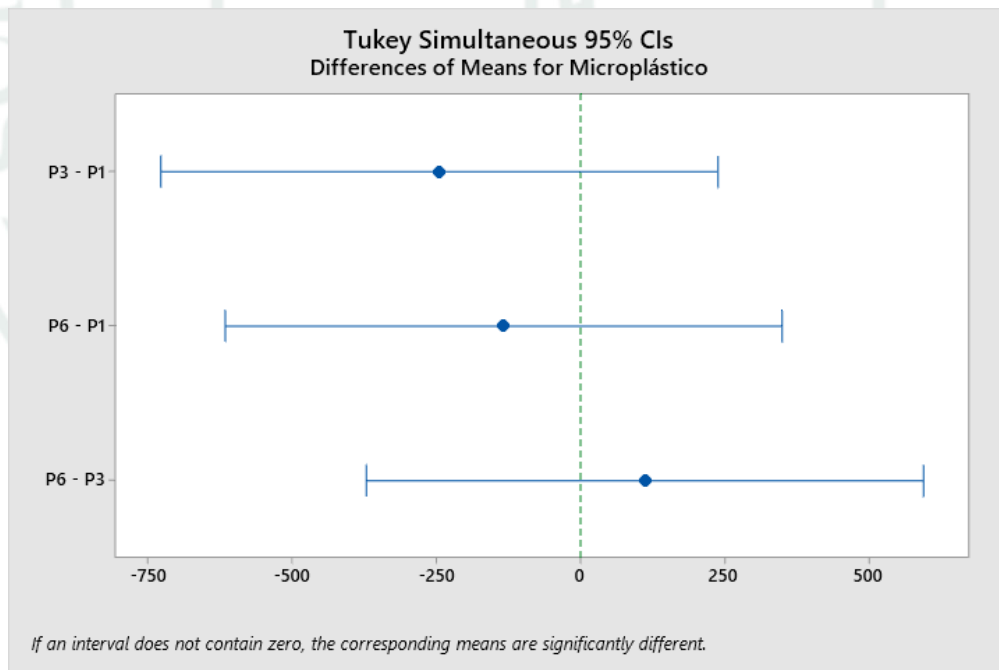
Pooled StDev = 192.456

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Parcela	N	Mean	Grouping
P1	3	689	A
P6	3	556	A
P3	3	444.4	A

Means that do not share a letter are significantly different.

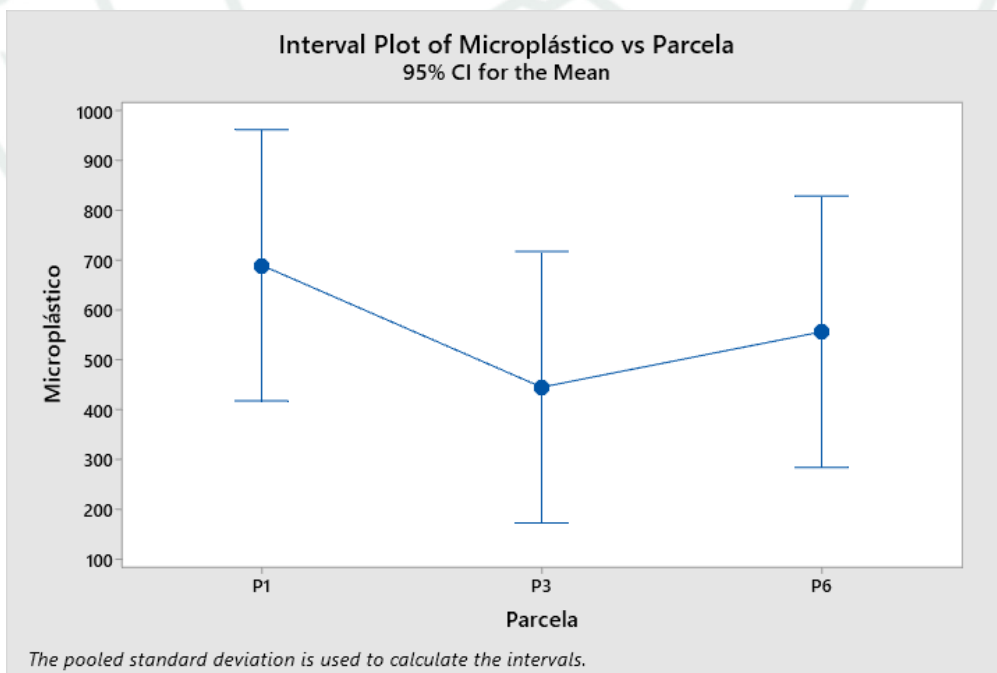
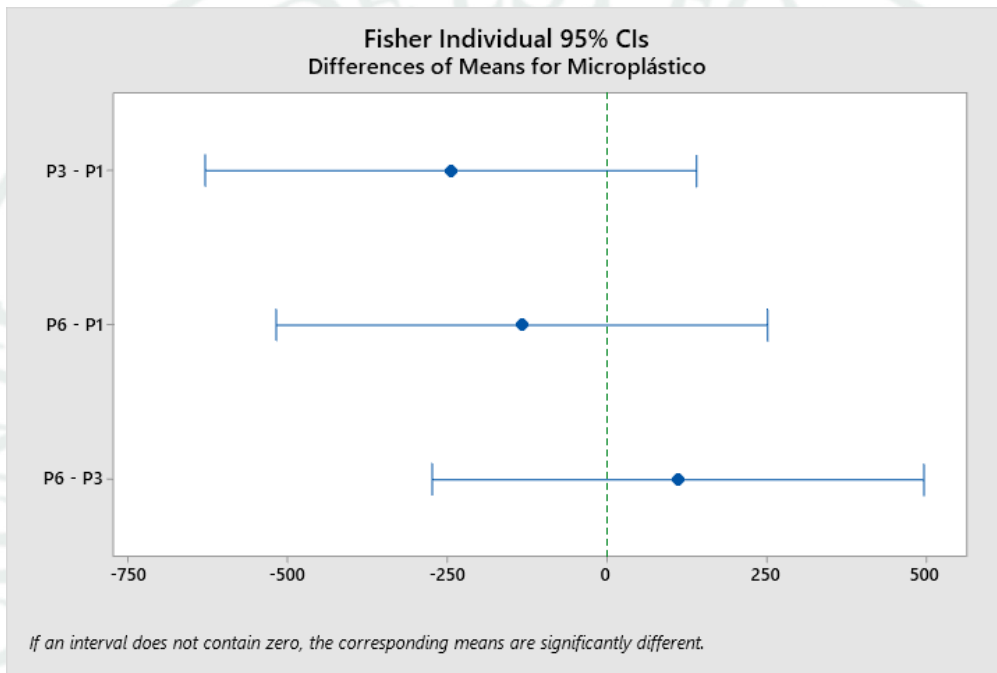


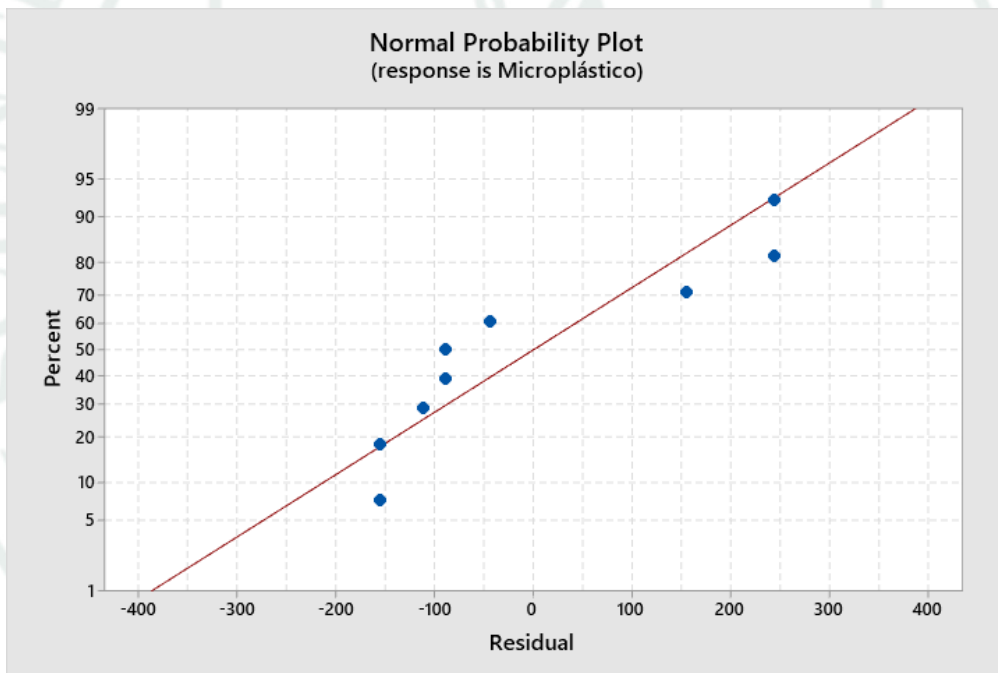
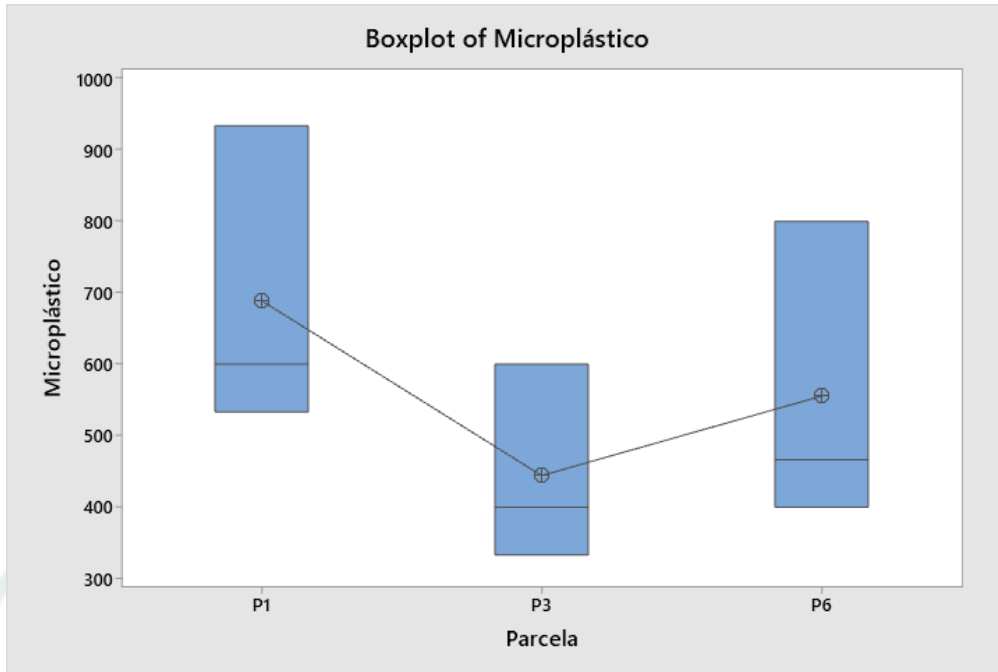
Fisher Pairwise Comparisons

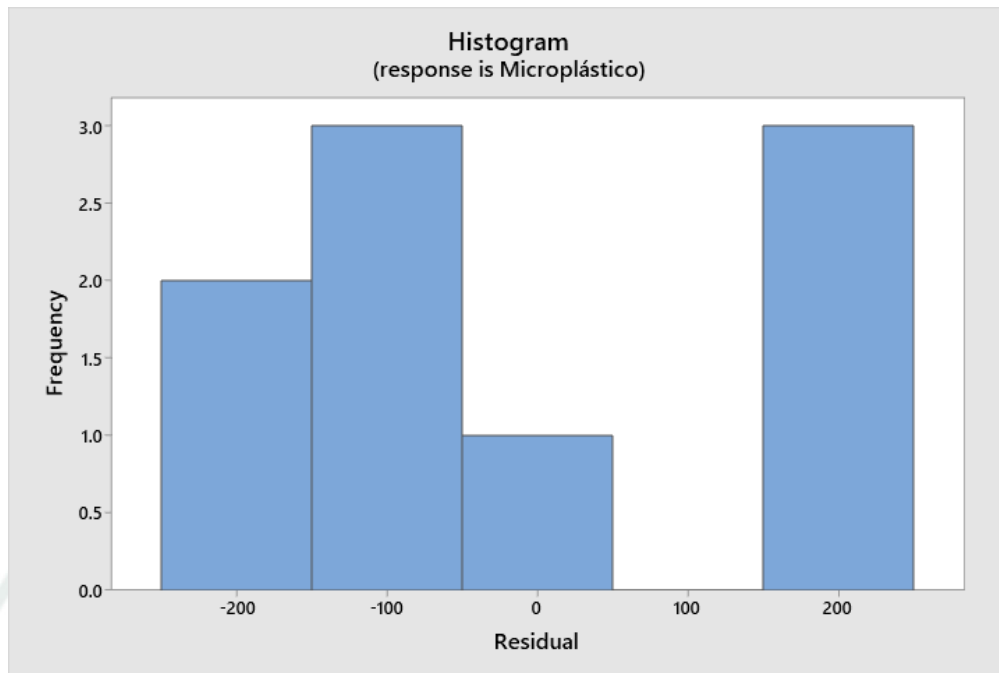
Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Parcela	N	Mean	Grouping
P1	3	689	A
P6	3	556	A
P3	3	444.4	A

Means that do not share a letter are significantly different.







ONE-WAY ANOVA: MICROPLÁSTICO VERSUS RIEGO POR GOTEO

Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Parcela	3	P2; P4; P5

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Parcela	2	670552	335276	6.72	0.029

Error	6	299230	49872
Total	8	969781	

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
223.320	69.14%	58.86%	30.58%

Means

Parcela	N	Mean	StDev	95% CI
P2	3	956	379	(640; 1271)
P4	3	400.0	66.7	(84.5; 715.5)
P5	3	355.5	38.5	(40.0; 671.0)

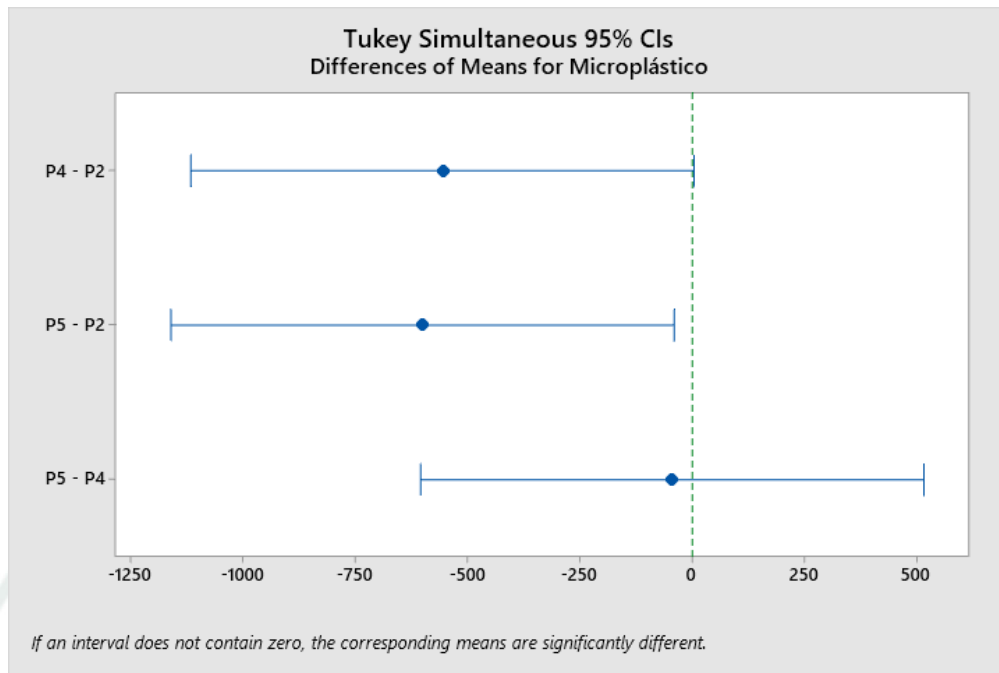
Pooled StDev = 223.320

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Parcela	N	Mean	Grouping
P2	3	956	A
P4	3	400.0	A B
P5	3	355.5	B

Means that do not share a letter are significantly different.

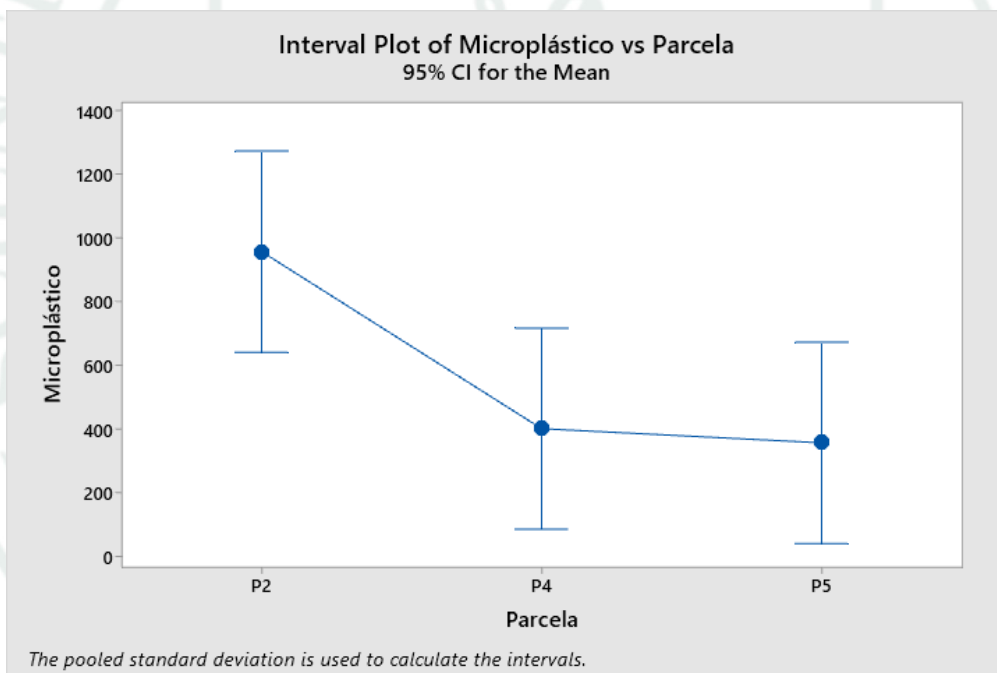
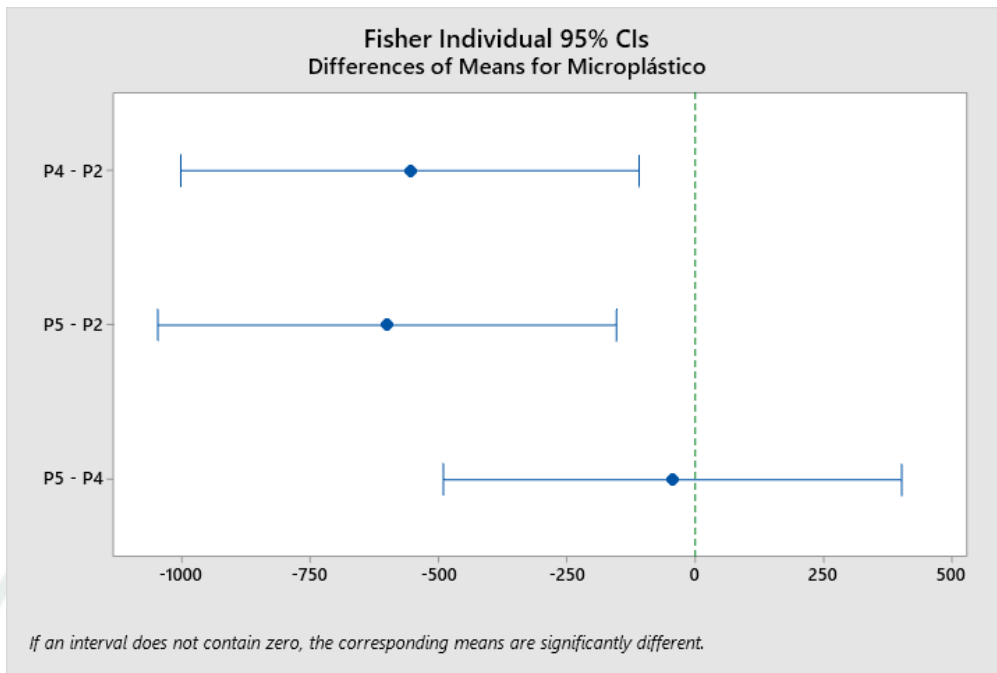


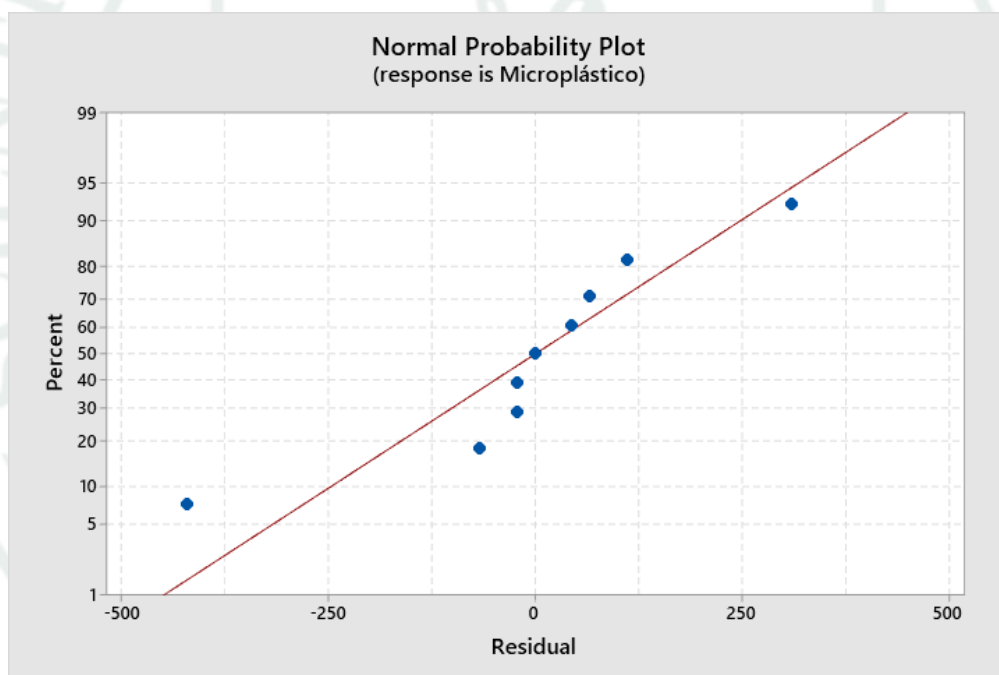
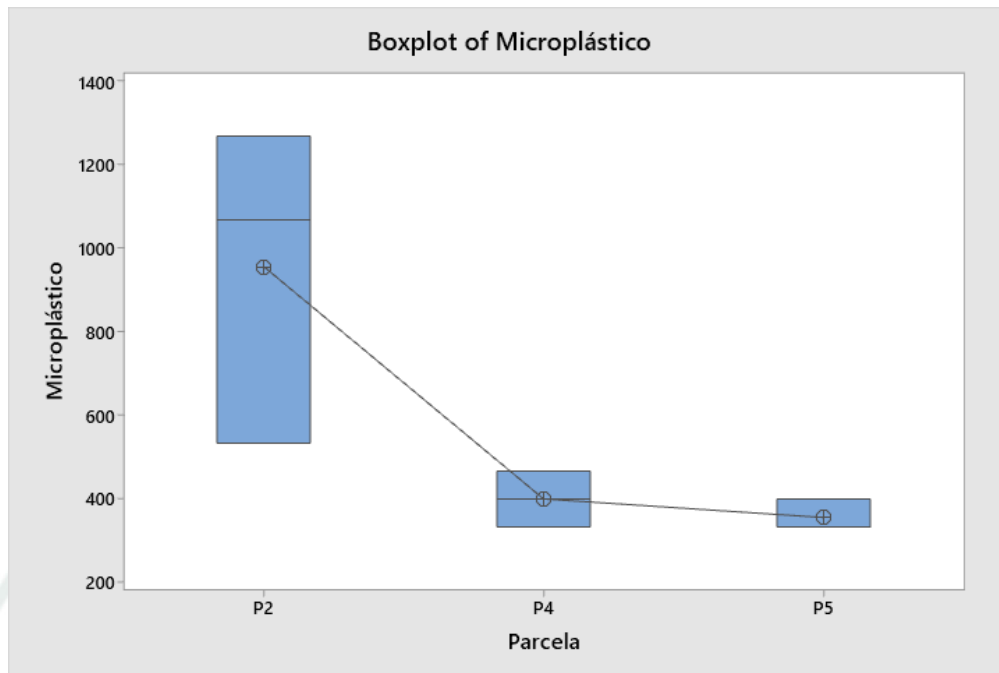
Fisher Pairwise Comparisons

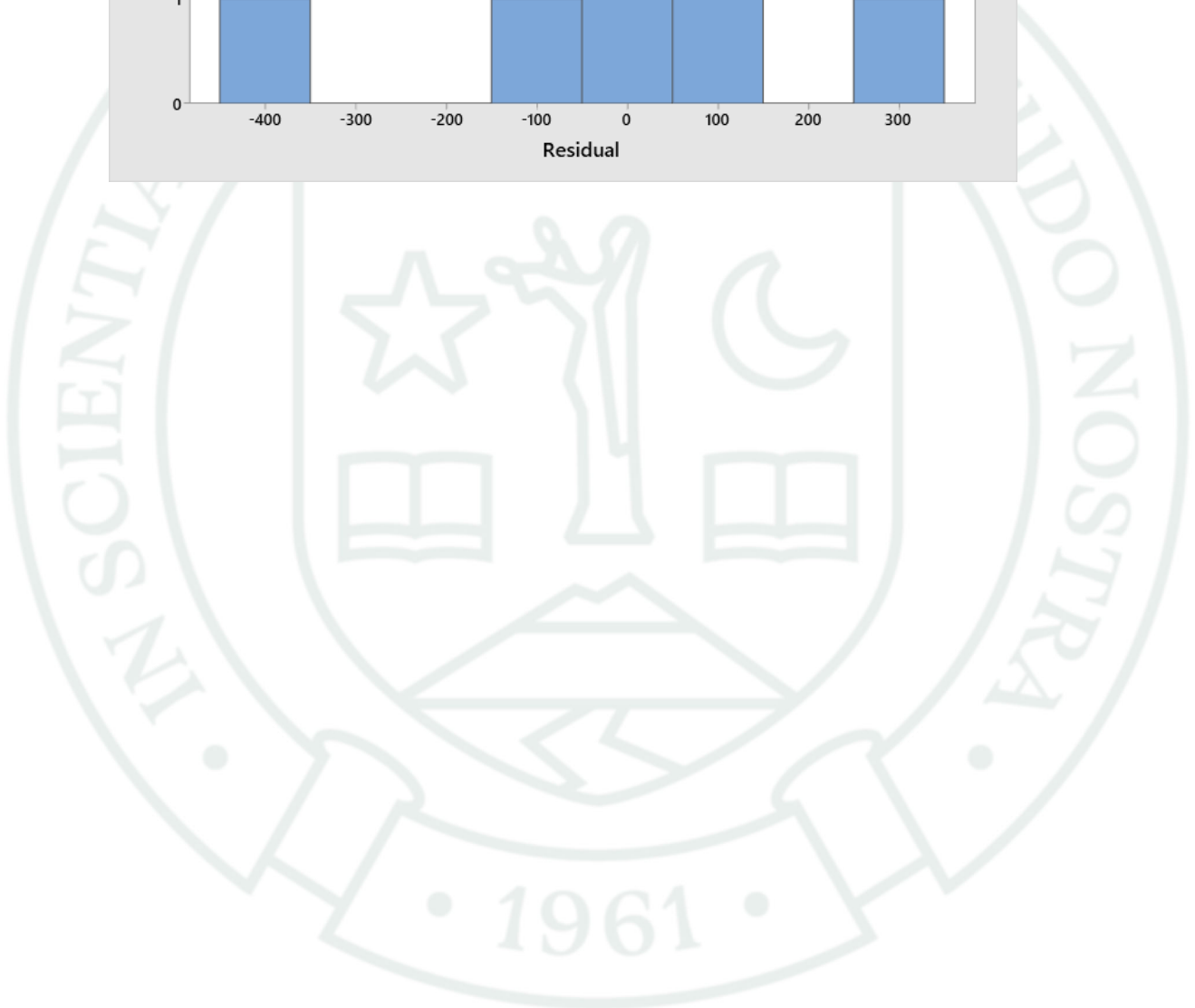
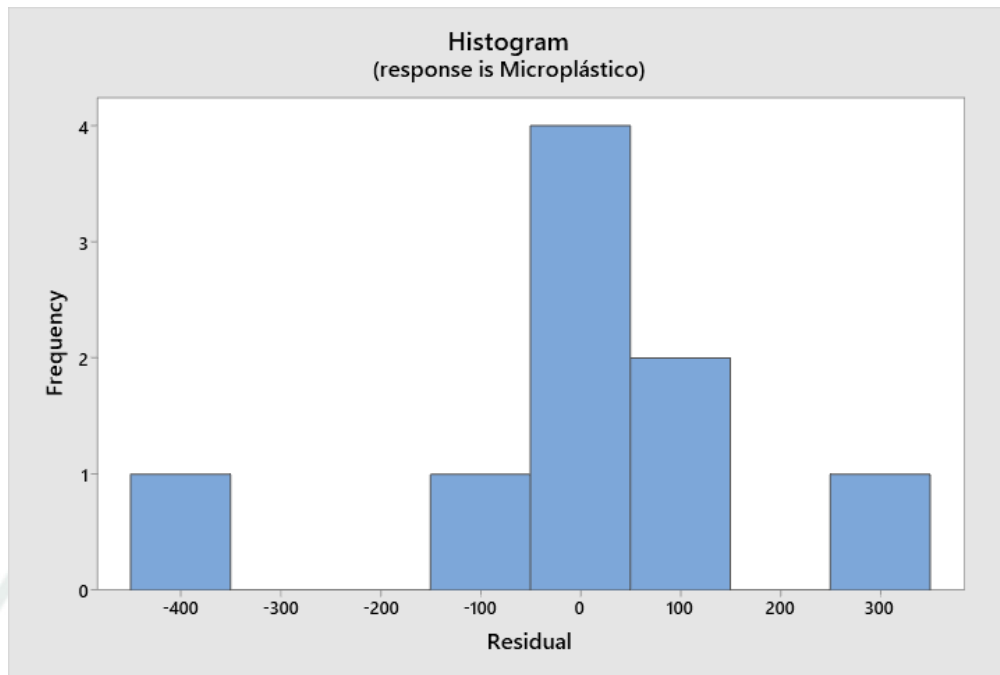
Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Parcela	N	Mean	Grouping
P2	3	956	A
P4	3	400.0	B
P5	3	355.5	B

Means that do not share a letter are significantly different.







Anexo 6 Prueba de normalidad

Variable	Riego por aspersión			Riego por goteo		
	Sig.	Distribución	Tipo de análisis	Sig.	Distribución	Tipo de análisis
Microplásticos	0.375	Normal	Paramétrico	0.002	No normal	No paramétrico
Aluminio	0.05	No normal	No paramétrico	0.426	Normal	Paramétrico
Arsénico	0.03	No normal	No paramétrico	0.109	Normal	Paramétrico
Bario	0.332	Normal	Paramétrico	0.05	No normal	No paramétrico
Boro	0.288	Normal	Paramétrico	0.177	Normal	Paramétrico
Cadmio	0.773	Normal	Paramétrico	0.419	Normal	Paramétrico
Calcio	0.069	Normal	Paramétrico	0.651	Normal	Paramétrico
Cerio	0.669	Normal	Paramétrico	0.982	Normal	Paramétrico
Cobre	0.038	No normal	No paramétrico	0.014	No normal	No paramétrico
Cromo	0.373	Normal	Paramétrico	0.064	Normal	Paramétrico
Estroncio	0.086	Normal	Paramétrico	0.002	No normal	No paramétrico
Fósforo	0.211	Normal	Paramétrico	0	No normal	No paramétrico
Hierro	0.415	Normal	Paramétrico	0.599	Normal	Paramétrico
Litio	0.322	Normal	Paramétrico	0.578	Normal	Paramétrico
Magnesio	0.519	Normal	Paramétrico	0.133	Normal	Paramétrico
Manganeso	0.089	Normal	Paramétrico	0.001	No normal	No paramétrico

Variable	Riego por aspersión			Riego por goteo		
	Sig.	Distribución	Tipo de análisis	Sig.	Distribución	Tipo de análisis
Plomo	0.641	Normal	Paramétrico	0.771	Normal	Paramétrico
Potasio	0.055	Normal	Paramétrico	0.067	Normal	Paramétrico
Silicio	0.179	Normal	Paramétrico	0.06	Normal	Paramétrico
Sodio	0.654	Normal	Paramétrico	0.172	Normal	Paramétrico
Titanio	0.825	Normal	Paramétrico	0.588	Normal	Paramétrico
Vanadio	0.78	Normal	Paramétrico	0.523	Normal	Paramétrico
Zinc	0.021	No normal	No paramétrico	0.002	No normal	No paramétrico