

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES**



Evaluación de los niveles de concentración de plomo y arsénico  
presentes en los suelos de uso agrícola de la localidad de Yangas,  
distrito de Santa Rosa de Quives, Lima-Perú

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORA**

Milagros Soledad Luna Huaman

**ASESOR**

Mario Antonio Anaya Raymundo

Lima, Perú

2025

## METADATOS COMPLEMENTARIOS

### Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

### Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

### Datos del Jurado

#### Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

**Datos de la obra**

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

\*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### ACTA N° 031-2025-UCSS/FCAA-DI

Siendo las 10:00 a. m. del 21 de mayo de 2025 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- |                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. José Luis Rodríguez Nuñez    | presidente      |
| 2. Karina Matta Santivañez      | primer miembro  |
| 3. Alejandro Ruiz Janje         | segundo miembro |
| 4. Mario Antonio Anaya Raymundo | asesor(a)       |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

#### **Evaluación de los niveles de concentración de plomo y arsénico presentes en los suelos de uso agrícola de la localidad de Yangas, distrito de Santa Rosa de Quives, Lima-Perú**

Que presenta la bachiller en **Ciencias Ambientales**:

#### **Milagros Soledad Luna Huaman**

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR	<b>X</b>
DESAPROBAR	...

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la **Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales**, a fin de que se declare EXPEDITA para conferir el TÍTULO de **INGENIERO AMBIENTAL**.


Lima, 21 de mayo de 2025.



José Luis Rodríguez Nuñez  
Presidente



Karina Matta Santivañez  
1° miembro



Alejandro Ruiz Janje  
2° miembro



Mario Antonio Anaya Raymundo  
Asesor(a)

**Anexo 2**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR DE TESIS CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Lima, 20 de mayo de 2025

Señor(a),  
Wilfredo Mendoza Caballero  
Jefe del Departamento de Investigación  
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la tesis bajo mi asesoría, con **título: Evaluación de los niveles de concentración de plomo y arsénico presentes en los suelos de uso agrícola de la localidad de Yangas, distrito de Santa Rosa de Quives, Lima-Perú**, presentado por Milagros Soledad Luna Huaman con código 2016100531 y DNI 72226993 para optar el **título profesional de Ingeniero Ambiental** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma

**Mario Antonio Anaya Raymundo**

DNI N°: 09763452

ORCID: 0000-0002-7423-1595

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

\* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

## DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía en el camino y fortaleza para culminar mi etapa universitaria a pesar de las adversidades.

A mis padres Emilio y Silvia, ya que representan el pilar fundamental en mi vida; su amor, esfuerzo y valentía, me enseñaron a ser perseverante y a luchar siempre por mis sueños. A mis hermanas Estefany y Katherine, por su cariño y apoyo durante mi proceso de formación académica.

A mis sobrinos Maia y Matteo, quienes iluminan mi camino y representan una constante inspiración para crecer y mejorar cada día como persona.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por su protección y misericordia a lo largo de mi vida universitaria; asimismo, por tener el privilegio de contar con el apoyo de mi familia y ayudarme a superar mis miedos e inseguridades.

A mis padres Emilio y Silvia, por creer en mí, inculcarme valores, enseñarme desde niña a admirar la naturaleza y motivarme a conseguir mis objetivos. Me siento afortunada de tener unos padres ejemplares nunca me cansaré de agradecerles todo el amor y comprensión que me brindaron en esta etapa importante de mi vida.

A mis hermanas Estefany y Katherine, por los momentos compartidos, estar presente cuando más necesitaba de alguien, y por enseñarme siempre a perseguir mis sueños hasta lograrlo.

A mi asesor de tesis, Mario Anaya Raymundo, por sus enseñanzas y experiencias impartidas en el aula. Gracias por su apoyo, consejos y apreciaciones críticas para la ejecución y conclusión de mi tesis.

A la Facultad de Ingeniería Agraria, Programa de estudios de la carrera de ingeniería ambiental y los docentes de la UCSS, que compartieron sus conocimientos y contribuyeron en mi formación profesional en las diferentes etapas de esta investigación.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág
ÍNDICE GENERAL.....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
ÍNDICE DE APÉNDICES .....	15
RESUMEN.....	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUCCIÓN .....	18
OBJETIVOS .....	20
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	21
1.1. Antecedentes .....	21
1.2. Bases teóricas especializadas .....	26
1.2.1. El recurso suelo .....	26
1.2.2. Suelo agrícola.....	31
1.2.3. Contaminantes.....	32
1.2.4. Metales pesados .....	32
1.2.5. Contaminantes con alta toxicidad.....	33
1.2.6. Efectos adversos de metales pesados en los suelos agrícolas.....	35
1.2.7. Los metales pesados y su comportamiento en el sistema suelo-planta .....	36
1.2.8. Parámetros del suelo relacionados a metales pesados.....	37
1.2.9. Factores que permiten la contaminación de los suelos con metales pesados .....	38
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
2.1. Diseño de la investigación.....	39
2.2. Lugar y fecha.....	39
2.3. Población y muestra .....	40
2.4. Técnicas e instrumentos .....	41
2.5. Descripción de la investigación.....	41
2.6. Identificación de las variables y su mensuración .....	46
2.7. Análisis estadístico de datos.....	47
2.8. Materiales y equipos.....	47
CAPÍTULO III: RESULTADOS .....	49
3.1. Características y propiedades edáficas relevantes en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas.....	49
3.1.1. Análisis en relación al cultivo .....	49
3.1.2. Análisis de la textura de los suelos agrícolas .....	49
3.1.3. Análisis del pH.....	50

3.1.4. Análisis de la materia orgánica (%) .....	55
3.1.5. Análisis de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) .....	60
3.2. Niveles de concentración de plomo (Pb) y arsénico (As) en los suelos de cultivos agrícolas de la localidad de Yangas con respecto a los ECA .....	65
3.3. Relación entre la concentración de plomo (Pb) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas .....	73
3.4. Relación entre la concentración de arsénico (As) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas .....	99
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN .....	124
4.1. Características y propiedades edáficas de los suelos agrícolas de la localidad Yangas .....	124
4.1.1. Análisis del cultivo .....	124
4.1.2. Análisis textural .....	125
4.1.3. Análisis de pH .....	125
4.1.4. Análisis de Materia Orgánica .....	126
4.1.5. Análisis de capacidad de intercambio catiónico .....	127
4.2. Niveles de concentración de plomo (Pb) y arsénico (As) en los suelos de cultivos agrícolas de la localidad de Yangas con respecto a los ECA .....	127
4.3. Relación entre la concentración de plomo (Pb) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas .....	128
4.4. Relación entre la concentración de arsénico (As) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas .....	130
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....	133
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES .....	135
REFERENCIAS .....	136
TERMINOLOGÍA .....	144
APÉNDICES .....	147

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Puntos de muestreo</i> .....	44
Tabla 2. <i>Parámetros del suelo</i> .....	45
Tabla 3. <i>Estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas</i> .....	46
Tabla 4. <i>VARIABLES del estudio</i> .....	47
Tabla 5. <i>Clasificación de agroquímicos aplicados a los cultivos y su nivel de peligrosidad</i> . ....	49
Tabla 6. <i>Clase textural de los suelos agrícolas de la localidad Yangas</i> .....	50
Tabla 7. <i>pH en Parcela N° 1</i> .....	51
Tabla 8. <i>pH en Parcela N° 2</i> .....	52
Tabla 9. <i>pH en Parcela N° 3</i> .....	54
Tabla 10. <i>Materia Orgánica en la Parcela N°1</i> .....	56
Tabla 11. <i>Materia Orgánica en la Parcela N°2</i> .....	57
Tabla 12. <i>Materia Orgánica en la Parcela N°3</i> .....	59
Tabla 13. <i>Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°1</i> .....	61
Tabla 14. <i>Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°2</i> .....	62
Tabla 15. <i>Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°3</i> .....	64
Tabla 16. <i>Contenido de plomo y arsénico en Parcela N°1</i> .....	66
Tabla 17. <i>Contenido de plomo y arsénico en Parcela N°2</i> .....	68
Tabla 18. <i>Contenido de plomo y arsénico en Parcela N°3</i> .....	70
Tabla 19. <i>Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°1 a profundidad de 0-20 cm</i> .....	74
Tabla 20. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm</i> .....	75
Tabla 21. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm</i> .....	76
Tabla 22. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N° 1 a profundidad 0-20 cm</i> .....	77
Tabla 23. <i>Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, CIC y materia orgánica de la parcela N°1 a profundidad de 20-60 cm</i> .....	78
Tabla 24. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm</i> .....	79
Tabla 25. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm</i> . ....	80

Tabla 26. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm.....</i>	81
Tabla 27. <i>Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 0-20 cm .....</i>	82
Tabla 28. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm.....</i>	83
Tabla 29. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm.....</i>	84
Tabla 30. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm.....</i>	85
Tabla 31. <i>Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 20-60 cm .....</i>	86
Tabla 32. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 20-60 cm.....</i>	87
Tabla 33. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm .....</i>	88
Tabla 34. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 20-60 cm.....</i>	89
Tabla 35. <i>Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°3 a profundidad de 0-20 cm .....</i>	90
Tabla 36. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm.....</i>	91
Tabla 37. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm. ....</i>	92
Tabla 38. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm.....</i>	93
Tabla 39. <i>Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°3 a profundidad de 20-60 cm .....</i>	94
Tabla 40. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 20-60 cm.....</i>	95
Tabla 41. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm.....</i>	96
Tabla 42. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 20-60 cm.....</i>	97
Tabla 43. <i>Análisis de varianza para la concentración de plomo en las tres parcelas a profundidad de 0-20 cm.....</i>	98

Tabla 44. <i>Análisis de varianza para la concentración de plomo en las tres parcelas a profundidad de 20-60 cm</i> .....	98
Tabla 45. <i>Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°1 a profundidad de 0-20 cm.</i> ....	99
Tabla 46. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm</i> .....	100
Tabla 47. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm.</i> .....	101
Tabla 48. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm</i> .....	102
Tabla 49. <i>Análisis estadístico de concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°1 a profundidad de 20-60 cm</i> .....	103
Tabla 50. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm</i> .....	104
Tabla 51. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm.</i> .....	105
Tabla 52. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm</i> .....	106
Tabla 53. <i>Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 0-20 cm.</i> .....	107
Tabla 54. <i>Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm</i> .....	108
Tabla 55. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm.</i> .....	109
Tabla 56. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm</i> .....	110
Tabla 57. <i>Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 20-60 cm</i> .....	111
Tabla 58. <i>Análisis de regresión entre el pH y M.O en relación a la concentración de arsénico en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm</i> .....	112
Tabla 59. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm</i> .....	113
Tabla 60. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm</i> .....	114
Tabla 61. <i>Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela 3 profundidad de 0-20 cm</i> .....	115

Tabla 62. <i>Análisis de regresión entre pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm</i> .....	116
Tabla 63. <i>Análisis de regresión entre pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm.</i> .....	117
Tabla 64. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm</i> .....	118
Tabla 65. <i>Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°3 profundidad de 20-60 cm</i> .....	119
Tabla 66. <i>Análisis de regresión entre el pH y M.O en relación a la concentración de arsénico en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm</i> .....	120
Tabla 67. <i>Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm</i> .....	121
Tabla 68. <i>Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm</i> .....	122
Tabla 69. <i>Análisis de varianza para la concentración de arsénico en las tres parcelas a profundidad de 0-20 cm</i> .....	123
Tabla 70. <i>Análisis de varianza para la concentración de arsénico en las tres parcelas a profundidad de 20-60 cm</i> .....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Escala de potencial de hidrógeno (pH)</i> .....	30
Figura 2. <i>Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta</i> .....	36
Figura 3. <i>Ubicación geográfica de Yangas-distrito de Santa Rosa de Quives</i> .....	39
Figura 4. <i>Proceso de muestreo de suelo</i> .....	42
Figura 5. <i>Puntos de muestreo en suelos de cultivos agrícolas de la localidad de Yangas</i> .....	45
Figura 6. <i>Diagrama de caja, para el pH del suelo de la Parcela N° 1 a dos profundidades</i> .....	51
Figura 7. <i>Diagrama de caja, para el pH del suelo de la Parcela N° 2 a dos profundidades</i> .....	53
Figura 8. <i>Diagrama de caja, para el pH del suelo de la Parcela N° 2 a dos profundidades</i> .....	54
Figura 9. <i>Valores de pH a nivel de las tres parcelas evaluadas</i> .....	55
Figura 10. <i>Diagrama de caja, para la M.O del suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades</i> .....	56
Figura 11. <i>Diagrama de caja, para la M.O del suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades</i> .....	58
Figura 12. <i>Diagrama de caja, para la M.O del suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades</i> .....	59
Figura 13. <i>Valores de la materia orgánica a nivel de las tres parcelas evaluadas</i> .....	60
Figura 14. <i>Diagrama de caja, para CIC del suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades</i> .....	61
Figura 15. <i>Diagrama de caja, para CIC del suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades</i> .....	63
Figura 16. <i>Diagrama de caja, para CIC del suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades</i> .....	64
Figura 17. <i>Valores para la CIC a nivel de las tres parcelas evaluadas</i> .....	65
Figura 18. <i>Diagrama de caja, para Pb en el suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades</i> .....	66
Figura 19. <i>Diagrama de caja, para As en el suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades</i> .....	67
Figura 20. <i>Diagrama de caja, para Pb en el suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades</i> .....	69
Figura 21. <i>Diagrama de caja, para As en el suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades</i> .....	69
Figura 22. <i>Diagrama de caja, para Pb en el suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades</i> .....	71
Figura 23. <i>Diagrama de caja, para As en el suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades</i> .....	71
Figura 24. <i>Valores de la concentración de metales pesados a nivel de las tres parcelas</i> .....	72
Figura 25. <i>Concentración de plomo a nivel de las tres parcelas evaluadas con relación al ECA</i> .....	72
Figura 26. <i>Concentración de arsénico a nivel de las tres parcelas evaluadas con relación al ECA</i> .....	73

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Resultados de análisis de suelos en laboratorio .....	147
Apéndice 2. Tablas para interpretación de análisis de suelos .....	148
Apéndice 3. Fotografías de la investigación .....	151
Apéndice 4. Fotografías del análisis en laboratorio .....	152
Apéndice 5. Flujograma del procedimiento de análisis para los parámetros del suelo .....	153

## RESUMEN

La presente investigación se ejecutó en suelos agrícolas de la localidad de Yangas, del distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Lima, cuya ubicación geográfica es  $11^{\circ} 41' 40''$  de latitud sur y  $76^{\circ} 50' 44,2''$  de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud de 915 m s.n.m. El objetivo de este estudio consistió en conocer los niveles de concentración de metales pesados, plomo y arsénico a dos profundidades del perfil del suelo (0-20 y 20-60 cm), teniendo en cuenta las propiedades del suelo, como el pH, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y textura. Para tal efecto, se ubicaron cuatro puntos de muestreo en tres diferentes zonas de la localidad de Yangas, donde se construyeron calicatas y se analizó las concentraciones de plomo y arsénico. De acuerdo a los resultados obtenidos, el valor del plomo fue  $24,22 \text{ mg.kg}^{-1}$  hasta  $32,69 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; mientras que el valor de arsénico desde  $20,82 \text{ mg.kg}^{-1}$  hasta  $31 \text{ mg.kg}^{-1}$  en profundidades de 0-20 cm y 20-60 cm, los cuales no sobrepasaron los valores  $70 \text{ mg de Pb.kg}^{-1}$  y  $50 \text{ mg de As.kg}^{-1}$  de los estándares de calidad ambiental (ECAs) para suelos agrícolas, establecidos por el Ministerio del Ambiente [MINAM]. Con respecto al análisis estadístico realizado mediante regresiones y correlaciones lineales entre el plomo y arsénico con los parámetros del suelo, se determinó que el p-valor no presenta significancia estadística ( $p > 0,05$ ), y el pH tiene influencia en la M.O y CIC. Se concluye que los suelos agrícolas de Yangas no presentan riesgos significativos de metales pesados. Sin embargo, es crucial mantener vigilancia continua y educar a los agricultores en manejo sostenible. Estas acciones son necesarias para asegurar la calidad del suelo y proteger la salud pública. Además, es fundamental establecer programas de capacitación que incluyan prácticas de cultivo seguras y sostenibles, promoviendo el uso responsable de agroquímicos y técnicas de conservación del suelo.

**Palabras claves:** Límites permisibles, metales pesados, propiedades del suelo, puntos de muestreo.

## ABSTRACT

This research was carried out on agricultural soils in the town of Yangas, in the district of Santa Rosa de Quives, province of Lima, whose geographical location is 11° 41' 40" south latitude and 76° 50' 44.2" longitude. west of the Greenwich Meridian, with an altitude of 915 m n. m. The objective of this study was to know the levels of heavy metals, lead and arsenic at two depths of the soil profile (0-20 and 20-60 cm). It takes into account soil properties, such as pH, organic matter content, cationic exchange capacity and texture. For this purpose, four sampling points were located in three different areas of the town of Yangas, where pits were built and the soils were analyzed. concentrations of lead and arsenic. According to the results obtained, the values of lead, were 24,22 mg.kg<sup>-1</sup> to 32,69 mg.kg<sup>-1</sup> ; while the arsenic value was 20,82 mg.kg<sup>-1</sup> to 31mg.kg<sup>-1</sup> in depths of 0-20 cm and 20-60 cm, which did not exceed the values 70 mg of Pb.kg<sup>-1</sup> and 50 mg of As.kg<sup>-1</sup> of the environmental quality standards (ECAs) for agricultural soils, established by the Ministry of the Environment [MINAM]. With respect to the statistical analysis carried out through regressions and linear correlations between lead and arsenic with the soil parameters, it was determined that the p-value does not present statistical significance (p> 0.05), and the pH has an influence on the M.O and CEC. It is concluded that the agricultural soils of Yangas do not present significant risks of heavy metals. However, it is crucial to maintain continuous surveillance and educate farmers in sustainable management. These actions are necessary to ensure soil quality and protect public health. In addition, it is essential to establish training programs that include safe and sustainable cultivation practices, promoting the responsible use of agrochemicals and soil conservation techniques.

**Keywords:** Permissible limits, heavy metals, soil properties, sampling points.

## INTRODUCCIÓN

A nivel global, el suelo representa una fuente esencial para la producción alimentaria, ya que sus propiedades físico-químicas y la disponibilidad de nutrientes son fundamentales para satisfacer las necesidades de los seres vivos (Covacevich *et al.*, 2012). No obstante, el suelo requiere una gestión responsable, debido que su uso intensivo y sin control adecuado puede alterar su composición y degradar su fertilidad, en especial aquella relacionada con la materia orgánica. Este deterioro afecta tanto la estructura del suelo como su capacidad de generar productos agrícolas de calidad.

Uno de los problemas más graves que enfrentan los suelos agrícolas es la contaminación por metales pesados. Esta contaminación no solo compromete las propiedades edáficas del suelo, sino que también tiene efectos directos sobre la salud humana y animal. Los metales pesados afectan las capas superficiales del suelo, reduciendo su calidad productiva y aumentando la toxicidad de los cultivos. Los niveles elevados de estos metales en el suelo son el resultado de prácticas agrícolas intensivas, como el uso excesivo de agroquímicos, que se acumulan y permanecen en el suelo a lo largo del tiempo. Además, factores como el contenido de materia orgánica, el pH, la capacidad de intercambio catiónico y las fluctuaciones ambientales contribuyen a la acumulación y persistencia de estos contaminantes en el medio ambiente (Gupta *et al.*, 2021).

En este contexto, se ha identificado una problemática en la localidad de Yangas, ubicada en el distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta, Lima. Esta zona presenta una actividad agrícola intensiva, centrada en cultivos como hortalizas, frutales, maíz y papa, destinados al consumo local y regional. Ante la alta demanda, los agricultores recurren frecuentemente al uso de agroquímicos para mejorar sus rendimientos. Sin embargo, el uso excesivo de estas sustancias ha contribuido al incremento de metales pesados como arsénico (As) y plomo (Pb) en los suelos. Esta contaminación compromete los recursos naturales, especialmente el suelo, el agua y el aire, y representa un riesgo para la salud humana y animal, ya que estos metales pueden ser absorbidos por los cultivos e incorporarse a la cadena alimentaria (Olarde, 2007; Castillo *et al.*, 2020).

La bioacumulación de estos metales pesados en las plantas, y su posterior transferencia a los seres humanos y animales, genera efectos negativos en la salud pública y en la biodiversidad local. En este sentido, es crucial llevar a cabo un análisis detallado del grado de contaminación en los suelos de Yangas para entender el impacto de estos contaminantes y poder proponer medidas correctivas adecuadas. Este estudio tiene como objetivo identificar la relación entre los niveles de plomo y arsénico presentes en el suelo y las propiedades edáficas que afectan su productividad. Además, los resultados obtenidos servirán como base para desarrollar estrategias de manejo sostenible que protejan el suelo y promuevan la conservación ambiental, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y al bienestar de los pobladores de la zona.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar el nivel de concentración de plomo y arsénico con relación a las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas, distrito de Santa Rosa de Quives.

### **Objetivos específicos**

- Determinar las características y propiedades edáficas relevantes de los suelos agrícolas de la localidad de Yangas para optimizar el desarrollo de los cultivos.
- Evaluar los niveles de concentración de plomo (Pb) y arsénico (As) en los suelos de cultivos agrícolas de la localidad de Yangas con respecto a los ECA.
- Determinar la relación entre la concentración de plomo (Pb) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas.
- Determinar la relación entre la concentración de arsénico (As) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

### Internacionales

Mengxue *et al.* (2021), en el estudio “La evaluación de la contaminación del suelo por metales pesados en los suelos de cultivo agrícola a lo largo del río Yangtze en Nanjing, sureste de China”; tuvieron como objetivo analizar las cantidades de metales pesados y el riesgo potencial en los suelos agrícolas. La metodología consistió en la recolección de 90 pares de muestras de suelo y cultivo (hortalizas, maíz, trigo y arroz) a una profundidad de 0 a 20 cm. Las muestras recolectadas estuvieron conservadas a temperatura ambiente, para luego proceder a realizar el análisis de pH y materia orgánica del suelo. Para la medición de Cd, Pb, Cu y Zn utilizaron el método de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y para la evaluación del contenido de As y Hg utilizaron el método de espectrometría de fluorescencia atómica. El análisis estadístico empleado fue en base a la matriz de correlación, mapeo de los sitios de muestreo y grados de contaminación. Las concentraciones de los metales pesados fueron Cd (0,26), As (11,07), Hg (0,09), Pb (32,63), Cu (38,57) y Zn (107,92) mg.kg<sup>-1</sup>. Estos superaron los valores de fondo del suelo. Los fertilizantes y deposiciones atmosféricas ocasionaron la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas, afectando los tipos de cultivo, el pH y la materia orgánica de los suelos. Los resultados evidenciaron que los suelos de cultivo de arroz tenían el riesgo más alto de metales pesados a diferencia de los suelos de maíz, vegetales y trigo. Finalmente, este estudio concluyó que, los suelos de la zona agrícola necesitan mejorar la calidad del suelo y garantizar una mayor seguridad del producto agrícola, evitando la acumulación de contaminantes en la cadena alimenticia y posibilidades de riesgos en la salud.

Kharazi *et al.* (2021), en el estudio “Las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos regados con aguas residuales o agua de pozo en la ciudad de Hamadan, Irán”; tuvieron como objetivo principal analizar el contenido de 11 metales pesados (Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cr, As, Co, Ni, Cd y Hg), y evaluar los efectos negativos que ocasiona el consumo de los cultivos en la salud de niños y adultos. La metodología consistió en

recolectar 75 muestras de suelo agrícola en 14 sitios mediante un proceso de muestreo compuesto a una profundidad de 0-20 cm para determinar los contenidos de metales pesados. La evaluación de las muestras fue mediante el método de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para analizar la concentración de metales con los límites máximos permisibles. Los resultados indicaron que el contenido de metales pesados en suelo agrícola estuvo por debajo del valor límite sugerido, excepto el níquel ( $84 \pm 27 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). El estudio concluyó que el riesgo cancerígeno de Ni, Cd y As en la mayoría de los vegetales estuvo por encima del límite permisible, lo que evidencia la necesidad de evaluar la contaminación por metales pesados y diseñar estrategias para reducir su presencia en los productos agrícolas.

Proshad *et al.* (2019), en el estudio “La contaminación por metales pesados en suelos agrícolas del distrito de Tangail, Bangladesh”; tuvieron como objetivo, evaluar las concentraciones de seis metales pesados (Cr, Ni, Cu, As, Cd y Pb) en diferentes sitios de muestreo de suelo para conocer los riesgos ambientales y efectos adversos en la salud humana. La metodología consistió en un proceso de recolección de muestras de suelo agrícola a una profundidad de 0-10 cm, mediante el método de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para analizar los parámetros fisicoquímicos como la textura, pH, conductividad eléctrica y la cantidad de carbono. Los resultados evidenciaron que las concentraciones promedio en los diferentes puntos de muestreo fueron de Cr (6,73), Ni (29,74), Cu (24,69), As (4,79), Cd (2,50) y Pb (19,90)  $\text{mg.kg}^{-1}$ , y que a excepción de Cd fueron más bajas que los estándares holandeses, canadienses y australianos. El estudio concluyó que, la presencia de metales en los suelos agrícolas es de origen antropogénico. Asimismo, el riesgo ambiental potencial de las áreas de cultivo demostró un riesgo de bajo a muy alto, indicando un riesgo bajo de cáncer en adultos y niños, pero que a largo plazo mediante la ingestión, inhalación y contacto dérmico existe la posibilidad de ocasionar graves enfermedades.

Adagunodo *et al.* (2018), en el estudio “La concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Odo-Oba, suroeste Nigeria”; tuvieron como objetivo analizar diez muestras de suelos agrícolas como el cobre (Cu), plomo (Pb), cromo (Cr), arsénico (As), zinc (Zn), cadmio (Cd), níquel (Ni), antimonio (Sb), cobalto (Co) y vanadio (V) al azar a 0- 30 cm de

profundidad. La metodología consistió en realizar el método de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Entre los cultivos en Odo-Oba estaban los cultivos de hortalizas, tubérculos, leguminosas y cereales, los cuales fueron determinados y comparados con los valores guía. La estadística fue empleada para realizar las pruebas de normalidad de Lilliefors, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov, así como pruebas de correlación para demostrar los datos asociados a los metales pesados. Los resultados mostraron las distribuciones de metales pesados en la capa superior del suelo agrícola de Odo-Oba, para conocer el riesgo asociado con el consumo de los cultivos. Finalmente, el estudio concluyó que los valores medios no superaron los límites máximos permisibles; mientras que, Cromo (Cr) y Vanadio (V) excedieron los valores establecidos en la normativa internacional generando un riesgo ecológico.

Ahmadi *et al.* (2017), en el estudio “La determinación de concentración de metales pesados en suelos agrícolas de la llanura de Aghili, provincia de Juzestán, Irán”; tuvieron como objetivo analizar las cantidades totales de los metales pesados (As, Pb y Cd) en suelo agrícola. La metodología consistió en el muestreo sistemático de 54 muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm, en el cual analizaron las concentraciones de metales pesados mediante el método de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), y luego realizaron la zonificación mediante el método kriging. Además, consideraron las características fisicoquímicas del suelo en el análisis estadístico de los datos utilizando la prueba de Kolmogórov-Smirnov y correlación de Pearson, para detallar la relación existente entre las variables del suelo. El nivel de contaminación fue evaluado a través de índices de un solo factor y el índice de carga de contaminación. Los resultados evidenciaron las concentraciones de metales  $Pb > As > Cd$  como sitios moderadamente a altamente contaminados. El estudio concluyó que estos lugares presentaron riesgo de toxicidad hacia la salud humana, por tal razón es necesario que se realice monitoreos, medidas de control y acciones correctivas.

Chambi *et al.* (2017), en el estudio “La determinación de concentración de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos representativos en tres microcuencas del municipio Poopó”; tuvieron como objetivo evaluar la presencia de metales pesados Pb, Cd, Zn y As en los suelos agrícolas y la parte comestible de cultivos (papa, haba, cebada y alfalfa) en tres puntos de la

microcuenca: Venta y Media (P1), Coriviri (P2) y Poopó (P3). El estudio fue realizado mediante un muestreo de pequeñas concentraciones de 0,5 g de suelo en el proceso de desecación, molienda, tamizado, pesaje de suelos y la parte comestible de los cultivos. La metodología utilizada consistió en el análisis de metales pesados mediante espectrofotometría de absorción atómica, empleando tanto el método de llama como el de horno de grafito. Asimismo, realizaron una evaluación detallada de las propiedades fisicoquímicas del suelo, tales como la profundidad efectiva, el contenido de grava, la textura, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, el fósforo asimilable, el nitrógeno total y la materia orgánica. Luego realizaron una comparación con la concentración de metales y los límites máximos permisibles propuesto por la Agencia Ambiental Holandesa y Ley de Gestión Ambiental de Ecuador. Los resultados obtenidos evidenciaron que la concentración de metales pesados (Pb y Cd) ocasionó problemas para el cultivo de haba y superó el límite máximo permisible ( $5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Los cultivos de papa y haba presentaron concentraciones de As por encima al límite máximo permisible ( $1,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Asimismo, los suelos agrícolas superaron las concentraciones de As, Pb, Cd y Zn, debido al arrastre de partículas por acción del viento y agua de los desmontes de mina. Con respecto a ello, el estudio concluyó que es importante implementar medidas de prevención y remediación de los suelos de cultivo agrícola para evitar el peligro en la cadena trófica y la salud humana.

Kelepertzis (2014), en el estudio “La evaluación de concentración de metales pesados en suelos agrícolas de la cuenca de Argólida, Grecia”; tuvieron como objetivo analizar los diez metales pesados (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, As, Cd, Cr y Fe) en 132 suelos agrícolas. La metodología consistió en la evaluación del contenido de metales pesados y utilizaron el método GIS para comprender la distribución de metales pesados en el suelo. El análisis de las soluciones geoquímicas fue parte de los procedimientos de control de calidad realizado por espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente con límites de detección extremadamente bajos. Los resultados indicaron el uso excesivo de productos químicos (fertilizantes y pesticidas) y contenido de metales pesados (Cu, Zn, Cd, Pb, As, Ni, Cr) en campos de naranja y mandarina; mientras que, Co y Fe estaban controlados para promover el crecimiento de los cultivos, debido que aumentó las concentraciones de metales pesados en los suelos agrícolas, lo que amenazó potencialmente la salud humana a lo largo de la cadena alimentaria. Finalmente, el estudio concluyó en que, el monitoreo y la evaluación de

los niveles de metales pesados en suelos agrícolas es fundamental para reducir la aplicación de fertilizantes, pesticidas y fungicidas.

### **Nacionales**

Orellana *et al.* (2020), en el estudio “La presencia de metales pesados en suelos agrícolas en zonas altoandinas de las provincias de Huancayo, Concepción, Jauja y Chupaca en el departamento de Junín”; tuvieron como objetivo, evaluar las concentraciones de metales pesados (As, Cd, Pb, Fe y Zn), los niveles de contaminación y amenazas ambientales latentes de los suelos agrícolas. La metodología consistió en la toma de cinco muestras de suelo de las áreas cultivadas a una profundidad de 0 a 20 cm, que fueron mezcladas y homogeneizadas en un recipiente hasta obtener una muestra compuesta de 1 kg para determinar los niveles de concentración de metales pesados. Realizaron un análisis de laboratorio mediante el método de espectroscopia de absorción atómica de llama, que permitió demostrar que el contenido de metales pesados en el suelo no superó los valores especificados en las normas nacionales e internacionales. Los resultados evidenciaron la contaminación por As fue alta y la contaminación por Pb y Zn fue moderadas. El estudio concluyó que el arsénico (As) fue el mayor contaminante acumulado en los suelos, debido a las actividades humanas y posibles riesgos ambientales asociados al uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en los productos agrícolas, por lo que debe mantenerse en control para proteger la salud humana y el medio ambiente.

Soto-Benavente *et al.* (2020), en el estudio “El contenido de metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana”; tuvieron como objetivo analizar las concentraciones de As, Cd, Pb y Hg en suelos y plantaciones agrícolas (plátano y yuca). La metodología consistió en utilizar una muestra compuesta de seis submuestras distribuidas de manera sistemática, para cuyo análisis de metales pesados se emplearon el método de espectrofotometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y la espectrometría de fluorescencia atómica con generación de hidruros (GHAFS). Los resultados mostraron las características físicoquímicas de los suelos y la bioacumulación de metales pesados en zona agrícola, donde obtuvieron que la cantidad de Hg en suelo ( $< 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) fue similar en plantaciones contaminadas y no contaminadas; mientras que, las concentraciones de As, Cd y Pb fueron

superiores en las plantaciones contaminadas. Además, las concentraciones de As y Pb en raíces de yuca superaron los niveles recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Debido ello, el estudio concluyó en la importancia de realizar una evaluación y control en la comercialización de cultivos agrícolas, basándose en el desarrollo de información del mercado, capacitación agrícola y planificación de la producción para ofrecer alimentos de calidad, sin riesgo de contaminación por metales pesados que perjudique la salud de los pobladores.

Riveros (2014), en el estudio “El nivel de contaminación con metales pesados en suelos agrícolas y sus efectos en hortalizas en el valle Higueras, ubicado en Huánuco” ; tuvieron como objetivo analizar los niveles de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As) y mercurio (Hg) en agua, suelo y en la parte comestible en plantaciones de “lechuga” *Lactuca sativa* L., “apio” *Apium graveolens* L., “repollo” *Brassica oleracea* L. y “brócoli” *Brassica oleracea* L. var. *italica*. La metodología consistió en tomar muestras de suelo del área de cultivo de 430 hectáreas, con una profundidad de 0 a 20 cm en parcelas, para luego realizar el análisis de las muestras de suelos y cultivos agrícolas en laboratorio. Los resultados indicaron que la concentración de Pb superó la concentración según los límites máximos permisibles de la normativa de Unión Europea, y la lechuga acumuló niveles más altos de metales pesados a diferencia de las otras plantas. Finalmente, el estudio concluyó en monitorear los suelos agrícolas considerando el riesgo de los metales en la cadena trófica, para controlar mejor la calidad de los vegetales en los mercados de la ciudad de Huánuco.

## **1.2. Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1. El recurso suelo**

El suelo es una capa delgada que se encuentra en la superficie de la corteza terrestre; se forma a partir de la desintegración de rocas superficiales mediante la acción de agua, viento, variaciones de temperatura, así como la interacción con el material parental, organismos, topografía y clima (Soil Science Society of America, 2008). Asimismo, proporciona importantes servicios ambientales, regula los flujos climáticos e hidrológicos, esencial para

recargar los acuíferos y suministrar nutrientes a las plantas nativas, gramíneas y leguminosas, las cuales producen forrajes, fibras, biocombustibles, cereales y frutos. Este recurso contiene minerales derivados de las rocas (arena, arcilla y limo), agua y materia orgánica, que resulta de la descomposición de restos vegetales y animales. Su formación comienza con la fragmentación de la roca y la transformación de la materia orgánica a través de factores físicos, químicos y biológicos (Montaño *et al.*, 2018).

Asimismo, el suelo constituye la base principal para el desempeño de la producción agrícola, ya que sus propiedades permiten mantener un nivel de pH adecuado, proporcionar oxígeno suficiente, suministrar agua y facilitar el desarrollo de las plantas (FAO, 2015).

### **Propiedades físicas del suelo**

Según Casas (2012), las principales condiciones físicas son persistentes y están relacionadas con la capacidad de uso del hombre. Estas condiciones presentan características que se observan y miden sin provocar cambios químicos en la composición del suelo e incluyen aspectos como la profundidad efectiva, textura, estructura, densidad, porosidad, color y disponibilidad de agua en el suelo.

**Profundidad.** Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2016) explica que la profundidad del suelo, es denominada como la espesura del suelo, importante para el crecimiento y rendimiento de las plantas, ya que permite el desarrollo de raíces y actividades biológicas. Para determinar esta profundidad, se realiza un muestreo expresado en centímetros desde la superficie del suelo hasta la roca madre o el horizonte C. Esta medida es importante porque las raíces se desarrollan en esta zona y requieren agua para suministrar a la planta y absorber nutrientes (León, 2011).

**Textura.** La textura del suelo se define como la relación de componentes inorgánicos en diferentes formas, agrupados en una escala granulométrica según el tamaño de las partículas del suelo, como arena, limo y arcilla (FAO, 2016). La textura permite estimar la capacidad productiva del suelo, su retención de agua, velocidad de infiltración, densidad aparente y capacidad de uso. Para determinar la distribución porcentual de partículas en función del tamaño y peso, se han desarrollado diversas técnicas. Los suelos arenosos se caracterizan

por ser fáciles de trabajar, pero no retienen muchos nutrientes aprovechables para los cultivos agrícolas. Los suelos limosos tienen partículas de tamaño intermedio, son fértiles y se pueden desagregar en estado seco. Por otro lado, los suelos arcillosos presentan partículas finas capaces de formar barro; son difíciles de trabajar cuando están secos debido a su baja capacidad de drenaje, pero tienen una alta cantidad de nutrientes (Osorio *et al.*, 2022).

**Estructura.** Según León (2011) la estructura del suelo es una propiedad física que se origina de la unión de partículas de arcilla, limo y arena, formando agregados cuando se agrupan. Para describir de manera adecuada la estructura del suelo, es importante que se encuentre en una condición seca o casi húmeda, debido que esto influye en su porosidad, retención de nutrientes, almacenamiento de agua y oxígeno.

**Densidad.** La densidad se define como un parámetro relacionado con la masa de un cuerpo o sustancia y el volumen, fundamental para determinar la porosidad total del suelo. En ese sentido, existen dos tipos de densidad que se clasifica en real y aparente. La densidad real, constituye la fase sólida del suelo y está alrededor de 2,65. Por otro lado, la densidad aparente indica la relación entre la masa y el volumen del recurso suelo, que se encuentra en su posición natural con los espacios porosos (FAO, 2016).

**Porosidad.** Según Porta *et al.* (2003) la porosidad es aquel espacio vacío, resultado de la agregación de partículas minerales individuales en combinación con materia orgánica. Se define como los huecos presentes en el horizonte del suelo, ya sea en conjunto o en forma de agregados. Para analizar la porosidad, se toma una muestra de lámina delgada y, mediante el uso de un microscopio, se determina el porcentaje, la densidad y el tamaño de los poros.

**Color.** El color del suelo es un indicador del estado actual del mismo y varía en función de la humedad, la materia orgánica y los minerales presentes. Este color se determina según el nivel de profundidad y la observación en diferentes capas del suelo. El color del suelo proporciona información sobre el medio edáfico y se utiliza para conocer el origen del material parental, el contenido de materia orgánica (M.O), el drenaje, así como la presencia de carbonatos y sales (Castellanos *et al.*, 2000).

Osorio *et al.*, (2022) agrega que los factores ambientales, como la temperatura y la época del año, influyen en el color del suelo. Los suelos oscuros, por ejemplo, captan mejor la energía del sol, se secan rápido y favorecen el crecimiento de los cultivos debido a su alta capacidad de materia orgánica, en comparación con los suelos de color más claro. El color oscuro de un suelo no solo se debe a la cantidad de materia orgánica, sino también a la presencia de óxidos de manganeso o carbón derivado de la quema de residuos vegetales. Por otro lado, los suelos de color rojo y amarillo se forman por la oxidación e hidratación de los minerales de hierro, cuando el sistema de drenaje permite una adecuada aireación y se dan condiciones ambientales favorables.

**Disponibilidad de agua.** La disponibilidad del agua determina el nivel de dificultad de las raíces para absorber el agua al interior de las plantas. En el momento que disminuye la humedad en el suelo, se dificulta la absorción del agua en las raíces, y las plantas se ven afectadas por el estrés hídrico. Esto puede alterar su desarrollo y aumentar el riesgo de deshidratación total. (Angella y Frías, 2016; Luna-Flores *et al.*, 2012).

### **Propiedades químicas del suelo**

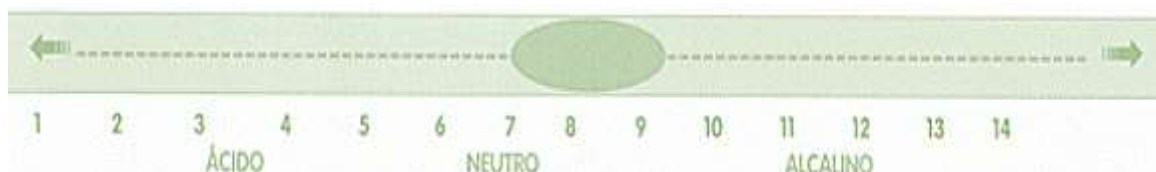
Son aquellas propiedades que determinan la composición y características químicas del suelo a través de indicadores como el pH, conductividad eléctrica, variabilidad de la materia orgánica, y la capacidad de intercambio catiónico (Bautista *et al.*, 2004).

**pH.** El pH es un factor principal para determinar el grado de acidez o alcalinidad de un suelo, y para establecer el control de la disponibilidad de minerales necesarios para una mejor calidad durante el crecimiento de las plantas. Los metales tienen mayor disponibilidad cuando el pH es ácido; por lo tanto, al reducir el pH se mejora la solubilidad de los metales y aumenta la capacidad de absorción de las raíces de las plantas (Roca-Fernández, 2012).

El pH es una condición ambiental que se representa en una escala que va de 0 a 14, donde el valor 7 indica un grado neutral. Los valores menores a 7 indican acidez, mientras que los valores superiores a 7 indican alcalinidad (Figura 1) (Osorio *et al.*, 2022).

## Figura 1

### Escala de potencial de hidrógeno (pH)



*Nota.* El nivel de pH varía según el tipo de suelo en el que se cultiva la planta y esto es capaz de afectar el crecimiento y los nutrientes de las plantas. Gráfico tomado de Osorio *et al* (2022). Suelos: caracterización e importancia. 1 ed. p.14. <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccionpublicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>

**Conductividad eléctrica.** La conductividad es un indicador indirecto de la sal que se encuentra en el suelo. Su elevada concentración perjudica la estructura del suelo y el crecimiento de cultivos; mientras que, en menor concentración favorece la fertilización e impide la fitotoxicidad en los componentes del sustrato. Asimismo, la conductividad eléctrica depende de diversos factores, como el material de origen o factores que forman el suelo. La aplicación excesiva de fertilizantes o abonos con elevada conductividad eléctrica aumenta la salinidad del suelo (Cremona y Enriquez, 2020).

La conductividad eléctrica cumple un papel importante en las decisiones de manejo del suelo al considerar su salinidad. Este parámetro del suelo facilita la identificación de un cultivo en función de su tolerancia, que se puede determinar conociendo la salinidad del suelo con fines agrícolas en función del sistema de riego. La salinidad varía con el estado fenológico de la planta en las primeras etapas de desarrollo, en algunos casos retrasa su crecimiento, genera cambio en el color de la especie y limita la disponibilidad de agua incluso cuando el suelo está húmedo. Por tal razón es necesario monitorear la conductividad eléctrica y establecer medidas de control (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

**Capacidad de Intercambio Catiónico.** La capacidad de intercambio catiónico es una medida que afecta de manera indirecta la capacidad amortiguadora del suelo. Almacena nutrientes en forma de cationes retenidos por el complejo de intercambio y perjudica de manera directa la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes (Lowenfels y Lewis, 2010). La Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC) es importante, debido que existen

materiales en el suelo que permiten el cambio de cationes como la arcilla y materia orgánica. Este intercambio iónico ocurre debido al desequilibrio eléctrico de las partículas en el suelo. Es necesario que los iones sean adsorbidos en la superficie de estas partículas, ya que quedan retenidos en ellas y tienen la capacidad de intercambiarse con los iones presentes en la solución del suelo (León, 2011).

### **1.2.2. Suelo agrícola**

Bembibre (2011) enfatiza que el suelo agrícola es considerado un suelo especial que contiene materia orgánica y presenta una estructura que favorece la fertilidad del suelo. Asimismo, se considera un reservorio de nutrientes esenciales para las plantas, los cuales pueden ser incrementados mediante fertilización. Este tipo de suelo tiene la capacidad de absorber CO<sub>2</sub> y contaminantes del suelo por aplicación directa. Para lograr una mayor productividad, es fundamental el uso de diversos agroquímicos para el control y eliminación de plagas o enfermedades en los cultivos. Sin embargo, los agroquímicos a largo plazo ocasionan la contaminación en el suelo, esto varía según la cantidad de aplicaciones, las variaciones espaciales y temporales, la rotación de cultivos y factores climáticos, Además, Landa-Acuña *et al.* (2022) explica que los agroquímicos deben aplicarse en baja concentración, ya que las sustancias tóxicas pueden tener un impacto negativo en el ambiente, afectando la cadena alimentaria y los cultivos. Por otro lado, para realizar una agricultura efectiva, es fundamental controlar los parámetros fisicoquímicos del suelo, como el pH, la textura y la conductividad eléctrica, para promover el crecimiento óptimo de los cultivos en condiciones adecuadas y de calidad.

**Producción agrícola.** La producción agrícola es fundamental para desempeñar la participación de agricultores con la finalidad de reducir la desnutrición y aumentar sus ingresos a través del trabajo. Las prácticas agrícolas mejoran las condiciones del suelo afectado por la degradación. Por lo tanto, es crucial considerar la alteración del suelo, la cobertura del suelo y la rotación de cultivos. Además, para la conservación, es necesario limitar al mínimo la alteración del suelo (FAO, 2015).

Flores (2013) señala que el desarrollo de esta actividad, desempeña una función principal en el abastecimiento de alimentos para la sociedad y materia prima de las industrias que tienen

como función lograr el crecimiento agrícola, reducir la pobreza y mejorar la sostenibilidad ambiental. Por ello se deben establecer nuevas inversiones que contribuyan al eficaz uso de los recursos naturales y evitar pérdidas durante las etapas de producción, elaboración y consumo. Según Edwards y Duffy (2014) enfatizan que la producción agrícola involucra la explotación del recurso suelo, agua y energía, por lo que a largo plazo es importante tomar decisiones para aprender la aplicación de tecnologías adecuadas en la producción de los cultivos mientras se generan ganancias

**Cultivo agrícola.** El cultivo agrícola es la planta que se siembra y cosecha en el campo como resultado de la operación agrícola del productor. Para ello, es necesario tener en cuenta factores, como la temperatura, luz solar y cantidad de agua adecuada en el sustrato. También se deben establecer estrategias para combatir las plagas y enfermedades durante la etapa de crecimiento del cultivo para obtener propiedades medicinales, valor agregado en las industrias y garantizar la seguridad alimentaria (Westreicher, 2020).

### **1.2.3. Contaminantes**

Según FAO (2016), los contaminantes son sustancias tóxicas que se originan a partir de diversas actividades, como la agricultura, el tratamiento inadecuado de aguas residuales, productos industriales, minería y tanques de almacenamiento subterráneos en malas condiciones. Entre estos contaminantes se incluyen pesticidas, solventes, hidrocarburos, aceites y metales pesados, los cuales representan un riesgo significativo para el medio ambiente y la cadena alimentaria. Además, los desechos industriales y municipales, que a menudo contienen solventes, aceites y metales pesados, son difíciles de degradar en el medio ambiente. Por lo tanto, es esencial implementar una adecuada gestión de estos desechos para mitigar su impacto negativo.

### **1.2.4. Metales pesados**

Roychowdhury *et al.*, (2018) indican que los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre presentes en actividades agrícolas, tecnológicas e industriales que contribuyen a la contaminación y amenazan a los seres vivos. En otro aspecto, el término de metal pesado se define como aquel elemento minoritario que posee densidad cinco veces

mayor al agua, se encuentra en cantidades pequeñas y cuando alcanza altas concentraciones resulta ser tóxico y afecta el recurso suelo (García y Dorronsoro, 2010).

**Toxicidad.** La toxicidad es la capacidad que tiene una sustancia de causar efectos adversos en el ambiente y salud humana, genera problemas alérgicos o respiratorios debido al consumo de productos provenientes de áreas contaminadas por metales pesados. Los metales pesados tienen la capacidad de permanecer en el suelo, por lo que es necesario realizar estudios detallados para identificar cómo actúa cada metal en la zona predeterminada de acumulación (Romero, 2009).

### **1.2.5. Contaminantes con alta toxicidad**

#### **Plomo (Pb)**

El plomo es un metal pesado tóxico que contribuye a la contaminación del suelo, dado que está presente en diversos entornos naturales. Su liberación en grandes cantidades ocurre a través de reservorios subterráneos de combustible, manejo inadecuado de aguas residuales, emisiones de automóviles, actividades industriales y el uso de agroquímicos, lo que ocasiona toxicidad en el medio ambiente. En la capa superficial del suelo, el plomo puede acumularse hasta 3000 ppm. La biodisponibilidad del plomo aumenta en suelos con pH ácido, y en altas concentraciones afecta al organismo humano, impidiendo la actividad de las enzimas, causando problemas cerebrales y parálisis. El plomo entra en la cadena alimentaria a través de las hojas y tallos, alcanzando las raíces y siendo absorbido por las plantas. Esto protege las partes aéreas de las plantas del daño, aunque también impide la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas (Odobasic *et al.*, 2017).

Hirve *et al.* (2020) señalan que el Plomo tiene la capacidad de ser un ion metálico libre y de formar un compuesto con componentes inorgánicos y orgánicos, tales como los aminoácidos, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos. El uso de fertilizantes en los suelos agrícolas contribuye a la distribución del contaminante, lo que impacta de manera negativa las propiedades las físico-químicas del suelo y altera su estructura microbiana. En altas concentraciones genera daños adversos en la germinación, longitud de raíces, rendimiento hídrico, crecimiento de las plántulas, clorofila, proteínas, minerales y actividades

enzimáticas ocasionando disfunciones en las características fisiológicas y morfológicas de las plantas, lo que conduce bajos rendimientos en los cultivos del suelo agrícola.

Galagarza *et al.* (2021) indican que Perú es considerado uno de los países con el mayor número de casos de toxicidad por plomo, atribuible principalmente a actividades antrópicas como la minería y la industria. Esto representa un riesgo grave para la salud, especialmente para los niños, y en adultos puede causar hipertensión y enfermedades cardiovasculares. Los niveles de plomo en sangre superiores a 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  están asociados con deterioro cognitivo en niños de 6 a 9 años, y un aumento en los niveles de toxicidad incrementa el riesgo de muerte.

### **Arsénico (As)**

El arsénico (As) es considerado un metal peligroso que se encuentra en el medio ambiente en cuatro tipos: arsénico elemental, arseniato, arsenito y arsina. El arseniato está presente en lugares aeróbicos, mientras que el arsenito en condiciones reductoras. El arsénico elemental y la arsina se encuentra en condiciones reductoras extremas y la ingesta de arsénico en tiempo prolongado genera la arsenicosis. El arsénico es capaz de afectar el sistema nervioso, el sistema gastrointestinal y renal, también ocasiona lesiones en la piel, diabetes, problemas en el corazón y cáncer. El arsénico inorgánico se utiliza como pesticida en los huertos, campos agrícolas y para controlar las garrapatas del ganado, mientras que, los compuestos orgánicos de arsénico se utilizan como pesticidas para cultivos de algodón. Ambos pesticidas generan la contaminación del suelo y agua, lo que representa un problema ambiental importante debido a su naturaleza tóxica y cancerígena. La concentración total promedio de arsénico en el suelo es de 5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; sin embargo, esta concentración varía según las actividades antropogénicas y los procesos naturales en el suelo. Las actividades humanas, como la eliminación inadecuada de desechos, el uso excesivo de pesticidas, la quema de carbón y la minería, están asociadas con estas variaciones (Roychowdhury *et al.*, 2018).

Kayode *et al.* (2021) mencionan que el suelo agrícola, al ser un medio de cultivo frágil, está expuesto a la contaminación por arsénico y otras sustancias tóxicas. Las concentraciones elevadas de arsénico resultan perjudiciales e innecesarias para las plantas. Los efectos adversos se manifiestan en las raíces durante el crecimiento vegetal, así como alteraciones

en las funciones bioquímicas celulares. Además, la contaminación del agua de riego con arsénico incrementa la concentración de este elemento en el suelo, afectando el metabolismo de los cultivos. Este impacto conlleva una disminución en los rendimientos agrícolas y en la calidad de los cultivos, resultando en pérdidas económicas significativas.

#### **1.2.6. Efectos adversos de metales pesados en los suelos agrícolas**

Según Navarro-Aviñó *et al* (2007), los metales pesados generan alteraciones en los suelos, como el caso de arsénico y plomo, sustancias tóxicas que al ser utilizados en gran cantidad influye en el ciclo biogeoquímico de las plantas, perjudica el crecimiento y productividad de los cultivos. Por lo tanto, ocasiona la fragilidad de la biodiversidad, disminuye las poblaciones de microorganismos del suelo e incrementa riesgos en la salud de los consumidores a través de la contaminación de la cadena alimentaria.

Las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas limitan sus procesos naturales, alteran el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes, afectando la producción agrícola y la calidad de los cultivos. Estos metales se transportan del suelo a los cultivos, se acumulan en los tejidos y causan fitotoxicidad. La agricultura intensiva, impulsada por el crecimiento poblacional, contribuye a la toxicidad del suelo, interfiere con las reacciones bioquímicas en los humanos y puede provocar enfermedades graves si se consumen cultivos contaminados con frecuencia (Loyde de la Cruz *et al*, 2022).

Según Gagan (2016) los suelos agrícolas absorben grandes cantidades de contaminantes provenientes de diversas fuentes, los cuales se bioacumulan en los seres vivos, con concentraciones que aumentan a medida que los organismos se desplazan de niveles tróficos inferiores a superiores, un proceso conocido como bioconcentración. Los metales pesados, como el plomo y arsénico, no cumplen ninguna función fisiológica y entran al organismo a través de la cadena alimentaria. Cuando las concentraciones de estos metales superan ciertos niveles, debido a la dosis aplicada por los proveedores de fertilizantes u otras fuentes, se vuelven peligrosos. Esto se debe a que no pueden ser descompuestos ni por microorganismos ni por sustancias químicas, lo que les permite persistir en el suelo durante muchos años. Su acumulación a largo plazo interfiere con el funcionamiento normal de los organismos vivos,

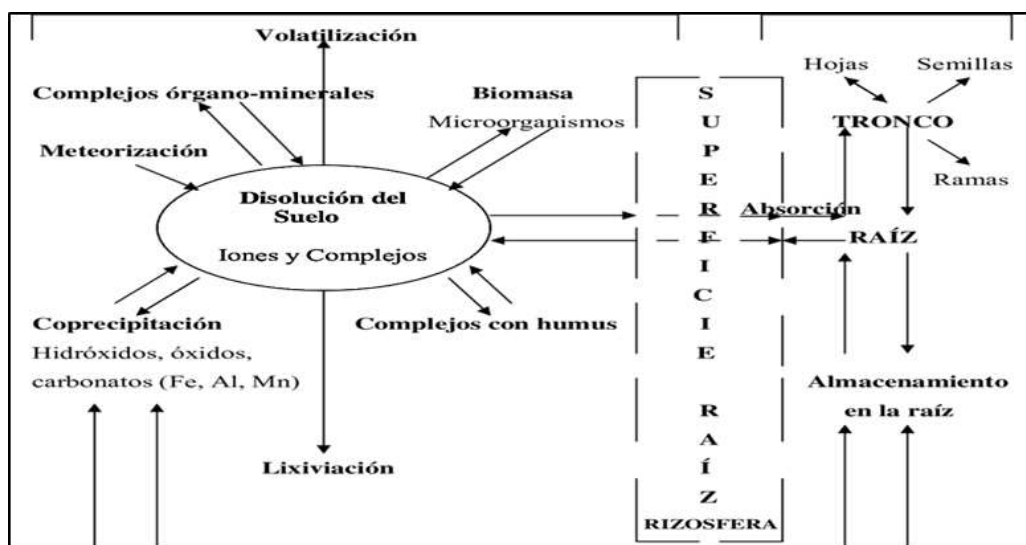
afectando la salud de los ecosistemas y representando un riesgo para la seguridad alimentaria.

### 1.2.7. Los metales pesados y su comportamiento en el sistema suelo-planta

El sistema suelo – planta es aquel sistema abierto y complejo, compuesto por la relación entre el suelo y las plantas. El primer paso en la cadena trófica es la absorción de metales pesados por parte de las plantas, luego pasan a la atmósfera a través de la volatilización o son movilizados hacia las aguas superficiales o subterráneas. La acumulación de metales pesados en las plantas requiere que estos se incorporen desde el suelo a las raíces. Sin embargo, algunos metales pesados, como el manganeso, desempeñan una función importante en la nutrición de las plantas, ya que permiten la activación de enzimas esenciales para el metabolismo vegetal. (Bonadeo *et al.*, 2017; Prieto *et al.*, 2009). La incorporación de diversos agentes contaminantes y los procesos de lixiviación, erosión y adhesión de metales pesados en el suelo pueden generar pérdidas de nutrientes en las plantas. Por esta razón, es fundamental comprender las características y propiedades de los contaminantes para entender su comportamiento en los suelos y prevenir la toxicidad en el medio ambiente. (Figura 2) (Roca-Fernández, 2012).

**Figura 2**

*Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta*



*Nota.* La disponibilidad de metales pesados que se produce en el suelo es absorbida por la raíz de la planta, luego se incorpora en la cadena trófica y transporta por medio de cuerpos de aguas superficiales y subterráneas. Diagrama tomado de Roca-Fernández, A. (2012). Contaminación de suelos por metales. Centro de investigaciones Agrarias de Mabegondo. Info Agro.

### **1.2.8. Parámetros del suelo relacionados a metales pesados**

El contenido de metales pesados en el suelo depende del pH del suelo, la cantidad y el tipo de material arcilloso, materia orgánica descompuesta, capacidad de los coloides para el intercambio catiónico y características del suelo (Smith, 1996).

El pH controla la disponibilidad de los minerales que necesitan las plantas. La mayoría de estos metales tienen mayor disponibilidad cuando el pH es ácido. Al reducirlo aumenta la solubilidad del metal y la capacidad de absorción de las raíces de las plantas. En algunos casos, aumentar el pH del suelo no reduce significativamente la disponibilidad de metales. Por estas razones, el pH se considera un parámetro clave para comprender el movimiento de los cationes en el suelo. En el caso de la arcilla, esta tiene una alta capacidad de adsorción de metales pesados. Cada tipo de arcilla presenta valores específicos de superficie, los cuales dependen de las cargas eléctricas, y son capaces de influir en la retención de estos minerales en el suelo (Roca-Fernández, 2012b).

La materia orgánica está relacionada con la estructura del suelo porque está presente en la formación de agregados que determinan el movimiento de circulación del agua en el suelo, y la estructura controla el crecimiento de las raíces de las plantas, evitando la erosión y formando una capa impermeable en la superficie del suelo, regulando la aireación del suelo (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

La Capacidad de Intercambio Catiónico se determina por el contenido de arcilla y materia orgánica en el suelo, elementos que son capaces de controlar la disponibilidad de los metales, de manera similar al contenido de la materia orgánica. El incremento de CIC genera mayor absorción de metales pesados en las plantas por la composición de los suelos (Roca-Fernández, 2012c).

### **1.2.9. Factores que permiten la contaminación de los suelos con metales pesados**

La contaminación del suelo con metales pesados es un problema ambiental complejo que se vincula tanto a actividades industriales, como la minería, explotación petrolera y actividad agrícola. Por un lado, las industrias liberan contaminantes a través de aguas residuales, lodos industriales y compost no tratado, lo que aumenta la probabilidad de encontrar suelos contaminados, especialmente en zonas urbanas y periurbanas. Por otro lado, en el sector agrícola el uso descontrolado de insumos agroquímicos, fertilizantes y agroquímicos altera las propiedades químicas, físicas y biológicas del medio ambiente. El desplazamiento de metales a lo largo de las cuencas afecta el agua, el suelo y el subsuelo, pudiendo contaminar fuentes superficiales y adentrarse en la cadena alimentaria. Una de las características distintivas de estos suelos es su alta riqueza mineral, lo que ha atraído inversiones mineras en zonas estratégicas de cuencas hidrográficas. Esta actividad contribuye a la acumulación de metales pesados en el ambiente (Mendoza-Escalona *et al.*, 2021).

#### **Impacto de los fertilizantes en la contaminación del suelo**

La utilización de fertilizantes fosfatados constituye una fuente importante de metales pesados en el suelo, ya que contienen impurezas de plomo y arsénico derivadas de las rocas fosfóricas utilizadas en su producción. La aplicación continua de estos insumos favorece la acumulación de estos metales, lo que deteriora la calidad del suelo y aumenta la probabilidad de absorción por las plantas. Aunque el suelo inicialmente puede retener estos contaminantes mediante la adsorción en partículas coloidales o su unión a compuestos orgánicos, la acidificación resultante de la actividad agrícola facilita su liberación y posterior incorporación en los cultivos (Mendoza-Escalona *et al.*, 2021). Además, en suelos arenosos, el riesgo de lixiviación se incrementa, pudiendo contaminar las aguas subterráneas. Por ello, es fundamental que los productores realicen un monitoreo constante de los niveles de metales pesados para garantizar la calidad de los cultivos y prevenir riesgos para la salud humana (Correa *et al.*, 2021).

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño de la investigación

La investigación fue de diseño no experimental, debido al análisis realizado en campo para conocer los niveles de concentraciones de arsénico (As) y plomo (Pb) de los suelos agrícolas de la localidad Yangas, basado en la observación de datos de manera natural, sin alteración y manipulación de variables. De acuerdo a ello, se clasificó según la evolución del fenómeno de estudio como un diseño transversal; debido que, se recopilaron los datos en un determinado periodo. Asimismo, se concluyó que es de tipo descriptivo y correlacional porque permitió describir las características y relación existente entre las variables (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014).

### 2.2. Lugar y fecha

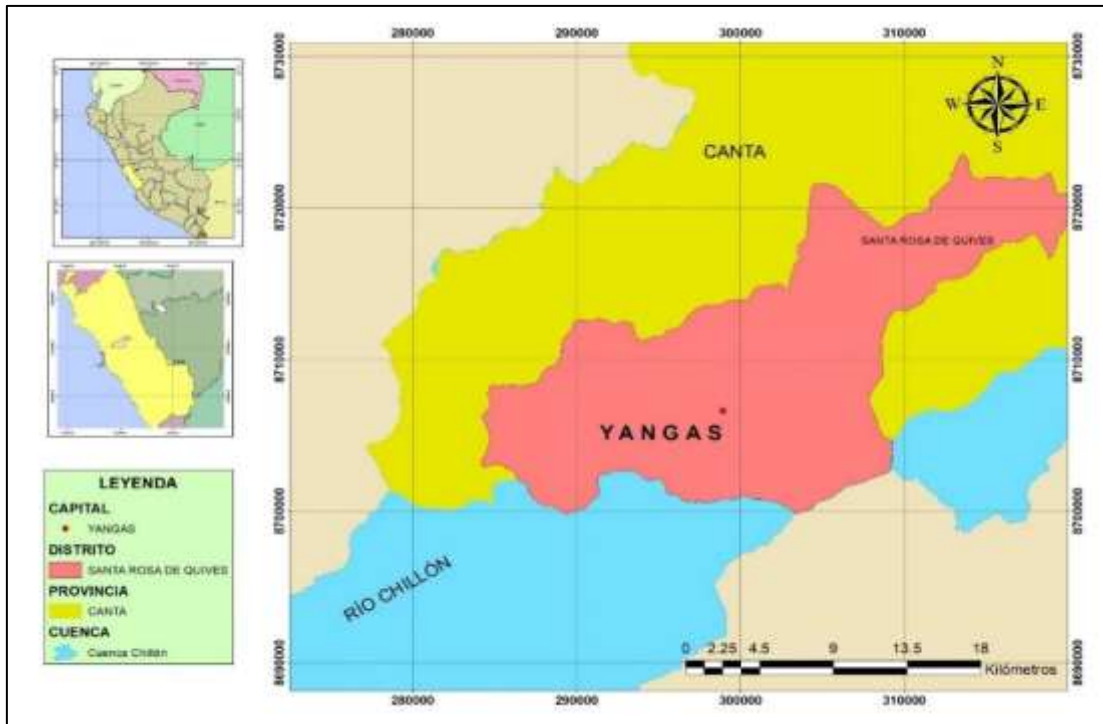
El trabajo de investigación se realizó en los suelos agrícolas de localidad Yangas, ubicado en el distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta – Lima, valle del río Chillón. Su ubicación geográfica es de 11° 42' 42" de latitud sur y de 76° 51' 44" longitud oeste, así como a una altitud de 936 m.s.n.m. La localidad Yangas se encuentra a 58 km de distancia de Lima (Figura 3).

La localidad de Yangas se caracteriza por un clima frío, con baja humedad y precipitaciones moderadas. La temperatura promedio durante el invierno es de 18 °C, mientras que en verano alcanza los 26 °C. Esta variabilidad climática favorece el cultivo de hortalizas, que es la principal actividad agrícola de la zona. Los cultivos más destacados son la lechuga y el pepino, los cuales se desarrollan bajo la técnica de riego por goteo, un sistema que optimiza el uso del agua en esta localidad con recursos hídricos limitados. Además, la ganadería bovina juega un papel esencial en la economía, siendo una fuente clave de ingresos y empleo para los pobladores. La producción ganadera también contribuye al uso de abonos orgánicos, como el estiércol, que es utilizado en la agricultura para mejorar la fertilidad del suelo.

La investigación se llevó a cabo desde mayo de 2022 hasta junio de 2023.

**Figura 3**

*Ubicación geográfica de Yangas - distrito de Santa Rosa de Quives*



### 2.3. Población y muestra

#### Población

La población estuvo compuesta por los suelos dedicados a la producción agrícola que se encuentran afectados debido a la adsorción de plaguicidas de la localidad de Yangas.

#### Muestra

En el caso de la muestra probabilística, según establece el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2014), se ejecutó doce puntos de muestreo al azar, teniendo en cuenta cuatro puntos de muestreo en tres parcelas de la localidad de Yangas. En cada punto realizaron calicatas con una profundidad del perfil de 0 – 20 cm y 20 – 60 cm. Además, se recolectó las muestras adecuadas con un peso de 250 g. Las 24 muestras recolectadas en ambas profundidades de suelo fueron enviadas al laboratorio de Análisis de Muestreo de Suelos SLab Perú para la

evaluación del contenido de metales pesados (plomo y arsénico) de los suelos agrícolas de la localidad de Yangas.

#### **2.4. Técnicas e instrumentos**

Se utilizó la Guía para la Descripción de Suelos asociado al manejo de suelos apropiado de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], (2009) y se evaluó el contenido de metales pesados en relación a los límites máximos permisibles. Además, el Ministerio del Ambiente [MINAM], (2017) elaboró una guía para realizar la interpretación y funcionamiento de las propiedades suelo, con el fin de proporcionar una explicación más clara del estudio y una descripción detallada de los resultados obtenidos.

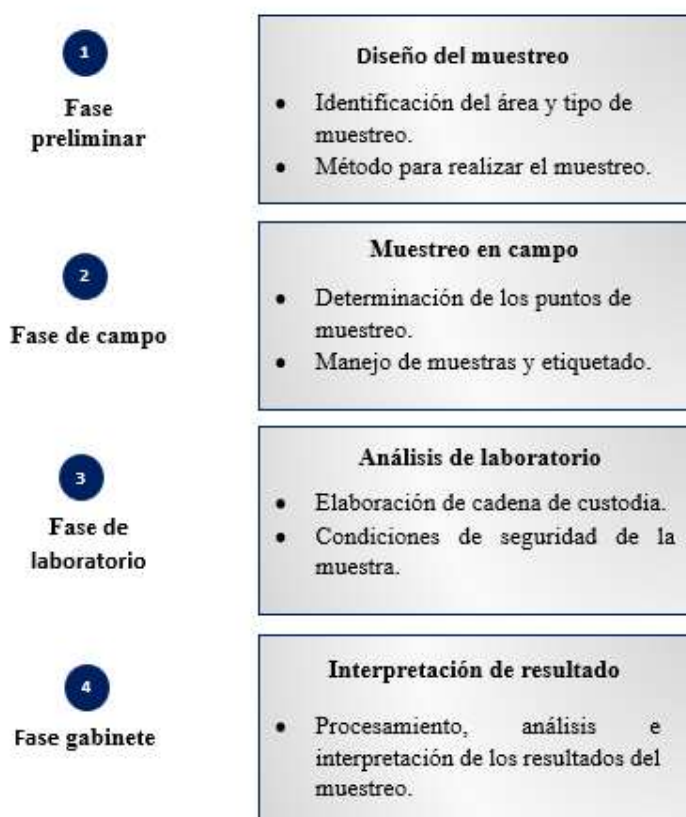
Para la ejecución de este estudio se siguió lo propuesto en el Manual de Campo elaborado por Schoeneberger *et al.* (2012), lo que permitió una recolección estandarizada y representativa de las muestras de suelo. La aplicación rigurosa de estos procedimientos facilitó la integración de la información de campo con los análisis de laboratorio, proporcionando una visión integral sobre la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas.

#### **2.5. Descripción de la investigación**

El proceso de muestreo de suelos se realizó en 4 fases, como se muestra en la Figura 4:

**Figura 4**

*Proceso de evaluación de suelos (muestreo y análisis)*



*Nota.* Elaboración propia tomada a partir de MINAM (2014). Guía de muestreo de suelos.  
<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

### **Fase preliminar**

La fase preliminar fue fundamental para establecer las bases del estudio, iniciando con la precisa identificación del área de investigación. Se empleó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), una herramienta esencial que permitió georreferenciar con exactitud los puntos de muestreo. Este procedimiento aseguró la localización precisa de cada sitio de recolección, garantizando así la representatividad y exactitud de los datos obtenidos.

Durante la recolección de datos, se recopiló la información necesaria sobre los suelos agrícolas de la localidad de Yangas. Para ello, se elaboró un mapa detallado del área de estudio, lo que facilitó la visualización precisa de la ubicación de los puntos de muestreo y permitió una planificación eficiente de las actividades de campo. Esta fase fue determinante

para asegurar que los puntos de muestreo abarcaban de manera integral todas las zonas de interés.

### **Fase de campo**

En esta fase de campo se desarrolló la metodología descrita en la Guía de muestreo de suelos del MINAM (2014), utilizando un mapa base detallado del área de estudio para planificar y ejecutar la excavación de calicatas a profundidades de 0- 20 cm y 20 - 60 cm (ver Apéndice 3). A partir del análisis del mapa, se identificaron tres zonas de interés fundamentales para evaluar la calidad del suelo y la posible presencia de contaminantes. En cada una de estas zonas se seleccionaron cuatro puntos de muestreo, alcanzando un total de 12 puntos (Tabla 1) (Figura 5). Además, la utilización del mapa base permitió una planificación eficiente de las actividades de campo, optimizando el tiempo y los recursos durante la toma de muestras.

Luego de realizar el procedimiento de la toma de muestras en diferentes profundidades de suelo agrícola (ver Apéndice 3), se registraron las muestras con una codificación según el punto de muestreo y características del suelo agrícola. Este proceso de codificación aseguró la trazabilidad de cada muestra a lo largo del estudio y facilitó el posterior análisis comparativo de los datos. Una vez completada la recolección, las muestras fueron debidamente empaquetadas y transportadas al Laboratorio de Análisis de Muestreo de Suelos SLab Perú, donde se realizaron los análisis correspondientes para determinar tanto los parámetros fisicoquímicos del suelo como las concentraciones de metales pesados (ver Apéndice 4).

**Tabla 1***Puntos de muestreo*

N° CALICATA	PROFUNDIDAD (cm)	LUGAR	ALTITUD	UTM	
				Este	Norte
CA-01	0 – 20 cm	Yangas	919	297448	8706458
	20 – 60 cm				
CA-02	0 – 20 cm	Yangas	914	297457	8706454
	20 – 60 cm				
CA-03	0 – 20 cm	Yangas	910	297449	8706456
	20 – 60 cm				
CA-04	0 – 20 cm	Yangas	903	297445	8706455
	20 – 60 cm				
CA-05	0 – 20 cm	Yangas	911	297399	8706479
	20 – 60 cm				
CA-06	0 – 20 cm	Yangas	910	297403	8706478
	20 – 60 cm				
CA-07	0 – 20 cm	Yangas	908	297404	8706477
	20 – 60 cm				
CA-08	0 – 20 cm	Yangas	906	297397	8706474
	20 – 60 cm				
CA-09	0 – 20 cm	Yangas	919	297406	8706453
	20 – 60 cm				
CA-10	0 – 20 cm	Yangas	922	297401	8706452
	20 – 60 cm				
CA-11	0 – 20 cm	Yangas	923	297397	8706458
	20 – 60 cm				
CA-12	0 – 20 cm	Yangas	924	297396	8706457
	20 – 60 cm				

## Figura 5

*Puntos de muestreo en suelos de cultivos agrícolas de la localidad de Yangas*



*Nota.* Ubicación de los puntos de muestreo. Figura elaborada a partir de Google Earth Pro (2024)

## Fase de laboratorio

Las muestras se colectaron durante la fase de campo, siguiendo el protocolo establecido, y fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos SLab Perú, donde se aplicaron los métodos analíticos apropiados, como se detalla en la tabla 2 (ver Apéndice 4 y 5).

**Tabla 2**

*Parámetros del suelo*

<b>Parámetros</b>	<b>Método</b>
<b>pH del suelo</b>	Método potenciométrico
<b>materia orgánica</b>	Walkley Black (Volumetría Redox)
<b>capacidad de Intercambio catiónico</b>	Por saturación de Acetato de Amonio 1N (Volumetría)
<b>contenido de plomo (Pb) y arsénico (As)</b>	Método de espectrofotometría de absorción atómica
<b>Textura</b>	Método práctico (FAO)

## Fase de gabinete

Los resultados obtenidos en la fase de campo y laboratorio fueron ordenados, para luego ser tabulados de manera adecuada (ver Apéndice 1). Se realizó el procesamiento de datos, para ello se consideró el contenido de los metales pesados (plomo y arsénico) presentes en los diferentes puntos de muestreo y se interpretaron mediante un análisis estadístico. Según indica el MINAM (2017), se identificó los niveles de metales pesados en el área en base a los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas (Tabla 3) (ver Apéndice 2).

**Tabla 3**

*Estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas*

	<b>Unidades de medida</b>	<b>ECA para suelos agrícolas</b>
<b>Plomo (Pb)</b>	<i>mg. kg<sup>-1</sup></i>	70
<b>Arsénico (As)</b>	<i>mg. kg<sup>-1</sup></i>	50

*Nota:* Elaboración propia a partir de MINAM (2017). Decreto Supremo N° 001-2017-MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

## 2.6. Identificación de las variables y su mensuración

Las variables de estudio evaluadas fueron tanto físicoquímicas como de contaminación por metales pesados. Entre ellas, se analizó el contenido de plomo (Pb) y arsénico (As), expresados en  $\text{mg. kg}^{-1}$ , mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica. Las propiedades edáficas evaluadas incluyeron: la materia orgánica, medida en porcentaje utilizando el método Walkley-Black (volumetría redox); la capacidad de intercambio catiónico (CIC), expresada en  $\text{meq}/100 \text{ g}$ , determinada por el método de saturación con acetato de amonio 1N a pH 7.0; el pH del suelo, medido mediante potenciómetro; y la textura del suelo, clasificada según la metodología práctica de la FAO. Además, se ejecutaron regresiones y correlaciones para comparar el contenido de plomo y arsénico en ambas profundidades. Las mismas que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4***Variables del estudio*

<b>Variable de Estudio</b>	<b>Unidades o Escala de Medida</b>	<b>Método</b>
Contenido de Plomo (Pb)	$mg.kg^{-1}$	Espectrofotometría de absorción atómica
Contenido de Arsénico (As)	$mg.kg^{-1}$	Espectrofotometría de absorción atómica
Materia Orgánica	%	Walkley Black (Volumetría Redox)
Capacidad de Intercambio Catiónico	meq /100 g	Saturación de Acetato de Amonio 1N a pH 7,0
pH	0 – 14	Potenciómetro
Textura del suelo	Clase textural	Método práctico (FAO)

## 2.7. Análisis estadístico de datos

Para el cálculo estadístico de datos se realizó el análisis de tipo descriptivo, basándose en ANOVA y/o análisis de regresión lineal y se determinó la relación entre las variables de estudio considerando la presencia de plomo (Pb) y arsénico (As), así como el contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico y textura, utilizando el software R-Studio y Jamovi versión 2.328.

## 2.8. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados en la investigación fueron los siguientes:

### **Materiales de campo**

Lápiz, lapicero, mapa base o croquis del lugar, fichas de codificación, bolsas de polietileno de 1 kg de capacidad, GPS, guantes, cámara fotográfica, letreros, calculadora, cinta métrica, etiquetas, letrero, wincha y plumones indelebles.

### **Materiales y equipos de laboratorio**

Guantes descartables, guardapolvo, mascarilla, vasos de vidrio, balanza analítica, espátula, potenciómetro, pipeta de laboratorio, probeta graduada, vaso de precipitación, cuaderno de apuntes, plumones indelebles, cinta métrica y agua destilada, cooler, muestras de suelos agrícolas, jeringas, alcohol, calculadora, espectrofotómetro y pH – metro.

### **Materiales de gabinete**

Laptop, impresora, escáner, USB, papel bond, programas de Office (Excel, Word, Power Point) y R-Studio.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Características y propiedades edáficas relevantes en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas

#### 3.1.1. Análisis en relación al cultivo

Los cultivos se renuevan cada tres meses y para realizar el control de plagas de “trips” *Thrips tabaci* Liderman y “mosquita blanca” *Bemisia tabaci* Gennadius , suelen usar diversos tipos de agroquímicos que se presentan en la Tabla 5:

**Tabla 5**

*Clasificación de agroquímicos aplicados a los cultivos y su nivel de peligrosidad*

Clase de agroquímico	Nombre comercial	Cultivo	Ingrediente activo	Naturaleza química	Categoría de peligrosidad
Fertilizante foliar	Stimplex-G	pepino lechuga	Extracto de algas ( <i>Ascophyllum nodosum</i> L.)	Orgánico / Natural	100 % natural, no peligroso
Insecticida / Concentrado Emulsionable	HERO	pepino	Lambdacialotrina	Piretroide sintético	Moderadamente Peligroso
Fertilizante 46 % nitrogenado	Urea agrícola	lechuga y pepino	Urea	Compuesto nitrogenado inorgánico	No peligroso
Insecticida agrícola en gránulos dispersables	POMPEYA	lechuga	Imidacloprid	Neonicotinoid e sistémico	Moderadamente peligroso

#### 3.1.2. Análisis de la textura de los suelos agrícolas

La textura del suelo de las tres parcelas en estudio es moderadamente gruesa, debido a ello la clase textural es franco arenoso. Estos resultados están representados en la Tabla 6 (ver Apéndice 2).

**Tabla 6***Clase textural de los suelos agrícolas de la localidad Yangas*

<b>CALICATA</b>	<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>ARENA %</b>	<b>LIMO %</b>	<b>ARCILLA %</b>	<b>CLASE TEXTURAL</b>
<b>P1-CA1</b>	0-20	72	16	12	Franco arenoso
	20-60	70	18	12	Franco arenoso
<b>P1-CA2</b>	0-20	68	17	15	Franco arenoso
	20-60	67	19	14	Franco arenoso
<b>P1-CA3</b>	0-20	65	18	17	Franco arenoso
	20-60	63	19	18	Franco arenoso
<b>P1-CA4</b>	0-20	66	22	12	Franco arenoso
	20-60	64	21	15	Franco arenoso
<b>P2-CA1</b>	0-20	71	17	12	Franco arenoso
	20-60	70	16	14	Franco arenoso
<b>P2-CA2</b>	0-20	62	20	18	Franco arenoso
	20-60	60	24	16	Franco arenoso
<b>P2-CA3</b>	0-20	64	23	13	Franco arenoso
	20-60	61	24	15	Franco arenoso
<b>P2-CA4</b>	0-20	59	22	19	Franco arenoso
	20-60	57	25	18	Franco arenoso
<b>P3-CA1</b>	0-20	66	19	15	Franco arenoso
	20-60	63	21	16	Franco arenoso
<b>P3-CA2</b>	0-20	68	19	13	Franco arenoso
	20-60	64	22	14	Franco arenoso
<b>P3-CA3</b>	0-20	61	20	19	Franco arenoso
	20-60	59	25	16	Franco arenoso
<b>P3-CA4</b>	0-20	60	27	13	Franco arenoso
	20-60	58	26	15	Franco arenoso

### 3.1.3. Análisis del pH

#### Resultados de la reacción del suelo (pH) en la Parcela N° 1

Los resultados del análisis de pH presentados en la Tabla 7, muestran que los valores de pH en los cuatro puntos de muestreo de la parcela N°1 varían desde 6,58 (suelos neutros) hasta 7,11(suelos moderadamente básicos). En la Figura 6 se observa un diagrama de cajas de pH con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 6,82; el percentil 75 es 6,90 y el percentil 25 es 6,75; el límite superior es 7,01 y el límite inferior es 6,68. Mientras

que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 6,74; el percentil 75 es 6,92 y el percentil 25 es 6,62; el límite superior es 7,11 y el límite inferior es 6,58.

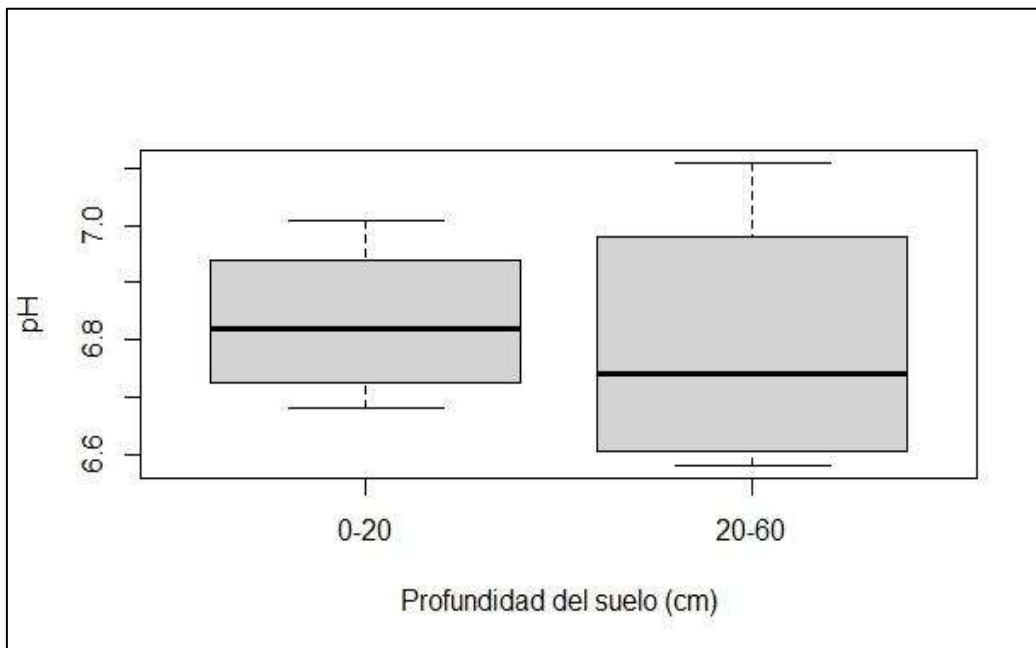
**Tabla 7**

*pH en Parcela N° 1*

N° TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)	pH
CA-01	0-20	6,87
	20-60	6,63
CA-02	0-20	7,01
	20-60	6,58
CA-03	0-20	6,68
	20-60	6,85
CA-04	0-20	6,77
	20-60	7,11

**Figura 6**

*Diagrama de caja, para el pH del suelo de la Parcela N° 1 a dos profundidades*



## Resultados de la reacción del suelo (pH) en la Parcela 2

Los resultados del análisis de pH presentados en la Tabla 8, muestran que los valores de pH en los cuatro puntos de muestreo de la parcela N° 2 varían desde 7,12 (suelos neutros) hasta 7,65 (suelos ligeramente básicos). En la Figura 7 se observa un diagrama de cajas de pH con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 7,35; el percentil 75 es 7,45 y el percentil 25 es 7,24; el límite superior es 7,56 y el límite inferior es 7,12. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 7,38; el percentil 75 es 7,49 y el percentil 25 es 7,31; el límite superior es 7,65 y el límite inferior es 7,27.

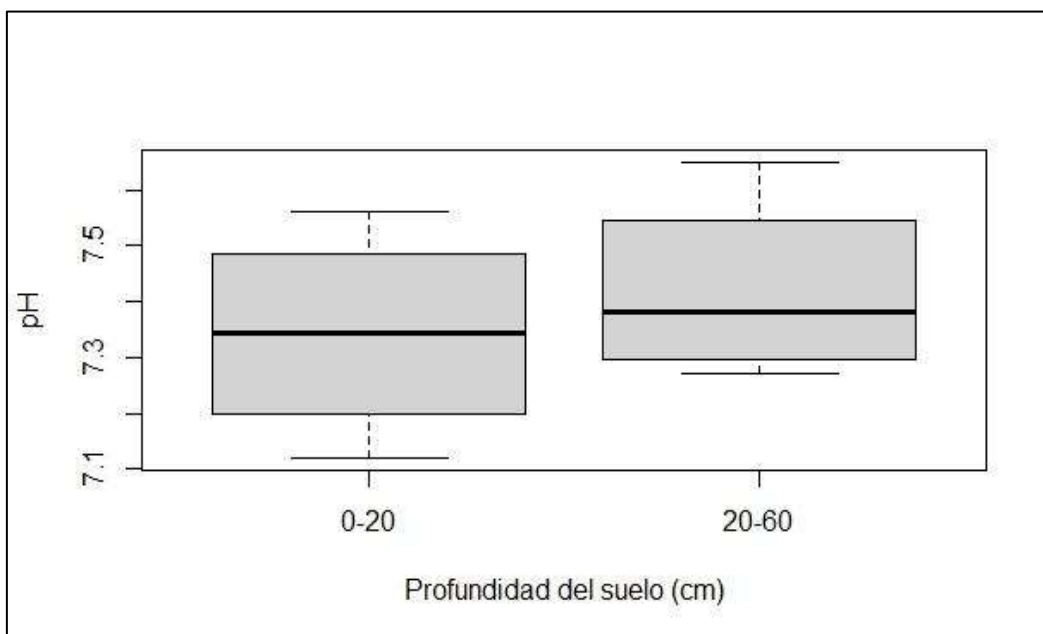
**Tabla 8**

*pH en Parcela N° 2*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>pH</b>
CA-01	0-20	7,41
	20-60	7,44
CA-02	0-20	7,28
	20-60	7,32
CA-03	0-20	7,12
	20-60	7,27
CA-04	0-20	7,56
	20-60	7,65

### Figura 7

Diagrama de caja, para el pH del suelo de la Parcela N° 2 a dos profundidades



### Resultados de la reacción del suelo (pH) en la Parcela 3

Los resultados del análisis de pH presentados en la Tabla 9, muestran que los valores de pH en los cuatro puntos de muestreo de la parcela N°3 varían desde 7,25 (suelos neutros) hasta 7,43 (suelos ligeramente básicos). En la Figura 8 se observa un diagrama de cajas de pH con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 7,37; el percentil 75 es 7,42 y el percentil 25 es 7,18; el límite superior es 7,43 y el límite inferior es 6,71. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 7,29; el percentil 75 es 7,33 y el percentil 25 es 7,14; el límite superior es 7,36 y el límite inferior es 6,80.

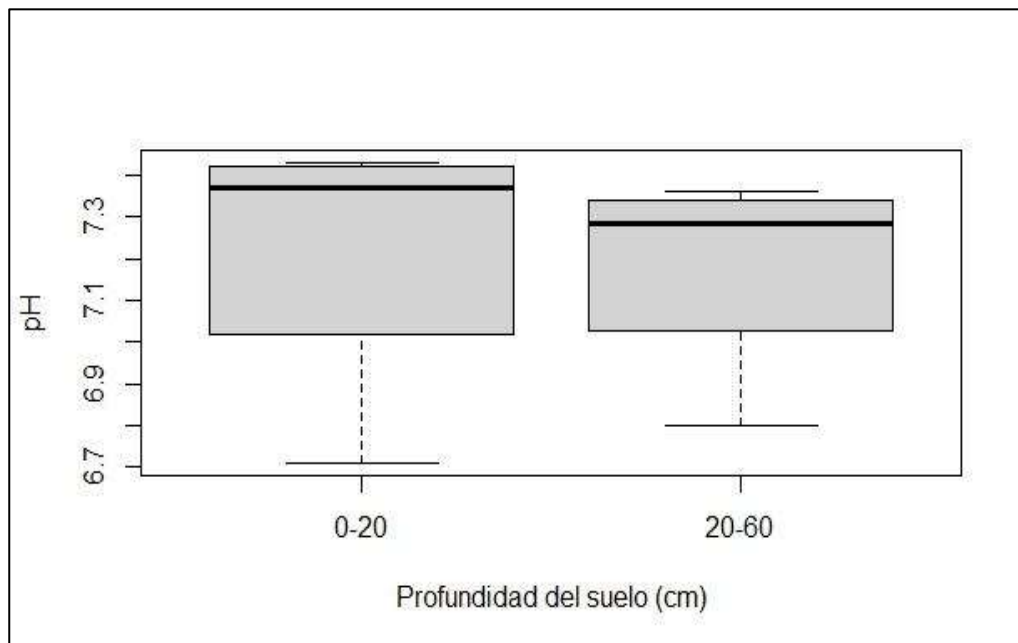
**Tabla 9**

*pH en Parcela N° 3*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>pH</b>
CA-01	0-20	7,43
	20-60	7,36
CA-02	0-20	6,71
	20-60	6,80
CA-03	0-20	7,33
	20-60	7,25
CA-04	0-20	7,41
	20-60	7,32

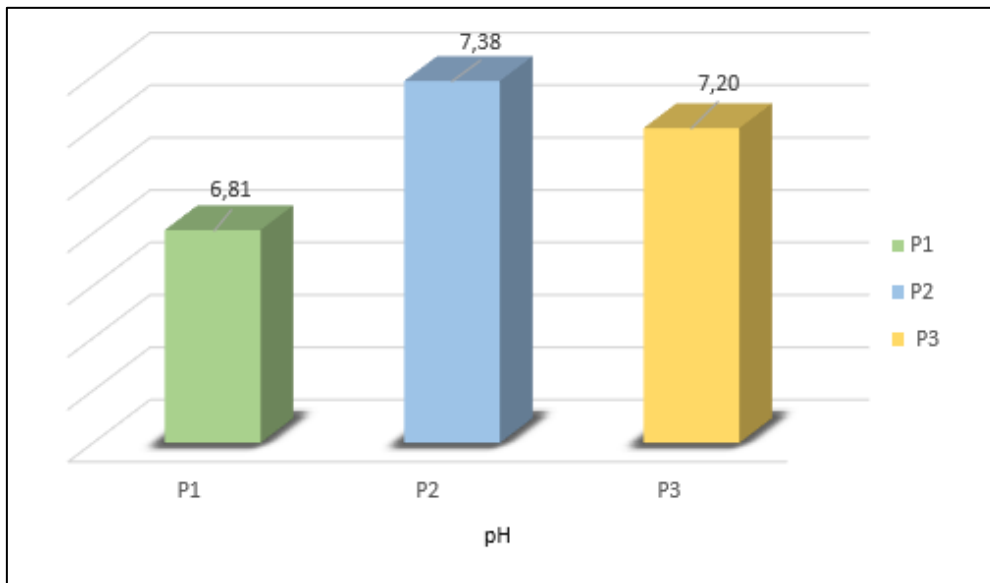
**Figura 8**

*Diagrama de caja, para el pH del suelo de la Parcela N° 3 a dos profundidades*



## Figura 9

Valores de pH a nivel de las tres parcelas evaluadas



### 3.1.4. Análisis de la materia orgánica (%)

#### Resultados del contenido de materia orgánica en la Parcela N°1

Los resultados obtenidos de los análisis del contenido de materia orgánica se muestran en la Tabla 10. El contenido de la materia orgánica son variables, encontrándose suelos con contenidos medios (2 a 4 %) y contenidos bajos (< 2 %). La Figura 10 muestra el diagrama de cajas del contenido de materia orgánica con relación a profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 1,92 %; el percentil 75 es 2,06 % y el percentil 25 es 1,73 %; el límite superior es 2,07 % y el límite inferior es 1,62 %. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 1,97 %; el percentil 75 es 2,09 % y el percentil 25 es 1,86 %; el límite superior es 2,18 % y el límite inferior es 1,78 %.

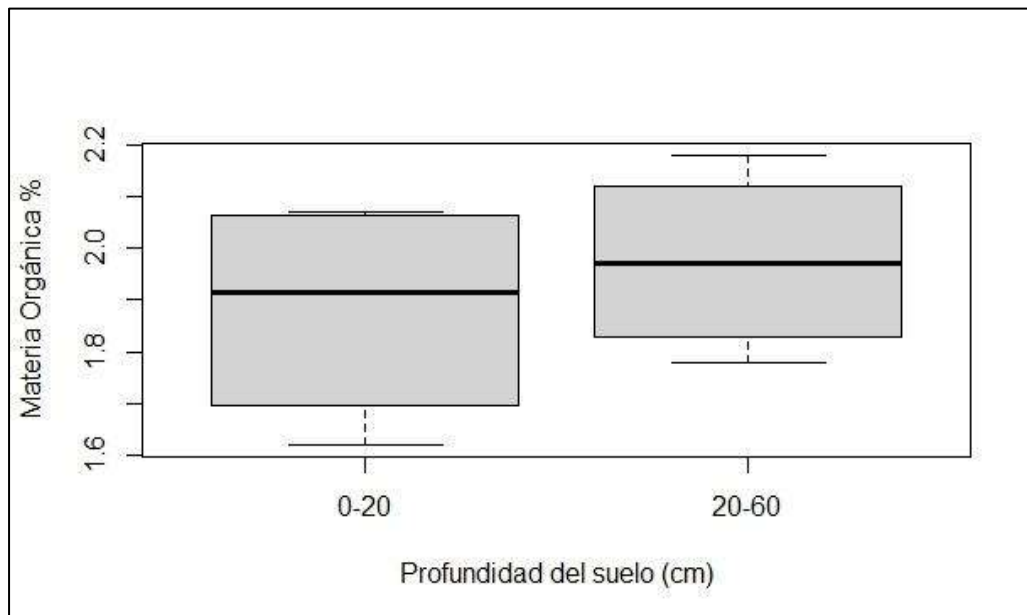
**Tabla 10**

*Materia Orgánica en la Parcela N°1*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>MATERIA ORGÁNICA %</b>
<b>CA-01</b>	0-20	2,06
	20-60	1,88
<b>CA-02</b>	0-20	1,77
	20-60	1,78
<b>CA-03</b>	0-20	2,07
	20-60	2,06
<b>CA-04</b>	0-20	1,62
	20-60	2,18

**Figura 10**

*Diagrama de caja, para la M.O del suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades*



## Resultados del contenido de materia orgánica en la Parcela N°2

Los resultados de análisis del contenido de materia orgánica se muestran en la Tabla 11. El contenido de la materia orgánica son variables, encontrándose suelos con contenidos medios (2 a 4 %) y contenidos bajos (< 2 %). La Figura 11 muestra el diagrama de cajas del contenido de materia orgánica con relación a una profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 1,67 %; el percentil 75 es 1,78 % y el percentil 25 es 1,61 %; el límite superior es 2,03 % y el límite inferior es 1,52 %. Mientras que, a la profundidad de 20 - 60 cm, la mediana es igual a 2,04 %; el percentil 75 es 2,08 % y el percentil 25 es 1,95 %; el límite superior es 2,15 % y el límite inferior es 1,77 %.

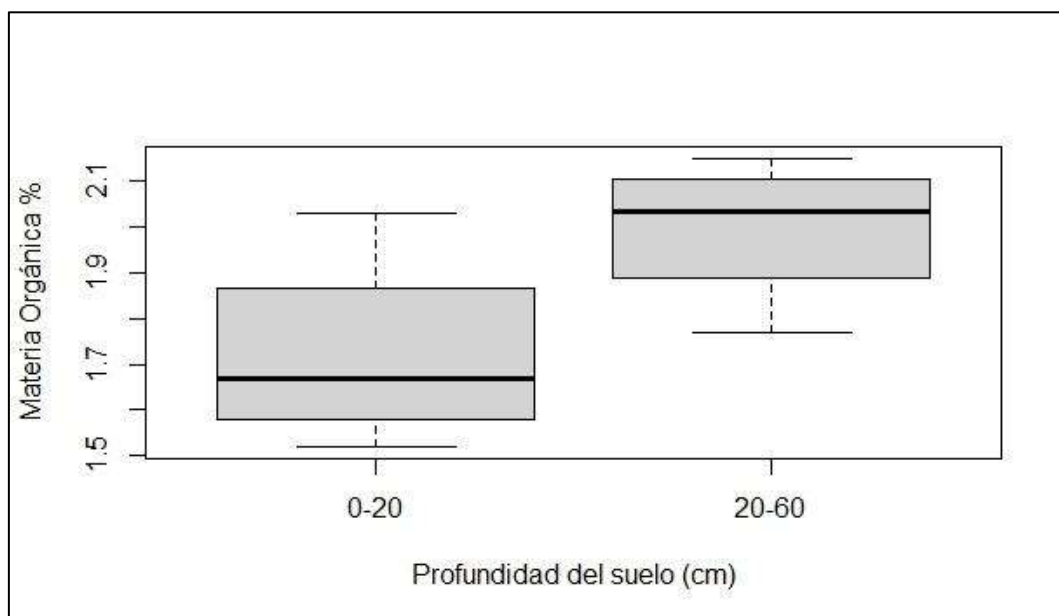
**Tabla 11**

*Materia Orgánica en la Parcela N°2*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>MATERIA ORGÁNICA %</b>
<b>CA-01</b>	0-20	1,52
	20-60	2,15
<b>CA-02</b>	0-20	1,64
	20-60	1,77
<b>CA-03</b>	0-20	1,7
	20-60	2,01
<b>CA-04</b>	0-20	2,03
	20-60	2,06

**Figura 11**

*Diagrama de caja, para la M.O del suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades*



### **Resultados del contenido de materia orgánica en la Parcela N°3**

Los resultados de análisis del contenido de materia orgánica se muestran en la Tabla 12. El contenido de la materia orgánica son variables, encontrándose suelos con contenidos medios (2 a 4 %) y contenidos bajos (< 2 %). La Figura 12 muestra el diagrama de cajas del contenido de materia orgánica con relación a una profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 2,43 %; el percentil 75 es 2,45 % y el percentil 25 es 2,35 %; el límite superior es 2,46 % y el límite inferior es 2,18 %. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 2,22 %; el percentil 75 es 2,41 % y el percentil 25 es 1,97 %; el límite superior es 2,58 % y el límite inferior es 1,64 %.

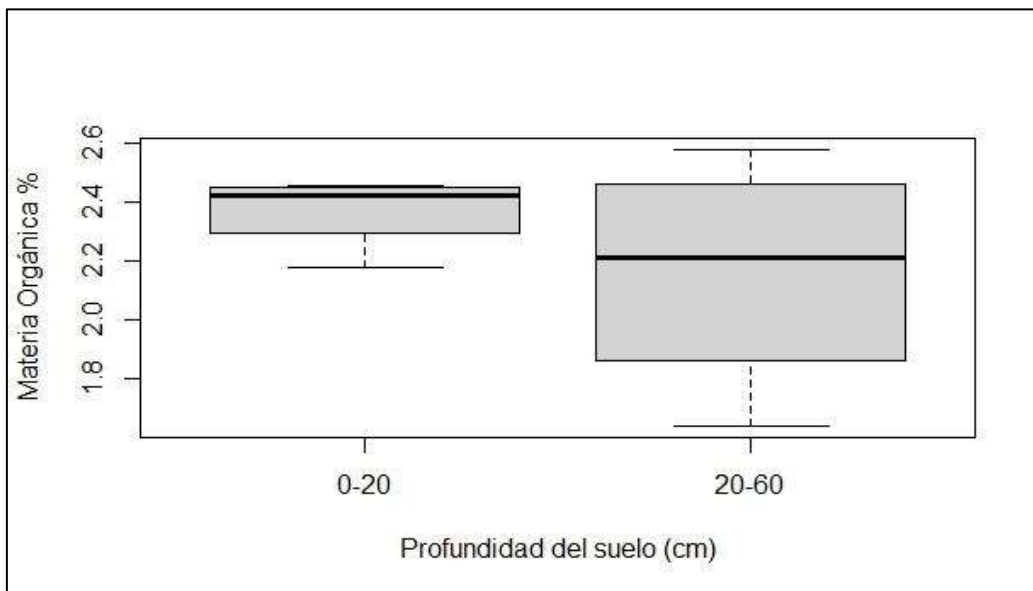
**Tabla 12**

*Materia Orgánica en la Parcela N°3*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>MATERIA ORGÁNICA %</b>
<b>CA-01</b>	0-20	2,44
	20-60	1,64
<b>CA-02</b>	0-20	2,41
	20-60	2,58
<b>CA-03</b>	0-20	2,18
	20-60	2,08
<b>CA-04</b>	0-20	2,46
	20-60	2,35

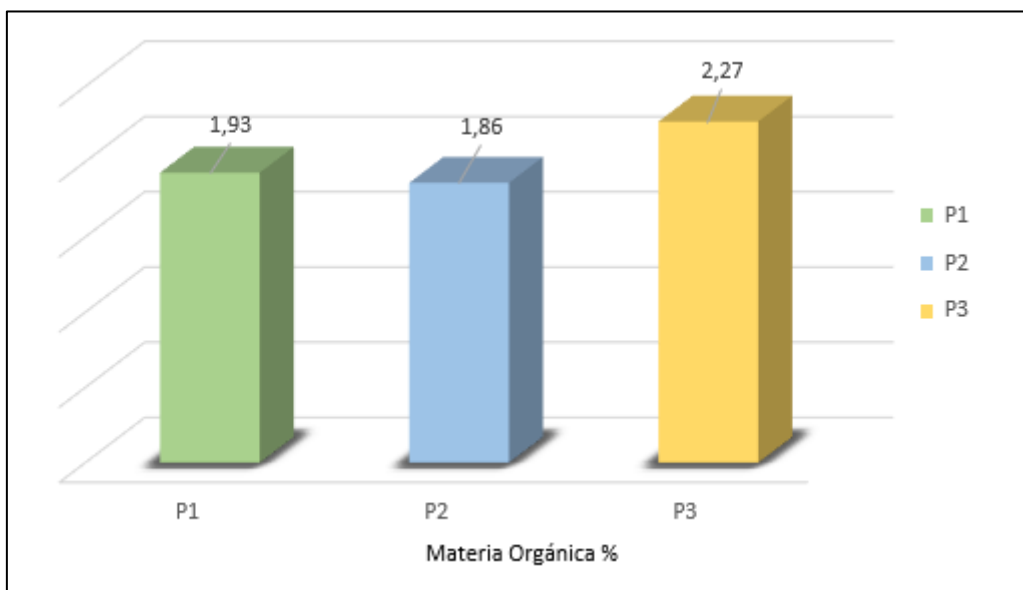
**Figura 12**

*Diagrama de caja, para la M.O del suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades*



**Figura 13**

*Valores de la materia orgánica a nivel de las tres parcelas evaluadas*



### 3.1.5. Análisis de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

#### Resultados de la Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°1

Los resultados de los análisis del CIC se muestra en la Tabla 13. La capacidad de intercambio catiónico es variable, que van desde 25,68 meq /100 g hasta 51,76 considerando estos suelos muy altos en CIC (>20 meq /100 g). La Figura 14 muestra el diagrama de cajas de la capacidad de intercambio catiónico con relación a profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 26,77 meq /100 g; el percentil 75 es 31,21 meq /100 g y el percentil 25 es 25,79 meq /100 g; el límite superior es 41,63 meq /100 g y el límite inferior es 25,68 meq /100 g. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 44,59 meq /100 g; el percentil 75 es 50,07 meq /100 g y el percentil 25 es 38,65 meq /100 g; el límite superior es 51,76 meq /100 g y el límite inferior es 35,57 meq /100 g.

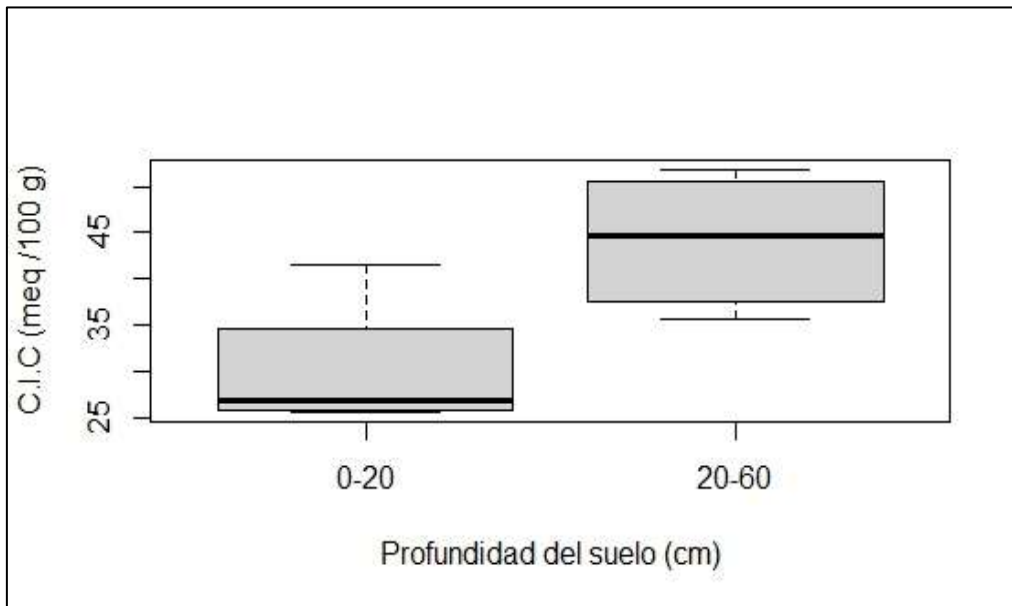
**Tabla 13**

*Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°1*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>CIC (meq /100 g)</b>
<b>CA-01</b>	0-20	27,73
	20-60	39,68
<b>CA-02</b>	0-20	25,82
	20-60	51,76
<b>CA-03</b>	0-20	25,68
	20-60	35,57
<b>CA-04</b>	0-20	41,63
	20-60	49,51

**Figura 14**

*Diagrama de caja, para CIC del suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades*



## Resultados de la Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°2

Los resultados de los análisis del CIC se muestra en la Tabla 14. La capacidad de intercambio catiónico es variable, que van desde 23,85 meq/100g hasta 45,39 meq/100g considerándose estos suelos muy altos en CIC (>20 meq /100 g). La Figura 15 muestra el diagrama de cajas de la capacidad de intercambio catiónico con relación a profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 36,64 meq /100 g; el percentil 75 es 40,97 meq /100 g y el percentil 25 es 33,73 meq /100 g; el límite superior es 45,39 meq /100 g y el límite inferior es 33,54 meq /100 g. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 30,52 meq /100 g; el percentil 75 es 32,53 meq /100 g y el percentil 25 es 28,07 meq /100 g; el límite superior es 35,44 meq /100 g y el límite inferior es 23,85 meq /100 g.

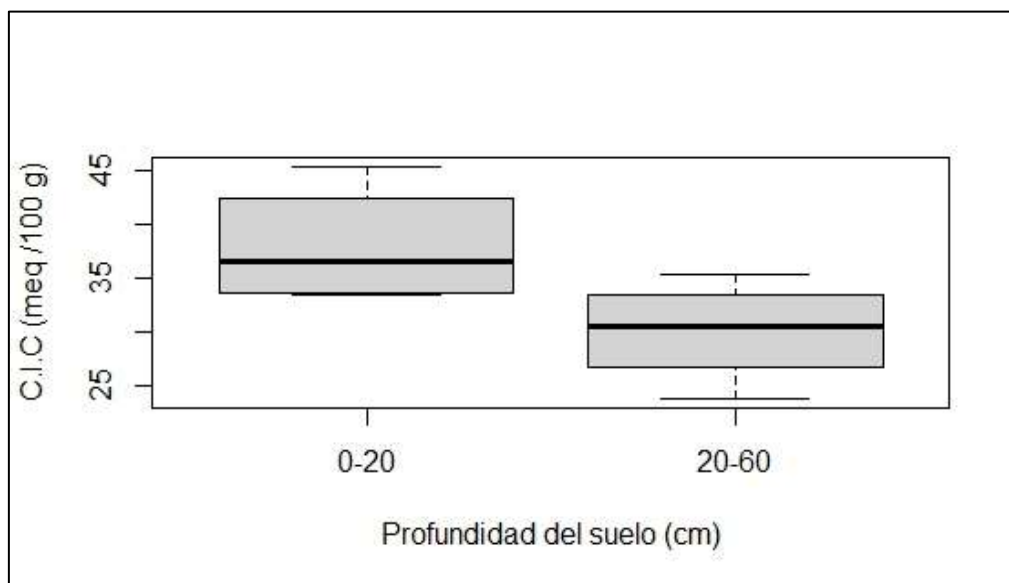
**Tabla 14**

*Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°2*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>CIC (meq /100 g)</b>
<b>CA-01</b>	0-20	39,49
	20-60	29,48
<b>CA-02</b>	0-20	45,39
	20-60	23,85
<b>CA-03</b>	0-20	33,54
	20-60	31,56
<b>CA-04</b>	0-20	33,79
	20-60	35,44

**Figura 15**

*Diagrama de caja, para CIC del suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades*



### **Resultados de la Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°3**

Los resultados de los análisis del CIC se muestra en la Tabla 15. La capacidad de intercambio catiónico es variable, que van desde 21,70 meq/100g hasta 35,58 meq/100g considerándose estos suelos muy altos en CIC (>20 meq /100 g). En la Figura 16 se muestra el diagrama de cajas de la capacidad de intercambio catiónico con relación a profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 29,62 meq /100 g; el percentil 75 es 30,18 meq /100 g y el percentil 25 es 29,55 meq /100 g; el límite superior es 31,61 meq /100 g y el límite inferior es 29,55 meq /100 g. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 33,36 meq /100 g; el percentil 75 es 35,36 meq /100 g y el percentil 25 es 28,99 meq /100 g; el límite superior es 35,58 meq /100 g y el límite inferior es 21,70 meq /100 g.

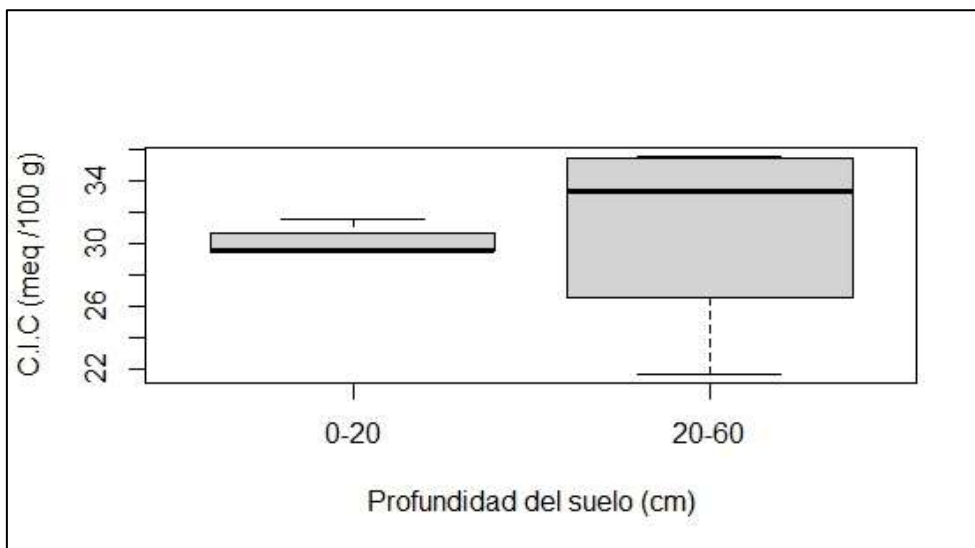
**Tabla 15**

*Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la Parcela N°3*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>CIC (meq /100 g)</b>
<b>CA-01</b>	0-20	31,61
	20-60	31,43
<b>CA-02</b>	0-20	29,70
	20-60	35,58
<b>CA-03</b>	0-20	29,55
	20-60	35,29
<b>CA-04</b>	0-20	29,55
	20-60	21,70

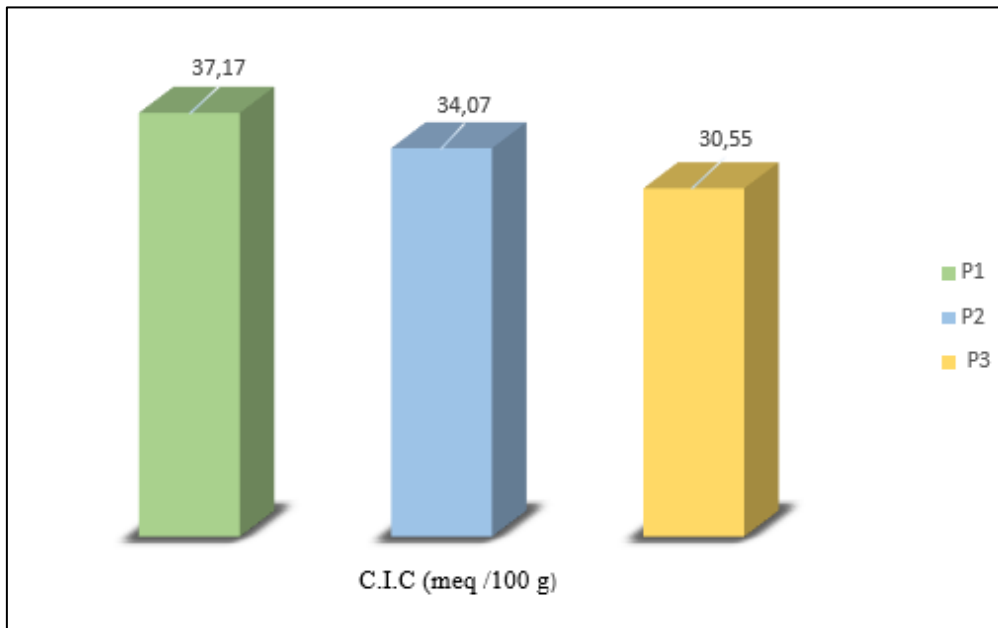
**Figura 16**

*Diagrama de caja, para CIC del suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades*



**Figura 17**

*Valores para la CIC a nivel de las tres parcelas evaluadas*



### **3.2. Niveles de concentración de plomo (Pb) y arsénico (As) en los suelos de cultivos agrícolas de la localidad de Yangas con respecto a los ECA**

#### **Concentración de plomo y arsénico en la Parcela N°1**

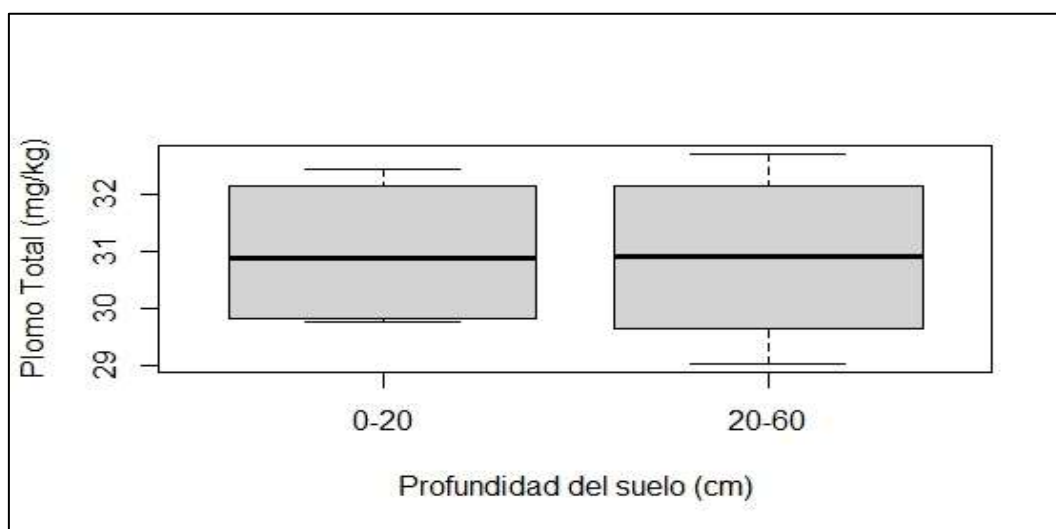
Los análisis de plomo (Pb) y arsénico (As) en los suelos se realizaron mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica, cuyos resultados se presentan en la Tabla 16. Se observa que el arsénico y plomo están presentes en los suelos estudiados con valores que no sobrepasan los valores ECA señalado por el MINAM (2017).

- **Plomo:** Este metal está presente en los suelos de estudio en ambas profundidades desde 29,05 hasta 32,69 mg.kg<sup>-1</sup>, no sobrepasan los ECA señalado por el MINAM (2017) que es de 70 mg.kg<sup>-1</sup>.
- **Arsénico:** Este metal está presente en los suelos de estudio en ambas profundidades desde 25,68 mg.kg<sup>-1</sup> hasta 29,76 mg.kg<sup>-1</sup>, no sobrepasan los ECA señalado por el MINAM (2017) que es de 50 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Tabla 16***Contenido de plomo y arsénico en Parcela N°1*

N° TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	0-20	31,87	25,68
	20-60	31,57	26,63
CA-02	0-20	32,42	31
	20-60	30,28	26,58
CA-03	0-20	29,90	27,22
	20-60	32,69	29,64
CA-04	0-20	29,78	29,06
	20-60	29,05	29,76

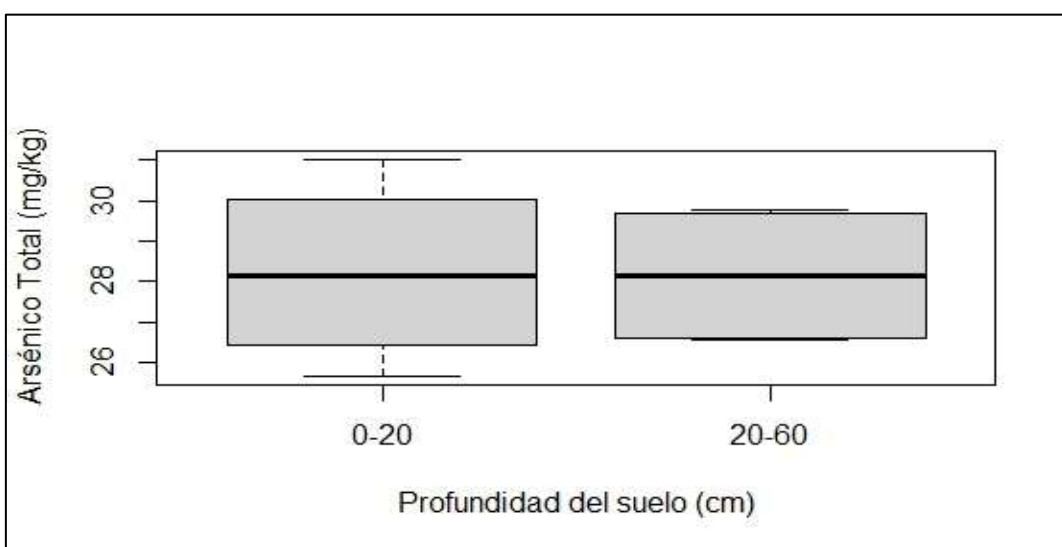
La Figura 18 muestra el diagrama de cajas del contenido de plomo con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 30,89 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 32 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 29,87 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 32,42 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 29,78 mg.kg<sup>-1</sup>. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 30,93 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 31,85 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 29,97 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 32,69 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 29,05 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Figura 18***Diagrama de caja, para Pb en el suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades*

En la Figura 19 se muestra el contenido de arsénico con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 28,14 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 29,55 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 26,84 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 31 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 25,68 mg.kg<sup>-1</sup>. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 28,14 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 29,67 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 26,62 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 29,76 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 26,78 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Figura 19**

*Diagrama de caja, para As en el suelo de la Parcela N°1 a dos profundidades*



### **Concentración de plomo y arsénico en la Parcela N°2**

Los análisis de plomo y arsénico en los suelos, se realizaron a través del método de espectrofotometría de absorción atómica, se muestra en la Tabla 17. Se observa que el arsénico y plomo están presentes en los suelos estudiados con valores que no sobrepasa los valores ECA señalado por el MINAM (2017).

- **Plomo:** este metal está presente en los suelos de estudio en ambas profundidades desde 24,22mg.kg<sup>-1</sup> hasta 30,91mg.kg<sup>-1</sup>, no sobrepasan los ECA señalado por el MINAM (2017) que es de 70 mg.kg<sup>-1</sup>.

- **Arsénico:** este metal está presente en los suelos de estudio en ambas profundidades desde 20,85 mg.kg<sup>-1</sup> hasta 26,88 mg.kg<sup>-1</sup>, no sobrepasan los ECA señalado por el MINAM (2017) que es de 50 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Tabla 17**

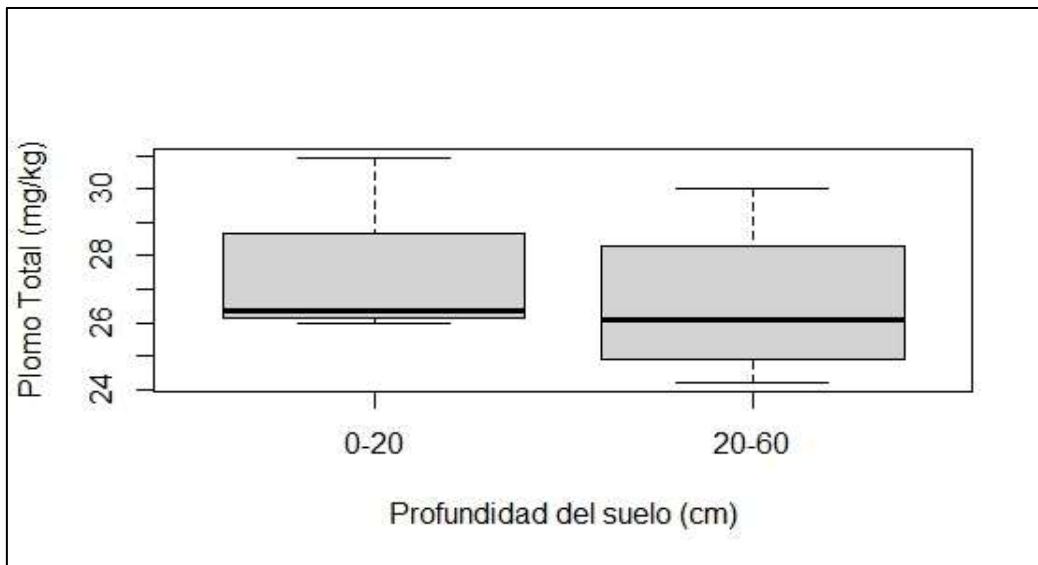
*Contenido de plomo y arsénico en Parcela N°2*

<b>N° TRATAMIENTO</b>	<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)</b>	<b>PLOMO (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>ARSÉNICO (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>CA-01</b>	0-20	30,91	21,36
	20-60	24,22	24,91
<b>CA-02</b>	0-20	26,41	23,91
	20-60	25,61	21,94
<b>CA-03</b>	0-20	26,25	24,05
	20-60	26,52	20,85
<b>CA-04</b>	0-20	26	25,81
	20-60	30,03	26,88

La Figura 20 muestra el diagrama de cajas del contenido de plomo con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 26,33 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 27,54 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 26,19 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 30,91 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 26 mg.kg<sup>-1</sup>. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 26,07 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 27,40 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 25,26 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 30,03 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 24,22 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Figura 20**

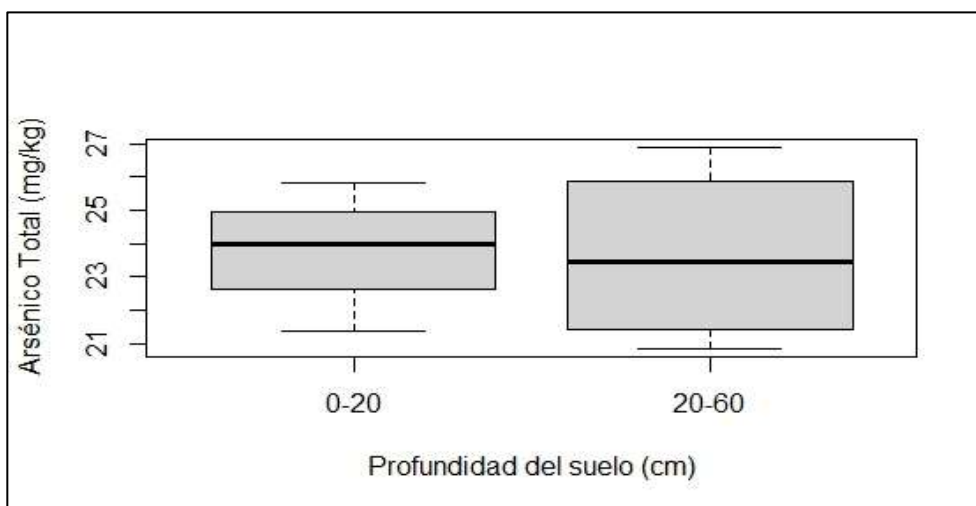
*Diagrama de caja, para Pb en el suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades*



La Figura 21 muestra el diagrama de cajas del contenido de arsénico con relación a la profundidad de 0 a 20 cm donde la mediana es igual a 23,98 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 24,49 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 23,27 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 25,81 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 21,36 mg.kg<sup>-1</sup>. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 23,43 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 25,40 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 21,67 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 26,88 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 20,85 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Figura 21**

*Diagrama de caja, para As en el suelo de la Parcela N°2 a dos profundidades*



### Concentración de plomo y arsénico en la Parcela N°3

En la Tabla 18 se observa que el arsénico y plomo están presentes en los suelos estudiados con valores que no sobrepasa los valores ECA señalado por el MINAM (2017).

- **Plomo:** este metal está presente en los suelos de estudio en ambas profundidades desde 27,83mg.kg<sup>-1</sup> hasta 31,86 mg.kg<sup>-1</sup>, no sobrepasan los ECA señalado por el MINAM (2017) que es de 70 mg.kg<sup>-1</sup>.
- **Arsénico:** este metal está presente en los suelos de estudio en ambas profundidades desde 20,82 mg.kg<sup>-1</sup> hasta 30,23 mg.kg<sup>-1</sup>, no sobrepasan los ECA señalado por el MINAM (2017) que es de 50 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Tabla 18**

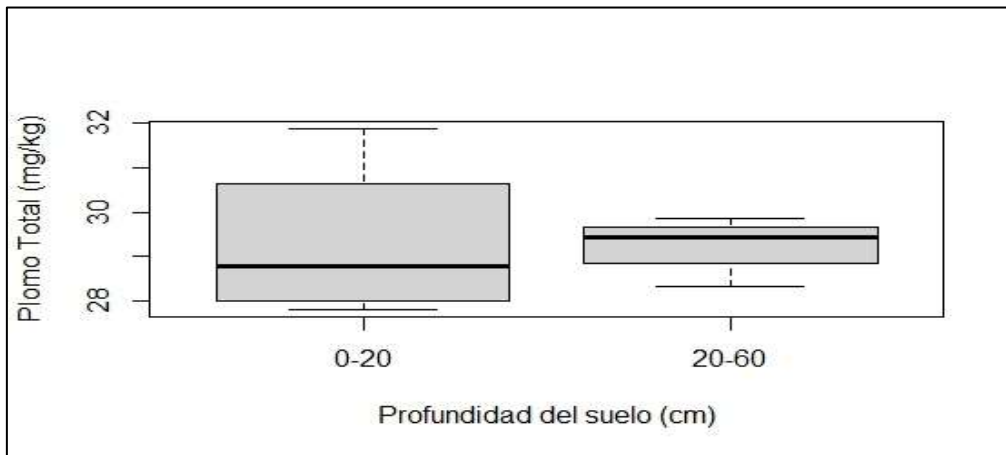
*Contenido de plomo y arsénico en Parcela N°3*

N° TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	0-20	31,86	30,23
	20-60	29,47	20,82
CA-02	0-20	27,83	25,99
	20-60	29,86	25,30
CA-03	0-20	28,21	24,30
	20-60	29,41	20,87
CA-04	0-20	29,39	22,08
	20-60	28,32	20,95

La Figura 22 muestra el diagrama de cajas del contenido de plomo con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 28,80 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 30 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 28,12 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 31,86 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 27,83 mg.kg<sup>-1</sup>. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 29,44 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 29,57 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 29,14 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 29,86 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 28,32 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Figura 22**

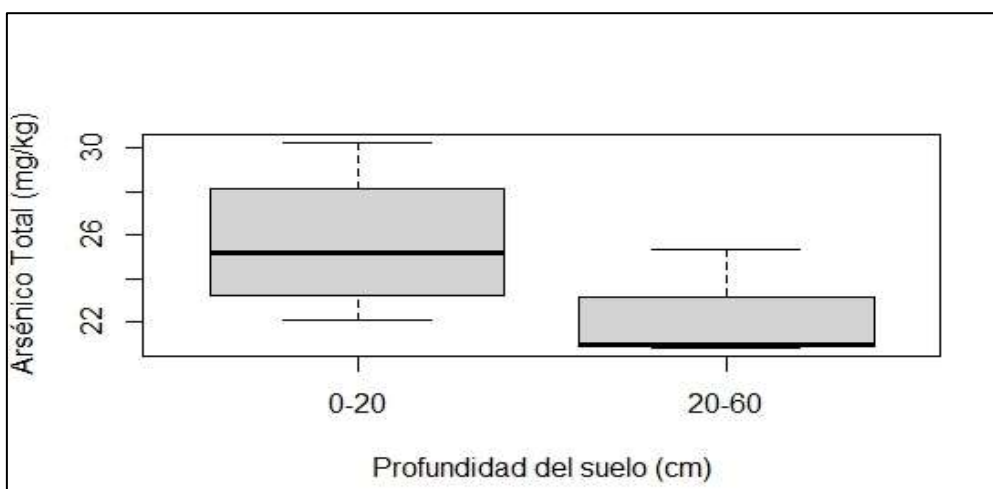
*Diagrama de caja, para Pb en el suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades*



La Figura 23 se muestra el diagrama de cajas del contenido de arsénico con relación a la profundidad de 0 a 20 cm, donde la mediana es igual a 25,14 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 27,05 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 23,75 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 31,86 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 27,83 mg.kg<sup>-1</sup>. Mientras que, a la profundidad de 20-60 cm, la mediana es igual a 20,91 mg.kg<sup>-1</sup>; el percentil 75 es 22,04 mg.kg<sup>-1</sup> y el percentil 25 es 20,86 mg.kg<sup>-1</sup>; el límite superior es 25,30 mg.kg<sup>-1</sup> y el límite inferior es 20,82 mg.kg<sup>-1</sup>.

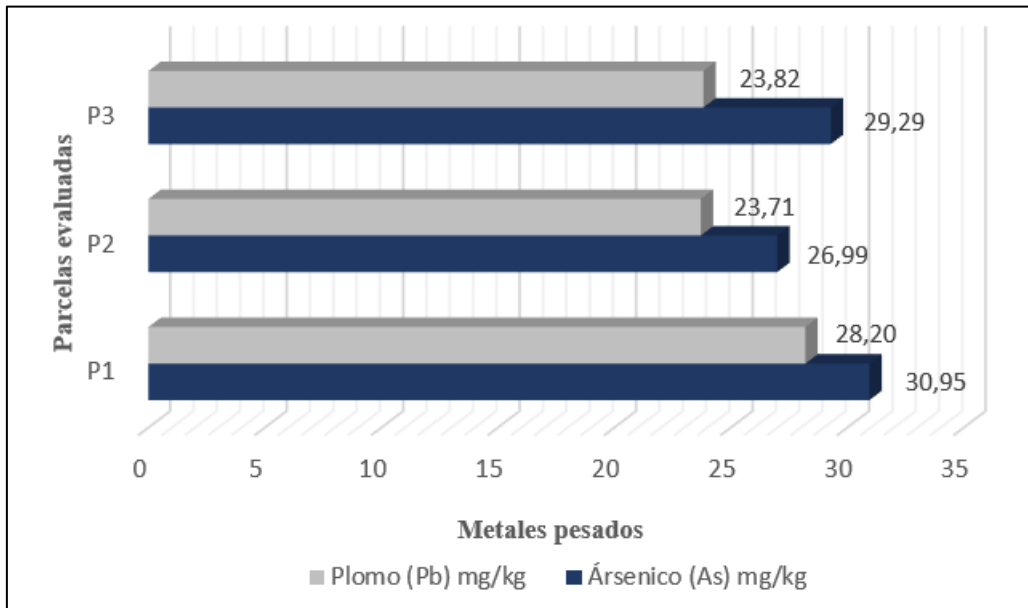
**Figura 23**

*Diagrama de caja, para As en el suelo de la Parcela N°3 a dos profundidades*



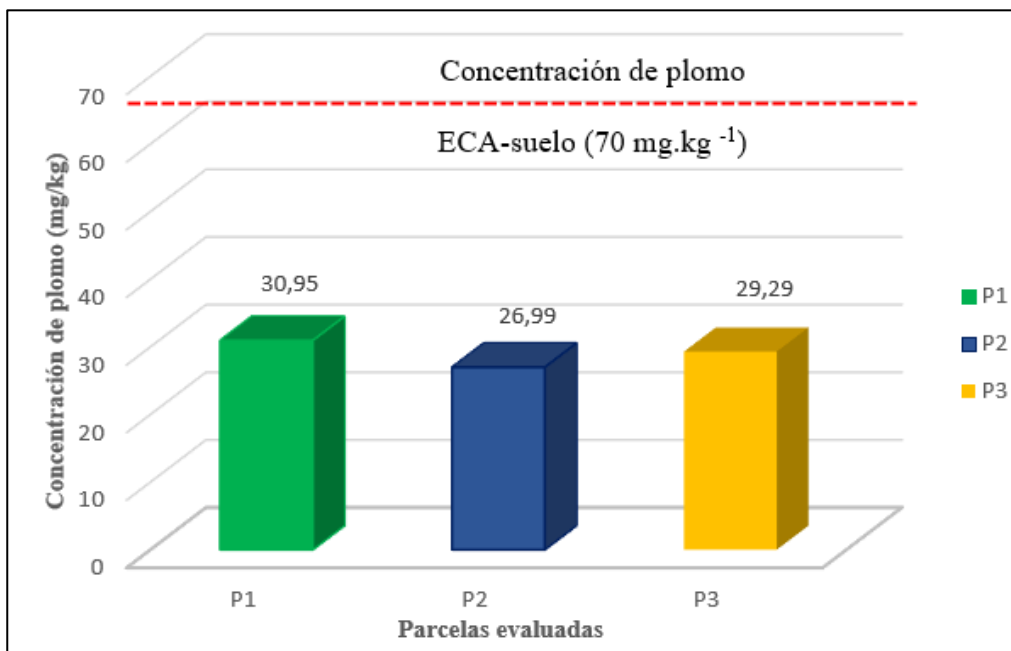
**Figura 24**

*Valores de la concentración de metales pesados a nivel de las tres parcelas*



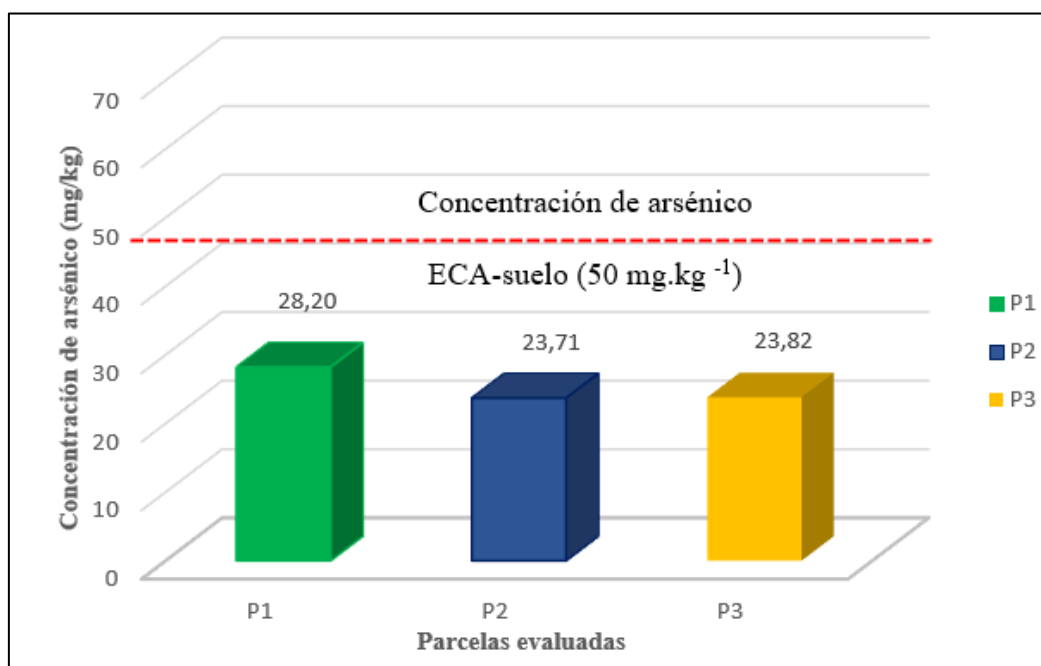
**Figura 25**

*Concentración de plomo a nivel de las tres parcelas evaluadas con relación al ECA*



**Figura 26**

*Concentración de arsénico a nivel de las tres parcelas evaluadas con relación al ECA*



### **3.3. Relación entre la concentración de plomo (Pb) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas**

Los resultados presentados determinan las características del suelo (pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico) y la concentración de plomo en los suelos agrícolas a dos profundidades de 0 a 20 cm y 20 a 60 cm.

#### **3.3.1. Concentración de plomo en relación a las características edáficas de la parcela N°1 a profundidad de 0-20 cm**

En la Tabla 19, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de plomo de la parcela N°1 en la profundidad de 0 a 20. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 19**

*Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°1 a profundidad de 0-20 cm*

N° TRATAMIENTO	0-20 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	6,87	2,06	27,73	31,87
CA-02	7,01	1,77	25,82	32,42
CA-03	6,68	2,07	25,68	29,90
CA-04	6,77	1,62	41,63	29,78
<b>Promedio</b>	6,83	1,88	30,22	30,99
S	0,14	0,22	7,67	1,35
CV	2,07	11,82	25,38	4,36

En la Tabla 20, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH – MO, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Asimismo, se verifica que existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,046 < 0,05$ ), considerando el pH ( $p$ -valor =  $0,030 < 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = - 40,72 + 9,83X_1 + 2,42X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de MO %

**Tabla 20**

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo				Prueba Global del Modelo			
Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	F	gl1	gl2	p
1	0,999	0,998	0,994	232	2	1	0,046

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-40,72	3,334	-12,21	0,052
pH	9,83	0,460	21,37	0,030
M.O %	2,42	0,293	8,28	0,077

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 21, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH – CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Asimismo, se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,222 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,172 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = - 21,47 + 7,935 X_1 - 0,058 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 21**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,975	0,951	0,852	9,64	2	1	0,222

Coefficientes del Modelo - Plomo Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-21,47	15,4425	-1,39	0,397
pH	7,935	2,2037	3,60	0,172
CIC	-0,058	0,0407	-1,43	0,389

En la Tabla 22, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,705 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del M.O ( $p$ -valor =  $0,646 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 44,006 - 3,969X_1 - 0,184X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Porcentaje de MO %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 22**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N° 1 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,710	0,503	-0,490	0,507	2	1	0,705

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	44,006	16,608	2,650	0,230
M.O %	-3,969	6,387	-0,622	0,646
CIC	-0,184	0,185	-0,992	0,502

### 3.3.2. Concentración de plomo en relación a las características edáficas de la parcela N°1 a profundidad de 20-60 cm

En la Tabla 23, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de plomo de la parcela N°1 en la profundidad de 20 a 60. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 23**

*Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, CIC y materia orgánica de la parcela N°1 a profundidad de 20-60 cm*

N° TRATAMIENTO	20-60 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	6,63	1,88	39,68	31,57
CA-02	6,58	1,78	51,76	30,28
CA-03	6,85	2,06	35,57	32,69
CA-04	7,11	2,18	49,51	29,05
<b>Promedio</b>	6,79	1,98	44,13	30,90
S	0,24	0,18	7,75	1,58
CV	3,56	9,07	17,56	5,10

En la Tabla 24, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido > 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo (p-valor = 0,276 > 0,05), considerando que no hay significancia del pH (p-valor = 0,182 > 0,05) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 150,5 - 27,7 X_1 + 34,7X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 24**

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,961	0,924	0,771	6,05	2	1	0,276

Coefficientes del Modelo – Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	150,5	34,48	4,36	0,14
pH	-27,7	8,15	-3,40	0,18
M.O %	34,7	11,00	3,16	0,19

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 25, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,257 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,401 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 54,444 - 2,304 X_1 - 0,179 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 25**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,966	0,934	0,802	7,07	2	1	0,257

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	54,444	11,5059	4,73	0,133
pH	-2,304	1,6779	-1,37	0,401
CIC	-0,179	0,0524	-3,42	0,181

En la Tabla 26, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio (R<sup>2</sup> corregido > 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo (p-valor = 0,255 > 0,05), considerando que no hay significancia del M.O (p-valor = 0,398 > 0,05) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 45,752 - 3,161 X_1 - 0,195 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 26**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,967	0,935	0,804	7,17	2	1	0,255

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	45,752	5,4076	8,46	0,075
M.O %	-3,161	2,2787	-1,39	0,398
CIC	-0,195	0,0527	-3,70	0,168

### **3.3.3. Concentración de plomo en relación a las características edáficas de la parcela N°2 a profundidad de 0-20 cm**

En la Tabla 27, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de plomo de la parcela N°2 en la profundidad de 0 a 20 cm. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 27**

*Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 0-20 cm*

N° TRATAMIENTO	0-20 cm			
	pH	M.O (%)	CIC (meq /100 g)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,41	1,52	39,49	30,91
CA-02	7,28	1,64	45,39	26,41
CA-03	7,12	1,70	33,54	26,25
CA-04	7,56	2,03	33,79	26,00
<b>Promedio</b>	7,34	1,72	38,05	27,39
S	0,19	0,22	5,61	2,35
CV	2,55	12,67	14,74	8,58

En la Tabla 28, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,396 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,359 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -20,56 + 9,18 X_1 - 11,31 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 28**

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,918	0,844	0,531	2,70	2	1	0,396

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-20,56	38,85	-0,529	0,690
pH	9,18	5,80	1,584	0,359
M.O%	-11,31	4,98	-2,272	0,264

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 29, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,951 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,861 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 4,000 + 2,654 X_1 + 0,103 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 29**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,309	0,0954	-1,71	0,0527	2	1	0,951

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	4,000	90,680	0,0441	0,972
pH	2,654	11,986	0,2214	0,861
CIC	0,103	0,400	0,2565	0,840

En la Tabla 30, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,715 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,525 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 4,000 + 2,654 X_1 + 0,103 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

### Tabla 30

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,699	0,489	-0,534	0,478	2	1	0,715

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	46,1545	26,764	1,725	0,335
CIC	-0,0993	0,366	-0,272	0,831
M.O	-8,6986	9,401	-0,925	0,525

### 3.3.4. Concentración de plomo en relación a las características edáficas de la parcela N°2 a profundidad de 20-60 cm

En la Tabla 31, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M. O y CIC) y la concentración de plomo de la parcela N°2 en la profundidad de 20 a 60. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 31**

*Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 20-60 cm*

N° TRATAMIENTO	20-60 cm			
	pH	M.O (%)	CIC (meq /100 g)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,44	2,15	29,48	24,22
CA-02	7,32	1,77	23,85	25,61
CA-03	7,27	2,01	31,56	26,52
CA-04	7,65	2,06	35,44	30,03
Promedio	7,42	2,00	30,08	26,60
S	0,17	0,16	4,83	2,48
CV	2,28	8,13	16,07	9,32

En la Tabla 32, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,677 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,475 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -53,58 + 12,13 X_1 - 4,92 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

### Tabla 32

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 20-60 cm*

#### Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,736	0,541	-0,377	0,590	2	1	0,677

#### Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-53,58	75,2	-0,712	0,606
pH	12,13	11,2	1,082	0,475
M.O	-4,92	11,7	-0,421	0,746

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 33, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,640 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,746 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -19,870 + 5,260 X_1 + 0,247 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 33**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,769	0,591	-0,228	0,722	2	1	0,640

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-19,870	84,610	-0,235	0,853
pH	5,260	12,496	0,421	0,746
CIC	0,247	0,437	0,566	0,672

En la Tabla 34, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio (R<sup>2</sup> corregido > 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo (p-valor = 0,261 > 0,05), considerando que no hay significancia del pH (p-valor = 0,245 > 0,05) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -33,377 - 14,005 X_1 + 0,705 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 34**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°2 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,965	0,932	0,796	6,84	2	1	0,261

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	33,377	8,318	4,01	0,155
CIC	0,705	0,191	3,69	0,168
M.O	-14,005	5,684	-2,46	0,245

### 3.3.5. Concentración de plomo en relación a las características edáficas de la parcela N°3 a profundidad de 0-20 cm

En la Tabla 35, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de plomo en las de la parcela N°3 a profundidad de 0 a 20. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 35**

*Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°3 a profundidad de 0-20 cm*

N° TRATAMIENTO	0-20 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,43	2,06	31,61	31,86
CA-02	6,71	1,77	29,70	27,83
CA-03	7,33	2,07	29,55	28,21
CA-04	7,41	1,62	29,55	29,39
<b>Promedio</b>	7,22	1,88	30,10	29,32
S	0,34	0,22	1,01	1,82
CV	4,75	11,82	3,35	6,20

En la Tabla 36, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,573 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,451 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -13,65 + 3,56 X_1 + 7,29 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 36**

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,820	0,672	0,0156	1,02	2	1	0,573

Coefficientes del Modelo - Pb

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-13,65	30,11	-0,453	0,729
pH	3,56	3,05	1,168	0,451
M.O	7,29	8,03	0,907	0,531

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 37, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,232 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,379 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -27,28 + 1,93 X_1 + 1,42 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 37**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,973	0,946	0,839	8,82	2	1	0,232

Coefficientes del Modelo - Pb

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-27,28	13,480	-2,02	0,292
pH	1,93	1,308	1,47	0,379
CIC	1,42	0,445	3,19	0,194

En la Tabla 38, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,385 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del M.O ( $p$ -valor =  $0,766 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -22,24 + 2,23 X_1 + 1,54 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 38**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,923	0,852	0,555	2,87	2	1	0,385

Coefficientes del Modelo - Pb

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-22,24	21,623	-1,029	0,491
M.O	2,23	5,793	0,385	0,766
CIC	1,54	0,747	2,057	0,288

### **3.3.6. Concentración de plomo en relación a las características edáficas de la parcela N°3 a profundidad de 20-60 cm**

En la Tabla 39, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de plomo de la parcela N°3 en la profundidad de 20 a 60. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 39**

*Análisis estadístico de la concentración de plomo en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°3 a profundidad de 20-60 cm*

N° TRATAMIENTO	20-60 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	PLOMO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,36	1,88	31,43	29,47
CA-02	6,8	1,78	35,58	29,86
CA-03	7,25	2,06	35,29	29,41
CA-04	7,32	2,18	21,70	28,32
<b>Promedio</b>	7,18	1,98	31,00	29,27
S	0,26	0,18	6,48	0,66
CV	3,61	9,07	20,91	2,26

En la Tabla 40, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,247 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,247 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 59,59 - 3,67 X_1 - 1,84 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 40**

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,969	0,939	0,817	7,71	2	1	0,247

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	59,59	7,736	7,70	0,082
pH	-3,67	0,936	-3,92	0,247
M.O	-1,84	0,600	-3,06	0,201

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 41, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,284 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,742 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 29,1221 + -0,3653X_1 + 0,0892X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 41**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,959	0,920	0,759	5,72	2	1	0,284

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	29,1221	6,7453	4,317	0,145
pH	-0,3653	0,8527	-0,428	0,742
CIC	0,0892	0,0341	2,619	0,232

En la Tabla 42, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de plomo. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,308 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del M.O ( $p$ -valor =  $0,979 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 26,2963 - 0,0165 X_1 + 0,0969 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de Pb

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 42**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de plomo en la parcela N°3 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	Prueba Global del Modelo				
			R <sup>2</sup> corregida	F	gl1	gl2	p
1	0,951	0,905	0,715	4,76	2	1	0,308

Coefficientes del Modelo - Pb Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	26,2963	1,5130	17,3797	0,037
CIC	0,0969	0,0315	3,0784	0,200
M.O	-0,0165	0,5053	-0,0327	0,979

En la Tabla 43, se desarrolla la prueba de Kruskal-Wallis debido a que no se cumplen los supuestos de análisis de varianza de un factor y se aplicó para determinar las verdaderas diferencias de las tres parcelas en relación al plomo a profundidad de 0-20 cm, observándose que no existe significancia estadística ( $p\text{-valor} = 0,077 > 0,05$ ).

**Tabla 43**

*Análisis de varianza para la concentración de plomo en las tres parcelas a profundidad de 0-20 cm*

ANOVA - Pb Total

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Parcela	26,0	2	12,98	3,66	0,069
Residuos	32,0	9	3,55		

ANOVA de Un Factor (No paramétrico)

Kruskal-Wallis

	$\chi^2$	gl	p
Pb Total	5,12	2	0,077

En la Tabla 44, se desarrolla la prueba de Kruskal-Wallis debido a que no se cumplen los supuestos de análisis de varianza de un factor y se aplicó para determinar las verdaderas diferencias de las tres parcelas en relación al plomo a profundidad de 20-60 cm, observándose que no existe significancia estadística ( $p\text{-valor} = 0,077 > 0,05$ ).

**Tabla 44**

*Análisis de varianza para la concentración de plomo en las tres parcelas a profundidad de 20-60 cm*

ANOVA - Pb Total

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Parcela	37,7	2	18,87	6,25	0,020
Residuos	27,2	9	3,02		

ANOVA de Un Factor (No paramétrico)

Kruskal-Wallis

	$\chi^2$	gl	p
Pb total	5,12	2	0,077

### 3.4. Relación entre la concentración de arsénico (As) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas

En la Tabla 45, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de arsénico de la parcela N°1 en la profundidad de 0 a 20. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 45**

*Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°1 a profundidad de 0-20 cm*

N° TRATAMIENTO	0-20 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	6,87	2,06	27,73	25,68
CA-02	7,01	1,77	25,82	31
CA-03	6,68	2,07	25,68	27,22
CA-04	6,77	1,62	41,63	29,06
<b>Promedio</b>	6,83	1,88	30,22	28,24
<b>S</b>	0,14	0,22	7,67	2,30
<b>CV</b>	2,07	11,82	25,38	8,15

En la Tabla 46, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,564 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,675 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 4,98 + 5,33 X_1 - 6,99 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

#### Tabla 46

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm*

#### Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,826	0,682	0,0472	1,07	2	1	0,564

#### Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	4,98	69,00	0,0722	0,954
pH	5,33	9,52	0,5597	0,675
M.O	-6,99	6,06	-1,1531	0,455

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 47, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,803 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,605 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N°1 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -41,0884 + 9,7226 X_1 + 0,0959 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 47**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,595	0,355	-0,936	0,275	2	1	0,803

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-41,0884	95,211	-0,432	0,741
pH	9,7226	13,587	0,716	0,605
CIC	0,0959	0,251	0,383	0,767

En la Tabla 48, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio (R<sup>2</sup> corregido > 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo (p-valor = 0,202 > 0,05), considerando que no hay significancia del M.O (p-valor = 0,131 > 0,05) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N°1 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 64,612 -14,933 X_1 -0,275 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 48**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,979	0,959	0,878	11,8	2	1	0,202

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	64,612	8,1091	7,97	0,079
CIC	-0,275	0,0904	-3,04	0,202
M.O	-14,933	3,1185	-4,79	0,131

En la Tabla 49 se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de arsénico en la profundidad de 20 a 60. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 49**

*Análisis estadístico de concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°1 a profundidad de 20-60 cm*

N° TRATAMIENTO	20-60 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	6,63	1,88	39,68	26,63
CA-02	6,58	1,78	51,76	26,58
CA-03	6,85	2,06	35,57	29,64
CA-04	7,11	2,18	49,51	29,76
<b>Promedio</b>	6,79	1,98	44,13	28,15
S	0,24	0,18	7,75	1,79
CV	3,56	9,07	17,56	6,35

En la Tabla 50, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,324 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,881 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 18,13 + -2,05 X_1 + 12,12X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 50**

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,946	0,895	0,686	4,27	2	1	0,324

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	18,13	45,8	0,396	0,760
pH	-2,05	10,8	-0,189	0,881
M.O	12,12	14,6	0,830	0,559

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 51, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,318 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,211 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 1 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -15,3475 + 6,8177 X_1 - 0,0637 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 51**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,948	0,899	0,697	4,46	2	1	0,318

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-15,3475	16,1166	-0,952	0,516
pH	6,8177	2,3503	2,901	0,211
CIC	-0,0637	0,0734	-0,868	0,545

En la Tabla 52, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio (R<sup>2</sup> corregido < 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo (p-valor = 0,322 > 0,05), considerando que no hay significancia del M.O (p-valor = 0,214 > 0,05) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N°1 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 10,4797 + 9,3063 X_1 - 0,0160 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 52**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°1 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,947	0,896	0,689	4,32	2	1	0,322

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	10,4797	7,7356	1,355	0,405
CIC	-0,0160	0,0753	-0,213	0,867
M.O	9,3063	3,2597	2,855	0,214

En la Tabla 53, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de arsénico de la parcela N°2 en la profundidad de 0 a 20. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 53**

*Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 0-20 cm*

N° TRATAMIENTO	0-20 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,41	1,52	39,49	21,36
CA-02	7,28	1,64	45,39	23,91
CA-03	7,12	1,70	33,54	24,05
CA-04	7,56	2,03	33,79	25,81
<b>Promedio</b>	7,34	1,72	38,05	23,78
S	0,19	0,22	5,61	1,83
CV	2,55	12,67	14,74	7,70

En la Tabla 54, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,253 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,432 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 0-20cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 34,15 - 3,59 X_1 + 9,27 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 54**

*Análisis de regresión entre el pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,967	0,936	0,808	7,32	2	1	0,253

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	34,15	19,35	1,76	0,328
pH	-3,59	2,89	-1,24	0,432
M.O	9,27	2,48	3,74	0,166

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 55, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,900 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,882 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 16,450 + 1,653 X_1 - 0,126 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 55**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,436	0,190	-1,43	0,117	2	1	0,900

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	16,450	66,858	0,246	0,846
CIC	-0,126	0,295	-0,428	0,743
pH	1,653	8,837	0,187	0,882

En la Tabla 56, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio (R<sup>2</sup> corregido < 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo (p-valor = 0,374 > 0,05), considerando que no hay significancia del M.O (p-valor = 0,268 > 0,05) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 6,7714 + 8,5595 X_1 + 0,0596 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

### Tabla 56

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°2 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,927	0,860	0,579	3,07	2	1	0,374

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	6,7714	10,922	0,620	0,647
CIC	0,0596	0,149	0,399	0,758
M.O	8,5595	3,836	2,231	0,268

En la Tabla 57, se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de arsénico de la parcela N°2 en la profundidad de 20 a 60. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 57**

*Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°2 a profundidad de 20-60 cm*

N° TRATAMIENTO	20-60 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,44	2,15	29,48	24,91
CA-02	7,32	1,77	23,85	21,94
CA-03	7,27	2,01	31,56	20,85
CA-04	7,65	2,06	35,44	26,88
<b>Promedio</b>	7,42	2,00	30,08	23,65
<b>S</b>	0,17	0,16	4,83	2,76
<b>CV</b>	2,28	8,13	16,07	11,66

En la Tabla 58, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,202 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,157 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -90,89 + 14,82X_1 + 2,28X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 58**

*Análisis de regresión entre el pH y M.O en relación a la concentración de arsénico en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,979	0,959	0,877	11,7	2	1	0,202

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-90,89	25,01	-3,635	0,171
pH	14,82	3,73	3,978	0,157
M.O	2,28	3,88	0,588	0,662

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 59, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,218 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,172 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -101,2197 + 17,0978X_1 - 0,0665X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 59**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,976	0,953	0,858	10,0	2	1	0,218

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-101,2197	32,046	-3,159	0,195
pH	17,0978	4,733	3,613	0,172
CIC	-0,0665	0,166	-0,402	0,757

En la Tabla 60, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio (R<sup>2</sup> corregido < 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo (p-valor = 0,790 > 0,05), considerando que no hay significancia del M.O (p-valor = 0,836 > 0,05) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 2 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 7,322 + 5,031 X_1 + 0,209 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 60**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 2 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,613	0,376	-0,871	0,302	2	1	0,790

Coefficientes del Modelo – As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	7,322	27,990	0,262	0,837
CIC	0,209	0,642	0,325	0,800
M.O	5,031	19,128	0,263	0,836

En la Tabla 61 se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de arsénico de la parcela N° 3 en la profundidad de 0 a 20. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 61**

*Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela 3 profundidad de 0-20 cm*

N° TRATAMIENTO	0-20 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,43	2,44	31,61	30,23
CA-02	6,71	2,41	29,70	25,99
CA-03	7,33	2,18	29,55	24,3
CA-04	7,41	2,46	29,55	22,08
<b>Promedio</b>	7,22	2,37	30,10	25,65
S	0,34	0,13	1,01	3,45
CV	4,75	5,48	3,35	13,44

En la Tabla 62, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,980 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,998 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 12,7726 + 0,0345 X_1 + 5,3227 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 62**

*Análisis de regresión entre pH y materia orgánica en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,200	0,0402	-1,88	0,0209	2	1	0,980

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	12,7726	97,70	0,13073	0,917
pH	0,0345	9,88	0,00349	0,998
M.O	5,3227	26,05	0,20429	0,872

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 63, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,229 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,373 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico o en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -54,46 - 3,69 X_1 + 3,55 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 63**

*Análisis de regresión entre pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,973	0,948	0,843	9,03	2	1	0,229

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-54,46	25,293	-2,15	0,277
pH	-3,69	2,454	-1,51	0,373
CIC	3,55	0,835	4,25	0,147

En la Tabla 64, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $< 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,388 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del M.O ( $p$ -valor =  $0,772 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 0-20 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = -64,22 - 4,14 X_1 + 3,31 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

### Tabla 64

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela N°3 a profundidad 0-20 cm*

#### Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,922	0,850	0,549	2,83	2	1	0,388

#### Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	-64,22	41,29	-1,555	0,364
CIC	3,31	1,43	2,321	0,259
M.O	-4,14	11,06	-0,374	0,772

En la Tabla 65 se muestra un análisis estadístico para determinar la relación que existe entre las propiedades del suelo (pH, M.O y CIC) y la concentración de arsénico de la parcela N°3 en la profundidad de 20 a 60. Las comparaciones fueron realizadas mediante una regresión lineal y correlación ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 65**

*Análisis estadístico de la concentración de arsénico en relación de los valores de pH, materia orgánica y CIC de la parcela N°3 profundidad de 20-60 cm*

N° TRATAMIENTO	20-60 cm			
	pH	M.O %	CIC (meq /100 g)	ARSÉNICO (mg.kg <sup>-1</sup> )
CA-01	7,36	1,64	31,43	20,82
CA-02	6,8	2,58	35,58	25,3
CA-03	7,25	2,08	35,29	20,87
CA-04	7,32	2,35	21,70	20,95
<b>Promedio</b>	7,18	2,16	31,00	21,99
S	0,26	0,40	6,48	2,21
CV	3,61	18,67	20,91	10,06

En la Tabla 66, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y M.O, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,168 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,153 > 0,05$ ) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 85,300 + -8,731X_1 - 0,280X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de M.O %

**Tabla 66**

*Análisis de regresión entre el pH y M.O en relación a la concentración de arsénico en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,986	0,972	0,915	17,2	2	1	0,168

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	85,300	17,62	4,841	0,130
pH	-8,731	2,13	-4,094	0,153
M.O	-0,280	1,37	-0,205	0,872

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 67, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables pH y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido  $> 0,7$ ). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor =  $0,152 > 0,05$ ), considerando que no hay significancia del pH ( $p$ -valor =  $0,109 > 0,05$ ) respecto a los niveles de plomo en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 86,3786 - 8,8284X_1 - 0,0317X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Nivel de pH

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 67**

*Análisis de regresión entre el pH y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,988	0,977	0,930	21,1	2	1	0,152

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	86,3786	12,1137	7,131	0,089
pH	-8,8284	1,5314	-5,765	0,109
CIC	-0,0317	0,0612	-0,519	0,695

Respecto a las variables pH - CIC y MO - CIC se verifica la no significancia estadística en los posibles casos de regresión lineal múltiple.

En la Tabla 68, se presenta el análisis de regresión lineal múltiple de las variables M.O y CIC, respecto al nivel de concentración de arsénico. Se observa que el coeficiente de determinación múltiple tiene un ajuste satisfactorio ( $R^2$  corregido < 0,7). Se verifica que no existe significancia estadística del modelo ( $p$ -valor = 0,510 > 0,05), considerando que no hay significancia del M.O ( $p$ -valor = 0,388 > 0,05) respecto a los niveles de arsénico en los suelos agrícolas de la parcela N° 3 a profundidad de 20-60 cm.

Modelo de regresión:

$$Y = 8,119 + 4,005 X_1 + 0,168 X_2$$

Donde:

Y: Nivel de concentración de As

X<sub>1</sub>: Porcentaje de M.O %

X<sub>2</sub>: Porcentaje de CIC (meq /100 g)

**Tabla 68**

*Análisis de regresión entre la materia orgánica y CIC en relación a la concentración de arsénico en la parcela 3 a profundidad 20-60 cm*

Medidas de Ajuste del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Prueba Global del Modelo			
				F	gl1	gl2	p
1	0,860	0,740	0,220	1,42	2	1	0,510

Coefficientes del Modelo - As Total

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	8,119	8,367	0,970	0,510
CIC	0,168	0,174	0,964	0,512
M.O	4,005	2,795	1,433	0,388

En la Tabla 69, se desarrolla la prueba de Kruskal-Wallis debido a que no se cumplen los supuestos de análisis de varianza de un factor y se aplicó para determinar las verdaderas diferencias de las tres parcelas en relación al arsénico a profundidad de 0-20 cm, evidenciando que no existe significancia estadística (p-valor = 0,098 > 0,05).

**Tabla 69**

*Análisis de varianza para la concentración de arsénico en las tres parcelas a profundidad de 0-20 cm*

ANOVA de Un Factor (No paramédico)

Kruskal-Wallis

	$\chi^2$	gl	p
As Total	4,65	2	0,098

En la Tabla 70, se desarrolla la prueba de Kruskal-Wallis debido a que no se cumplen los supuestos de análisis de varianza de un factor y se aplicó para determinar las verdaderas diferencias de las tres parcelas en relación al plomo a profundidad de 20-60 cm, evidenciando significancia estadística (p-valor = 0,044 < 0,05).

**Tabla 70**

*Análisis de varianza para la concentración de arsénico en las tres parcelas a profundidad de 20-60 cm*

ANOVA de Un Factor (No paramédico)

Kruskal-Wallis

	$\chi^2$	gl	p
As Total	6,27	2	0,044

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN**

### **4.1. Características y propiedades edáficas de los suelos agrícolas de la localidad Yangas**

#### **4.1.1. Análisis del cultivo**

El análisis realizado en la localidad de Yangas reveló que los cultivos de lechuga y pepino tienen un ciclo de cosecha trimestral y emplean un sistema de riego por goteo, lo que optimiza la distribución del agua y mejora la productividad agrícola. En este contexto, se utilizan agroquímicos, como insecticidas y fertilizantes clasificados como moderadamente peligrosos y no peligrosos, de acuerdo con las necesidades hídricas específicas de los cultivos. La información fue obtenida a través de entrevistas directas con los agricultores, quienes compartieron detalles sobre sus prácticas agrícolas y el uso de agroquímicos.

Aunque los niveles de agroquímicos en las áreas de cultivo son bajos, su uso constante puede tener efectos acumulativos a largo plazo en la salud humana, del ganado y la biodiversidad local. Esto se debe a la falta de procedimientos adecuados en su aplicación, almacenamiento y disposición de envases, lo que puede contribuir a la contaminación del suelo y el agua. Estudios previos han demostrado que la exposición prolongada a residuos de agroquímicos puede alterar la calidad del suelo agrícola y poner en riesgo la seguridad alimentaria.

Al respecto Riveros (2014) menciona que el uso de plaguicidas en la agricultura, clasificados como moderadamente peligrosos, puede afectar el suelo, el agua y la salud humana si no se manejan adecuadamente. Su acumulación disminuye la fertilidad del suelo y altera su equilibrio ecológico, mientras que su filtración en fuentes de agua constituye un riesgo ambiental. Asimismo, la exposición prolongada a estos compuestos puede generar impactos negativos en la salud humana. Esta problemática se ve agravada por la falta de un sistema agronómico adecuado en el cultivo de hortalizas, lo que dificulta un control eficiente y favorece el uso excesivo de agroquímicos.

Por otra parte, Castillo *et al.* (2020), consideran que las áreas de cultivo de Cañete también están expuestas a contaminación de plaguicidas, debido a la necesidad del agricultor de proteger sus cultivos y no contar con capacitaciones técnicas, lo que provoca toxicidad en el producto y que los residuos químicos impacten en los cultivos. No obstante, en los cultivos, la contaminación por plaguicidas agrícolas es baja, pero afecta la inocuidad de las cosechas de los cultivos.

#### **4.1.2. Análisis textural**

A partir del análisis de textura de los suelos agrícolas en la localidad de Yangas, se identificó que predominan los suelos franco arenosos. Este tipo de textura se caracteriza por una baja capacidad de retención de humedad y nutrientes, lo que puede limitar su disponibilidad para las plantas y afectar el desarrollo de los cultivos. Además, presenta un bajo contenido de arcilla y una alta proporción de arena, lo que influye en la estructura y fertilidad del suelo, condicionando el desarrollo adecuado de los cultivos.

Según lo citado por Prosad *et al.* (2019) destacan que la textura del suelo es un factor clave en la dinámica de los nutrientes y en la retención de elementos contaminantes. Los suelos de Yangas, presentan una menor capacidad de adsorción de metales pesados debido a su baja CIC y menor superficie de contacto para la retención de cationes. Esto puede facilitar la movilidad del As y Pb, aumentando el riesgo de lixiviación hacia capas más profundas o su incorporación a fuentes de agua subterránea. Además, Chambi *et al.* (2017) consideran que, un mayor contenido de arcilla en el suelo contribuye a mitigar su degradación, ya que mejora la capacidad de retención de metales pesados y reduce su disponibilidad para las plantas. En este sentido, la baja proporción de arcilla en los suelos franco arenosos de Yangas podría incrementar la biodisponibilidad de elementos tóxicos como el arsénico (As) y el plomo (Pb), lo que aumentaría su absorción por los cultivos y representaría un riesgo potencial para la seguridad alimentaria.

#### **4.1.3. Análisis de pH**

En el análisis del nivel de pH en suelos agrícolas de la localidad Yangas se determinaron los puntos de muestreo de las tres parcelas estudiadas, cuyos resultados estuvieron en un rango

de 6,68 a 7,56 en la capa de 0- 20 cm de profundidad y de 6,58 a 7,65 a la profundidad de 20-60 cm. Dentro de la escala de pH, si presentan valores que van desde (6,6 a 7, 3) es pH neutro, favoreciendo el desarrollo de gran cantidad de cultivos, (7,4 a 7,8) son ligeramente básicos y (7,9 a 8,4) moderadamente básicos. Estos niveles indican que los efectos de toxicidad son mínimos, y la materia orgánica tiene una notable influencia sobre el pH del suelo agrícola, contribuyendo al crecimiento de cultivos con preferencia por suelos alcalinos. Estos resultados permiten entender que existe mayor disponibilidad de los metales pesados, teniendo en cuenta lo reportado por Mengxue *et al* (2021), quienes aseguran que, el pH influye en la transferencia de metales pesados del suelo hacia las partes comestibles de los cultivos. Asimismo, la aplicación de pesticidas conduce a una disminución del pH afectando la biodisponibilidad, la movilidad y la disponibilidad de metales pesados en los sistemas suelo-cultivo. Al respecto Soto-Benavente *et al* (2020), concuerdan que los metales pesados como el arsénico y plomo tienen la posibilidad de permanecer en los suelos agrícolas, esto depende del nivel de pH del suelo, debido que si el valor de pH aumenta genera la retención de metales pesados y disminuye la disponibilidad para las plantas.

#### **4.1.4. Análisis de Materia Orgánica**

La materia orgánica de los suelos agrícolas de la localidad de Yangas se determinó en función de los puntos de muestreo de las tres parcelas estudiadas, con valores que oscilan entre 1,52 % y 2,46 % en la capa de 0-20 cm de profundidad, y entre 1,64 % y 2,58 % en la profundidad de 20-60 cm. Estos valores indican un nivel bajo a moderado de materia orgánica, lo que puede afectar la fertilidad del suelo y su capacidad para retener nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos.

Además, Proshad *et al* (2019), señalan que los metales pesados interactúan con la materia orgánica del suelo, afectando su movilidad y biodisponibilidad. Un contenido elevado de materia orgánica contribuye a la retención de estos elementos, limitando su absorción por las plantas y reduciendo su toxicidad. En contraste, niveles bajos pueden intensificar la erosión y aumentar la movilidad de los contaminantes, lo que representa un riesgo para la biota del suelo y la calidad de los cultivos.

#### **4.1.5. Análisis de capacidad de intercambio catiónico**

La CIC de los suelos agrícolas de la localidad Yangas se determinó en relación a los puntos de muestreo de las tres parcelas estudiadas. Estos resultados varían desde 25,68 meq /100 g a 45,39 meq /100 g en la capa de 0- 20 cm de profundidad y 21,70 meq /100 g a 51,76 meq /100 g a la profundidad de 20-60 cm. Estos valores permiten clasificar la mayoría de estos suelos como de CIC alta a muy alta (>20 meq/100 g), lo que indica una mayor capacidad para retener y liberar cationes esenciales para el crecimiento de los cultivos.

Cabe mencionar lo indicado por Chambi *et al* (2017), que la CIC suele ser baja o moderada en suelos con menor contenido de materia orgánica, lo que puede aumentar la vulnerabilidad a la erosión. En este estudio, la CIC alta indica una mayor capacidad de adsorción de cationes, incluyendo metales pesados como plomo (Pb) y arsénico (As), lo que limita su movilidad y absorción por las plantas, reduciendo su toxicidad. Sin embargo, si esta retención depende de la arcilla o materia orgánica y cambios en el pH podrían favorecer la liberación de estos metales, aumentando su biodisponibilidad y potencial toxicidad.

#### **4.2. Niveles de concentración de plomo (Pb) y arsénico (As) en los suelos de cultivos agrícolas de la localidad de Yangas con respecto a los ECA**

Con respecto a la concentración de metales pesados como plomo que se encuentra en las tres parcelas cantidades que van desde 26,21 hasta 32,42 mg.kg<sup>-1</sup> en la capa de 0-20 cm de profundidad y 24,22 mg.kg<sup>-1</sup> a 32,69 mg.kg<sup>-1</sup> a la profundidad de 20-60 de profundidad, por tal motivo no superan el estándar de calidad ambiental (ECA) señalado por el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2017) que es de 70 mg.kg<sup>-1</sup>. De igual manera, el contenido de arsénico presenta cantidades que van desde 21,36 mg.kg<sup>-1</sup> a 31 mg.kg<sup>-1</sup> en la capa de 0-20 cm de profundidad y 20,82 a 29,76 mg.kg<sup>-1</sup> a la profundidad de 20-60 cm de profundidad, no superan el estándar de calidad ambiental (ECA) señalado por el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2017) que es de 50 mg.kg<sup>-1</sup>. Al respecto, Kelepertzis (2014), señala que aumenta la transferencia de metales pesados en suelos agrícolas de acuerdo a la distancia y textura. Ahmadi *et al.* (2017) mencionan que metales pesados como arsénico y plomo se consideran los elementos más peligrosos, que son capaces de liberarse a la capa superior del suelo que determina una profundidad de 0-20 cm. Adagunodo *et al.* (2018), consideran que, si los

valores de metales pesados sobrepasan los límites máximos permisibles, se denomina un suelo contaminado y no apropiado para realizar actividades agrícolas, debido genera riesgo para la salud de las personas y ecosistema del lugar.

#### **4.3. Relación entre la concentración de plomo (Pb) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas**

##### **Parcela 1**

En la parcela 1, se evaluó la concentración de plomo en relación con el pH del suelo a dos profundidades. A una profundidad de 0-20 cm, el pH promedio es 6,83, M.O es 1,88 %, CIC es 30,22 meq /100 g y plomo es 30,99 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 2,07, M.O es 11,82 %, CIC es 25,38 meq /100 g y plomo es 4,36 mg.kg<sup>-1</sup>. A una profundidad de 20-60 cm, el pH es 6,79, M.O es 1,98%, CIC 44,13 y plomo es 30,90 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 3,56, M.O es 9,07 %, CIC es 17,56 meq /100g y plomo es 5,10 mg.kg<sup>-1</sup>. El contenido de plomo en ambas capas de suelo no superó al ECA para suelos del Perú (MINAM, 2017), debido que los resultados son menores a 70 mg.kg<sup>-1</sup>, indicando que estos suelos no presentan cantidades elevadas de plomo en las capas de 0-20 cm y de 20-60 cm.

##### **Parcela 2**

En la parcela 2, se evaluó la concentración de plomo en relación con el pH del suelo a dos profundidades. A una profundidad de 0-20 cm, el pH promedio es 7,34, M.O es 1,72 %, CIC es 38,05 meq /100 g y plomo es 27,39 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 2,55, M.O es 12,67 %, CIC es 14,74 meq /100 g, y plomo es 8,58 mg.kg<sup>-1</sup>. A una profundidad de 20-60 cm, el pH es 7,42, M.O es 2 %, CIC es 30,08 meq /100 g y plomo es 26,60 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 2,28, M.O de 8,13 %, CIC de 16,07 meq /100g y para plomo es de 9,32 mg.kg<sup>-1</sup>. La concentración de plomo en ambas capas de suelo no superó al ECA para suelos del Perú (MINAM, 2017), debido que los resultados son menores a 70 mg.kg<sup>-1</sup>, indicando que estos suelos no presentan cantidades elevadas de plomo en las capas de 0-20 cm y de 20-60 cm.

### Parcela 3

En la parcela 3, se evaluó la concentración de plomo en relación con el pH del suelo a dos profundidades. A una profundidad de 0-20 cm, el pH es 7,22, materia orgánica es 1,88 %, CIC es 30,10 meq /100 g y plomo es 29,32 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 4,75, M.O es 11,82 %, CIC es 3,35 meq /100g y plomo es 6,20 mg.kg<sup>-1</sup>. A una profundidad de 20-60 cm, el pH es 7,18, M.O es 1,98 %, CIC es 31 meq /100 g y plomo es 29,27 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 3,61, M.O es 9,07 %, CIC es 20,91 meq /100 g y plomo es 2,26 mg.kg<sup>-1</sup>. El contenido de plomo en ambas capas de suelo no superó al ECA para suelos del Perú (MINAM, 2017), debido que los resultados son menores a 70 mg.kg<sup>-1</sup> indicando que estos suelos no presentan cantidades elevadas de plomo en las capas de 0-20 cm y de 20-60 cm.

Kelepertzis (2014) señala que el incremento de Pb en suelos cultivados está relacionado con la aplicación de fertilizantes, pesticidas y estiércol de ganado, los cuales pueden alterar las propiedades del suelo y su capacidad de retención de metales. En el caso de los suelos agrícolas de Argólida, se encontró que un pH óptimo y un buen contenido de materia orgánica (MO) favorecen la estabilidad del Pb, reduciendo su movilidad. Por otro lado, Kharazi *et al.* (2021) indican que el plomo puede acumularse en grandes cantidades en las hojas de las hortalizas debido a los procesos de translocación y transpiración, representando un riesgo para la seguridad alimentaria. En este sentido, Vázquez *et al.* (2019) destacan que la biodisponibilidad del Pb depende del pH, la materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). En cultivos como la lechuga, un pH neutro y un alto contenido de MO reducen su movilidad en el suelo y limitan su absorción por las plantas.

Los valores obtenidos en los suelos de Yangas sugieren que la presencia de MO y una CIC elevada pueden estar favoreciendo la retención de Pb y As, reduciendo su disponibilidad para las plantas. Sin embargo, cualquier alteración en el pH o en las condiciones edáficas podría modificar este equilibrio y aumentar su movilidad, incrementando el riesgo de absorción por los cultivos.

#### **4.4. Relación entre la concentración de arsénico (As) y las propiedades edáficas en los suelos agrícolas de la localidad de Yangas**

##### **Parcela 1**

En la parcela 1, se evaluó la concentración de arsénico en relación con el pH del suelo a dos profundidades. A una profundidad de 0-20 cm, el pH es 6,83, M.O es 1,88%, CIC es 30,22 y plomo es 28,24 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 2,07, M.O es 11,82 %, CIC es 25,38 meq /100 g y para arsénico es 8,15 mg.kg<sup>-1</sup>. A una profundidad de 20-60 cm, el pH es 6,79, M.O es 1,98 %, CIC es 44,13 meq /100 g y arsénico es 28,15 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 3,56, M.O es 9,07 %, CIC es 17,56 meq /100 g y para el arsénico es 6,35 mg.kg<sup>-1</sup>. El contenido de arsénico en ambas capas de suelo no superó al ECA para suelos del Perú (MINAM, 2017), debido que los resultados son menores a 50 mg.kg<sup>-1</sup>, indicando que estos suelos no presentan cantidades elevadas de arsénico en las capas de 0-20 cm y de 20-60 cm.

##### **Parcela 2**

En la parcela 2, se evaluó la concentración de arsénico en relación con el pH del suelo a dos profundidades. A una profundidad de 0-20 cm, el pH es 7,34, M.O es 1,72 %, CIC es 38,05 meq /100 g y arsénico es 23,78 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 2,55, M.O es 12,67 %, CIC es 14,74, y para arsénico es 7,70 mg.kg<sup>-1</sup>. A una profundidad de 20-60 cm, el pH es 7,42, M.O es 2 %, CIC es 30,08 meq /100 g y en arsénico es 23,65 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 2,28, M.O es 8,13 %, CIC es 16,07 meq /100 g y para arsénico es de 11,66 mg.kg<sup>-1</sup>. El contenido de arsénico en ambas capas de suelo no superó al ECA para suelos del Perú (MINAM, 2017), debido que los resultados son menores a 50 mg.kg<sup>-1</sup>, indicando que estos suelos no presentan cantidades elevadas de arsénico en las capas de 0-20 cm y de 20-60 cm.

### Parcela 3

En la parcela 3, se evaluó la concentración de arsénico en relación con el pH del suelo a dos profundidades. A una profundidad de 0-20 cm, el pH es 7,22, M.O es 2,37 %, CIC es 30,10 meq /100 g y arsénico es de 25,65 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 4,75, M.O es 5,48, CIC es 3,35 meq /100 g y arsénico de 13,44 mg.kg<sup>-1</sup>. A una profundidad de 20-60 cm, el pH es 7.18, M.O es 2,16 %, CIC es 31 meq /100 g y arsénico es 21,99 mg.kg<sup>-1</sup>. El coeficiente de variación, en el caso de pH es 3,61, M.O es 18,67 % , CIC es 20,91 meq /100 g y para arsénico es de 10,06 mg.kg<sup>-1</sup>. El contenido de arsénico en ambas capas de suelo no superó al ECA para suelos del Perú (MINAM, 2017), debido que los resultados son menores a 50 mg.kg<sup>-1</sup>, indicando que estos suelos no presentan cantidades elevadas de arsénico en las capas de 0-20 cm y de 20-60 cm.

Kelepertzis (2014) señala que la acumulación de arsénico está vinculada al uso de fertilizantes y enmiendas orgánicas, que favorecen el incremento progresivo de su concentración en el perfil edáfico. Kharazi *et al.* (2021) evidenciaron una alta variabilidad en los niveles de As, lo que favorece su acumulación en cultivos y, en algunos casos, supera los estándares permitidos. Esta contaminación representa un riesgo para la salud humana y los ecosistemas, ya que su ingesta prolongada puede generar efectos adversos en el organismo. Además, factores como la textura del suelo, el pH y las condiciones climáticas pueden influir en la movilidad y biodisponibilidad del arsénico, aumentando su potencial de contaminación en sistemas agrícolas.

Por otro lado, Orellana *et al.* (2020) encontraron que, si bien las concentraciones de arsénico en suelos agrícolas no exceden los límites establecidos, existe una contaminación moderada. Esto sugiere la necesidad de un monitoreo constante para prevenir riesgos en la calidad de los productos agrícolas y minimizar su impacto en la salud humana y el medio ambiente. Los hallazgos resaltan la importancia de regular el uso de insumos agrícolas y evaluar las condiciones del suelo, ya que factores como el pH, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico pueden influir en la movilidad y disponibilidad del arsénico.

La retención de arsénico en el suelo está influenciada por factores como la materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Un alto contenido de MO favorece la formación de complejos estables, reduciendo su biodisponibilidad, mientras que una CIC elevada contribuye a su inmovilización al fijarlo en las partículas del suelo. Sin embargo, cambios en el pH pueden alterar este equilibrio, aumentando la movilidad del arsénico y su absorción por las plantas, lo que representa un riesgo para la salud humana y la seguridad alimentaria.

En el caso de Yangas, la presencia de MO y una CIC moderada parecen limitar la disponibilidad de arsénico en el suelo. No obstante, factores como la actividad agrícola, la aplicación de fertilizantes y las variaciones climáticas pueden modificar las condiciones edáficas y favorecer su liberación. Esto resalta la importancia de implementar estrategias de monitoreo y remediación, asegurando que la concentración de arsénico no exceda los límites permitidos y minimizando su impacto en el ambiente y la producción agrícola.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Los suelos agrícolas de las tres parcelas estudiadas presentan un pH entre 6,58 (neutro) y 7,65 (ligeramente básico) en las capas de 0-20 cm y 20-60 cm de profundidad, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento de los cultivos. Su textura franco arenosa, caracterizada por un alto contenido de arena en comparación con el limo y la arcilla, influye en la retención de humedad, la disponibilidad de microelementos y la acumulación de metales pesados, además de incrementar el riesgo de erosión.

En Yangas, los suelos presentan una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 21,7 a 51,76 meq /100g y un contenido de materia orgánica entre 1,52 % y 2,58 %, lo que los hace fértiles y aptos para la agricultura. Sin embargo, su manejo adecuado es esencial para prevenir la erosión y la acumulación de metales pesados, asegurando su sostenibilidad a largo plazo. Un control eficiente del riego evitaría la lixiviación de nutrientes y la acumulación de sales, mientras que prácticas como el uso moderado de fertilizantes y el laboreo responsable favorecerían el equilibrio químico y estructural del suelo.

2. El contenido de los metales pesados, plomo y arsénico, en los suelos de la localidad de Yangas, fueron variables. En el caso del plomo, las concentraciones van desde 24,22 mg.kg<sup>-1</sup> hasta 32,69 mg.kg<sup>-1</sup> en ambas profundidades (0-20 cm y 20-60 cm); mientras que, el arsénico va desde 20,82 mg.kg<sup>-1</sup> hasta 31 mg.kg<sup>-1</sup>. Estos niveles se encuentran por debajo del estándar de calidad ambiental (ECA) de metales pesados para suelo agrícola establecido por el MINAM (2017), lo que indica que los valores son adecuados. No obstante, es esencial implementar medidas de seguridad en el uso de agroquímicos y la correcta disposición de sus envases para evitar la contaminación, eliminar los riesgos en la cadena trófica, preservar la salud y el ambiente.
3. El análisis de regresión lineal y correlación de la concentración de plomo en las tres parcelas agrícolas de Yangas determinó que los promedios no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Se observó que el pH influye en la materia orgánica (MO) y

en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que a su vez afecta la movilidad y disponibilidad del plomo (Pb) en el suelo a profundidades de 0-20 cm y 20-60 cm. Esta interacción aumenta el riesgo de bioacumulación en los cultivos y sus efectos en la cadena trófica, resaltando la necesidad de un monitoreo y manejo adecuado de estos suelos para mitigar su impacto ambiental.

4. En el análisis de regresión lineal y correlación de la concentración de arsénico en las tres parcelas de suelos agrícolas de la localidad Yangas, se determinó que los promedios tienen similitud estadísticamente, debido a que el p-valor no presenta significancia estadística ( $p > 0,05$ ), el pH tiene influencia en la M.O y CIC, lo que incide en el contenido de arsénico en el suelo a profundidades de 0-20 y de 20 a 60 cm. Esta interacción resalta la importancia de un monitoreo continuo y de prácticas de manejo adecuadas para evitar su acumulación en el suelo, mitigar su impacto en la producción agrícola y reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

## CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- A partir del estudio sobre los niveles de concentración de plomo y arsénico en suelos de cultivos agrícolas, se considera fundamental realizar más investigaciones que proporcionen registros adicionales sobre la exposición a la contaminación por metales pesados. Estos estudios permitirán mejorar el control y la implementación de estrategias efectivas para la reducción de estos contaminantes, contribuyendo a la protección del suelo y la salud ambiental.
- Se requiere llevar a cabo estudios sobre el uso de fertilizantes en las áreas de cultivo y la gestión adecuada de sus residuos, con el objetivo de verificar el cumplimiento de la legislación peruana referente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas. Estos estudios contribuirán a prevenir la acumulación de metales pesados en el suelo y a reducir los riesgos potenciales para la salud del ecosistema, los agricultores y la comunidad local.
- Promover el uso de abonos orgánicos y la agricultura ecológica para disminuir la dependencia de agroquímicos y mejorar la salud del suelo. Asimismo, incentivar la capacitación de agricultores sobre el manejo responsable de estos productos y su correcta disposición para minimizar su impacto ambiental.
- El Estado, a través de MIDAGRI y en colaboración con entidades públicas y privadas, debe impulsar normativas y programas de formación que fomenten el manejo sostenible del suelo, el control adecuado de fertilizantes y la calidad de los cultivos destinados al mercado.

## REFERENCIAS

- Adagunodo, T.A., Sunmonu, L.A., y Emeteru, M.E. (2018). Heavy metals' data in soils for agricultural activities. *Data in Brief*, 18(1), 1847-1855. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.04.115>
- Ahmadi, M., Jorfi, S., Azarmansuri, A., Jaafarzadeh, N., Hosein, A., Darvishi, R., y Akhbarizadeh, R. (2017). Zoning of heavy metal concentrations including Cd, Pb and As in agricultural soils of Aghili plain, Khuzestan province, Iran. *Data in Brief*, 14(1), 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.07.008>
- Angella, G., y Frías, C. (2016). Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta. *Inta ediciones*. [https://www.researchgate.net/publication/322888562\\_Conceptos\\_basicos\\_de\\_las\\_relaciones\\_agua-suelo-planta](https://www.researchgate.net/publication/322888562_Conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua-suelo-planta)
- Bautista, C.A., Etchevers, B. J., Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97. Asociación Española de Ecología Terrestre. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54013210>
- Bembibre, C. (febrero,2011). *Definición del Suelo agrícola*. Significado.com. <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/suelo-agricola.php>
- Bonadeo, E., Moreno, I., Bongiovanni, M., Marzari, R., y María, G. (2017). *El sistema suelo-planta* (1.ª ed.). UniRío Editora. <https://doi.org/978-987-688-204-0>
- Casas, R. (2012). *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Ediciones Paraninfo.S.A.
- Castellanos, J., Uvalle-Bueno, J., y Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP* (2.ª ed.).
- Castillo, B., Ruiz, J.O., Manrique, M.A., y Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Espacios*, 41(10). <https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/a20v41n10p11.pdf>

- Chambi, P.L., Orsag, C.V., y Niura, Z.A. (2017). Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó-Bolivia. *Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(1), 67-73. [http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v4n1/v4n1\\_a09.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v4n1/v4n1_a09.pdf)
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83(1), 5-71. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908302>
- Correa, O.C., Fuentes, B.F., y Coral, S.R. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray – Perú. *Sociedad Química del Perú*, 87(1). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>
- Covacevich, F., Eyherabide, M., Sainz, R.H., y Echeverría, H.E. (2012). Características químicas determinan la capacidad micotrófica arbuscular de suelos agrícolas y prístinos de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del suelo*, 30(2), 119-128. <https://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v30n2/v30n2a04.pdf>
- Cremona, M.V., y Enriquez, A.S (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *CORE* 73(1), 5-8. <https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>
- Edwards, W., y Duffy, P. (2014). Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. *Farm Management* (pp.100-112). Food Science. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044452512300111X>
- Flores, M. (2013). *Producción agrícola, seguridad alimentaria y desarrollo rural en México* (1.<sup>a</sup> ed.). Programa Universitario de Estudios del Desarrollo. [https://biblioteca.clacso.edu.ar/Mexico/pued-unam/20170612033303/pdf\\_298.pdf](https://biblioteca.clacso.edu.ar/Mexico/pued-unam/20170612033303/pdf_298.pdf)
- Gagan, S. (2016). Heavy metal toxicity in soils: sources, remediation technologies and challenges. *Advances in Plantsy Agriculture Research*, 5(1), 445-446. <https://doi.org/10.15406/apar.2016.05.00166>
- Galagarza, O.A., Ramirez-Hernandez, A., Haley, F.O., Álvarez, V., Valdez, M., Pachari, V.E., Cereceda, Y., Diaz-Valencia, Y.K., y Deering, A.J. (2021). Occurrence of Chemical Contaminants in Peruvian Produce: A Food-Safety Perspective. *Foods*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/foods10071461>

- García, I., y Dorronsoro, C. (2010). *Contaminación por metales pesados*. Departamento de edafología y química agrícola de España. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>
- Giannuzzo, A.N. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. *Scientiae Studia*, 8(1). <https://doi.org/10.1590/S1678-31662010000100006>
- Gupta,N., Kumar,K., Kumar,V., Krishnan,S., Kumar,S., Derakhshan,Z., Majeed,M.A., y Alam, J. (2021). Evaluating heavy metals contamination in soil and vegetables in the region of North India: Levels, transfer and potential human health risk analysis. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 82(1). <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103740>.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6<sup>a</sup>.ed.). Interamericana Editores S.A.
- Hirve, M., Jain, M., Rastogi, A., y Kataria, S. (2020). Heavy metals, water deficit, and their interaction in plants: an overview. *Plant Life Under Changing Environment* (pp. 175-206). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818204-8.00009-6>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (2017). *Manual de producción de Lechuga*. Boletín INIA N°374. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29500>
- INTAGRI (2017). La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. *Serie Suelos*, 26(1), 1-5. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- Julca-Otiniano,A., Meneses-Florián,L., Blas-Sevillano,R., y Bello-Amez,S.(2006). Organic matter, importance, experiences and it role in agriculture. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kayode, O.T., Aizebeokhai, A.P., y Odukoya, A.M (febrero de 2021). *Arsenic in agricultural soils and implications for sustainable*. IOP Conference Series. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/655/1/012081>

- Kelepertzis, E. (2014). Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: Insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. *Geoderma*, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.007>
- Kharazi, A., Leili, M., Khazaei, M., Yusef, M.A., y Shokoohi, R. (2021). Human health risk assessment of heavy metals in agricultural soil and food crops in Hamadan, Iran. *Journal of Food Composition and Analysis*, 100(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103890>
- Landa-Acuña, D., Solorzano-Acosta, A., Sánchez-Ortiz, V., Hualpa-Cutipa, E., Vargas-de-la-Cruz, C., Luis-Alaya, B., y Flores-Juarez, E. (2022). *Microbial food products: A sustainable solution to alleviate hunger* (pp. 1-27). Microbial Products for Sustainable Ecosystem Services. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89938-3.00001-3>
- León-Duran, M., y Acevedo-Osorio, A. (2021). Sostenibilidad del manejo del suelo en procesos productivos de transición agroecológica. *Ecosistemas*, 30(2). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2061>
- León, G. (2011). *Las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo*. Edafología (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Lowenfels, J., y Lewis, W. (2010). *Guía de la red de nutrientes del suelo del jardinero orgánico*. Melusina. <https://doi.org/978-84-18403-36-1>
- Loyde de la Cruz, L.A., González, M.B., Cruz, A.A., y Loredo, P.R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemos*, 16(33), 1-15. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i33.228>
- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., y Pinzón-López, L. (2012). Effect of water stress on growth and water use efficiency of tree seedlings of three deciduous species. *Terra Latinoam*, 30(4), 343-353. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792012000400343](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400343)
- Mengxue, W., Hu, W., Wang, H., Tian, K., y Huang, B. (2021). Comprehensive assessment of heavy metal risk in soil-crop systems along the Yangtze River in Nanjing,

Southeast China. *Science of the Total Environment*, 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146567>

Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. Decreto Supremo N°002-213-MINAM, Dirección General de Calidad Ambiental.  
<https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2702-guia-para-muestreo-de-suelos>

Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía para la evaluación de sitios contaminados y la elaboración de planes dirigidos a la remediación*. Anexo R.M. N° 118-2021-MINAM. Dirección General de Calidad Ambiental.  
<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2017046-118-2021-minam>

Montaño, A.N., Navarro, R.M., Patricio, L.I., Chimal, S.E., y, De la Cuz, J (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? *Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 25(3). <https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a9>

Montoya, R.M., Restrepo, M.F., Moreno, T.N., y Mejía, G.P. (2014). Impacto del manejo de agroquímicos, parte alta de la microcuenca Chorro Hondo, Marinilla. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 32(2), 26-35.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12030433004>

Navarro-Aviñó, J., Aguilar, A.I., y López-Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2), 10-25.  
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/125>

Odobasic, A., Sestan, I., y Bratovcic, A. (2017). The extraction of heavy metals from vegetable samples. *Ingredients extraction by physicochemical methods in food* (pp.253-273). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811521-3.00006-5>

Olarte, B. (2007). La cuenca del río Chillón: Problemática y potencial productivo. *Ingeniería Industrial*, 25(1), 53-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337460076003>

Orellana, E.P., Custodio, M., Bastos, M.C., y Ascencion, J.C. (2020). Heavy Metals in Agriculture Soils from High Andean Zones and Potential Ecological Risk

Assessment in Peru's Central Andes. *Ecological Engineering*, 21(8), 108-119.  
<https://doi.org/10.12911/22998993/127094>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4.<sup>a</sup> ed.).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *Seguridad Alimentaria Nutricional, Conceptos Básicos FAO*. Programa de Seguridad Alimentaria (3.<sup>a</sup> ed.).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (diciembre de 2015). *Foro Global sobre Seguridad Alimentaria y Nutrición*.  
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/706a2db1-277d-4221-b955-e0a9726575b7/content>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (junio de 2016). *Propiedades físicas del suelo*. Portal de suelos de la FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Evaluación de Suelos*. Portal de Suelos de la FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-assessment/es/>

Osorio, M., Haro, J., Carrillo, W., y Negrete, J. (2022). *Suelos: Caracterización e importancia* (1.<sup>a</sup> ed.). Puerto Madero Editorial. <https://doi.org/10.55204/PMEA.7>

Pérez, R.A., Galvis, S.A., Bugarín, M.R., Hernández, M. T., Vázquez, P.M., y Rodríguez, G.A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU + n ). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 171-177. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80>

Pérez, J., y Gardey, A. (2020). Definición de antrópico. *Definicion.de*. <https://definicion.de/antrópico/>

Porta, J., López-Acevedo, M., y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y medio ambiente* (3.<sup>a</sup> ed.). Ediciones Mundi-Prensa.

- Prieto, M. J., González, R. C., Román, G.A., y Prieto, G.F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Proshad, R., Islam, M., Kormoker, T., Bhuyan, M., Hanif, M., Hossain, N., y Sharma, A.C (2019). Contamination of Heavy Metals in Agricultural Soils: Ecological and Health Risk Assessment. *SF Journal of Nanochemistry and Nanotechnology*, 2(1). <https://scienceforecastoa.com/Articles/SJNN-V2-E1-1012.pdf>
- Riveros, F. (2014). Nivel de contaminación con metales pesados en suelos agrícolas y sus efectos en horatizas en el valle Higuera, Huánuco. *Investigación Valdizana*, 8(2), 42-51. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586061891007>
- Roca-Fernández, A. (2012). *Contaminación de suelos por metales pesados*. Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. Info Agro.
- Romero, K. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426041218013>
- Roychowdhury, A., Datta, R., y Sarkar, D. (2018). Heavy Metal Pollution and Remediation. *Green Chemistry* (pp.359-373). Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00015-7>
- Schoeneberger, P., Wysocki, D., Benham, E., y Broderson, W. (2012). *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Natural Resources Conservation Service.
- Soil Science Society of America. (2008). *Glossary of Soil Science terms*. <https://www.soils.org/publications/soils-glossary>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2016). *Guía rápida para el levantamiento de suelos en campo*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-levantamiento-suelos-campo>
- Smith, S.R. (1996). *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*. Environmental Pollution.

- Soil Science Division Staff. (2017). Examination and description of soil profiles. *Soil Survey Manual*. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/SSM-ch3.pdf>
- Soto-Benavente, M., Rodríguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., y Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M., y Montanarella, L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, 88(1), 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>
- Trivedi, P., Wallenstein, M., Delgado-Baquerizo, M., y Singh, B. (2018). Microbial Modulators and Mechanisms of Soil Carbon Storage. *Soil Carbon Storage* (pp. 73-115). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812766-7.00003-2>
- Vázquez, J., Sangurima, C., y Álvarez-Vera, M. (2019). Concentraciones de plomo (Pb) en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) en Azuay, Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 423-427. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.13>
- Westreicher, G. (abril de 2020). *Producción agrícola*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/produccion-agricola.html>

## TERMINOLOGÍA

### **Medio ambiente**

Todo aquello que rodea al ser humano y que comprende elementos naturales, físicos, biológicos, y las interacciones de todos estos elementos entre sí. Asimismo, estos elementos son capaces de provocar efectos que repercuten de manera directa e indirecta en los seres vivos y actividades que realiza el hombre (Giannuzzo, 2010).

### **Antropogénico**

Se refiere a las consecuencias que surgen como resultado de actividades del ser humano, y especialmente este término se aplica a todas las modificaciones que sufre un componente o proceso natural a causa de la acción humana (Pérez y Gardey, 2020).

### **Materia orgánica**

Materia conformada por compuestos orgánicos que provienen de sustancias o residuos que cumplen un papel esencial en el suelo a través de su descomposición, y facilitan los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

### **Material parental**

Es el material que permite la formación del suelo, y existen dos grupos, los materiales no consolidados, que se componen de sedimentos, y el material intemperizado que se encuentra ubicado sobre las rocas que da origen al suelo. Sin embargo, existen casos, como los materiales consolidados, que se transportan por el agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2016).

## **Perfil**

La sección vertical del recurso suelo se compone de capas conocidas como horizonte, las cuales se distinguen por el color y tamaño de partículas del suelo. Al evaluar el perfil, se obtiene información sobre la fertilidad y el manejo de nutrientes del suelo, lo que permite diferenciar una muestra en función de características físicas y composición química (Soil Science Division Staff, 2017).

## **Seguridad alimentaria**

Se refiere a que todas las personas tienen acceso a los alimentos que necesitan para su adecuado consumo y utilización para satisfacer sus necesidades alimentarias con el objetivo de tener una vida más saludable (FAO, 2011).

## **Calicata**

Son excavaciones realizadas en un terreno o parcela a distintos niveles de profundidad, o hasta alcanzar la roca madre, con el fin de tomar muestras de suelo. Este proceso se lleva a cabo con el uso de pico y pala, lo que facilita la observación de los horizontes y permite una descripción detallada del perfil del suelo, así como el análisis de sus propiedades y características del suelo (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2016).

## **Evaluación del suelo**

La evaluación del suelo se considera uno de los requerimientos necesarios para el manejo integrado de un área y mejor conocimiento de las propiedades del suelo agrícola. Además, contribuye al manejo de los sistemas de cultivos y otras medidas para el manejo de tierras que favorece al ámbito económico, social y ambiental (FAO,2023).

## **Degradación de suelo --- adsorción**

La degradación del suelo surge como un cambio en la capacidad de uso de suelo, disminuyendo la producción de bienes y servicios ecosistémicos, resultado de la sobreexplotación de la tierra en las actividades agrícolas y pecuarias en tierras no adecuadas

y se manifiesta en el nivel de degradación y la erosión del suelo que pone en riesgo la salud y medio ambiente (FAO, 2023).

### **Agroquímico**

Es aquella sustancia química tóxica que se utiliza en las actividades agrícolas y debe aplicarse con responsabilidad; el agricultor debe cumplir la ley, normativa, técnica de manejo disposición de los envases y protección personal adecuada. En el caso que no se cumpla con las medidas correspondientes, existe el riesgo de que la exposición prolongada contribuya al daño del ecosistema y perjudique la salud humana (Montoya *et al.*, 2014).

### **Bioacumulación**

La bioacumulación es la concentración de un elemento químico que se acumula en el ambiente y en los tejidos de los organismos vivos a partir de su distribución y eliminación de aquellos contaminantes obtenidos por la exposición al aire, suelo y agua (MINAM, 2014).


### **Sostenibilidad**

Es un mecanismo de análisis que determina la conservación del uso y manejo del suelo, para establecer estrategias en la producción agrícola con el fin de satisfacer las necesidades del hombre sin generar impactos negativos en los recursos naturales (León-Duran y Acevedo-Osorio, 2021).

# APÉNDICES

## Apéndice 1

### Resultados de análisis de suelos en laboratorio

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.								
		FORMATO DE ANÁLISIS DE SUELOS					FECHA DE APROBACIÓN	
							5/07/2023	
Solicitante: Milagros Luna Huamán		Departamento: Lima- Perú			Código de cliente: COT-115810-SL23		FR-VEN-04	
DATOS DE LA MUESTRA								
Área de estudio		Localidad Yangas- Santa Rosa de Quives						
Descripción de la muestra		24 muestras de suelo						
Cantidad de muestra requerida		250 g/muestra						
Parcela	N°Trat	Código	Prof (cm)	pH	M.O %	C.I.C meq /100 g	Pb Total mg/kg	As Total mg/kg
P1	CA-01	S-1624	0-20	6.87	2.06	27.73	31.87	25.68
		S-1628	20-60	6.63	1.88	39.68	31.57	26.63
	CA-02	S-1625	0-20	7.01	1.77	25.82	32.42	31
		S-1629	20-60	6.58	1.78	51.76	30.28	26.58
	CA-03	S-1626	0-20	6.68	2.07	25.68	29.9	27.22
		S-1630	20-60	6.85	2.06	35.57	32.69	29.64
	CA-04	S-1627	0-20	6.77	1.62	41.63	29.78	29.06
		S-1631	20-60	7.11	2.18	49.51	29.05	29.76
P2	CA-01	S-1632	0-20	7.41	1.52	39.49	30.91	21.36
		S-1636	20-60	7.44	2.15	29.48	24.22	24.91
	CA-02	S-1633	0-20	7.28	1.64	45.39	26.41	23.91
		S-1637	20-60	7.32	1.77	23.85	25.61	21.94
	CA-03	S-1634	0-20	7.12	1.7	33.54	26.25	24.05
		S-1638	20-60	7.27	2.01	31.56	26.52	20.85
	CA-04	S-1635	0-20	7.56	2.03	33.79	26	25.81
		S-1639	20-60	7.65	2.06	35.44	30.03	26.88
P3	CA-01	S-1640	0-20	7.43	2.44	31.61	31.86	30.23
		S-1644	20-60	7.36	1.64	31.43	29.47	20.82
	CA-02	S-1641	0-20	6.71	2.41	29.7	27.83	25.99
		S-1645	20-60	6.8	2.58	35.58	29.86	25.3
	CA-03	S-1642	0-20	7.33	2.18	29.55	28.21	24.3
		S-1646	20-60	7.25	2.08	35.29	29.41	20.87
	CA-04	S-1643	0-20	7.41	2.46	29.55	29.39	22.08
		S-1647	20-60	7.32	2.35	21.7	28.32	20.95

Atta.  
 Oscar Riquelme/ +51 919 472 031 Asesor Comercial  
 SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. RUC: 20602031889  
 Calle 22 Vipol Naranjal MZ. E Lote 07, San Martín de Porras-Lima  
 Celular: 949494763  
 edelaguila@slabperu.com / contacto@slabperu.com  
 www.slabperu.com



KATHERINE  
 CORRAL PERALTA  
 Ingeniera Química  
 CIP N° 276377

Jefe de Laboratorio

## Apéndice 2

### Tablas para interpretación de análisis de suelos

#### Textura

Clase de textura	Tipo de textura
Arena, arena franca	Gruesa
Franco arenosa	Moderadamente gruesa
Franca, franco limoso, limosa	Media
Franco arcillosa, franco arcillo arenosa, franco arcillo limosa, arcillo arenosa, arcillo limosa, arcilla	Fina
Mayor de 60 % de arcilla	Muy fina

Schoeneberger *et al.* (2012).

#### pH

Nivel de pH	Definición
< 3,50	Ultra ácido
3,51 a 4,40	Extremadamente ácido
4,41 a 5,00	Muy fuertemente ácido
5,01 a 5,50	Fuertemente ácido
5,51 a 6,00	Moderadamente ácido
6,01 – 6,50	Ligeramente ácido
6,51 – 7,40	Neutro
7,41 – 7,80	Ligeramente básico
7,81 – 8,40	Moderadamente básico
8,41 – 9,00	Fuertemente básico
> 9,0	Muy fuertemente básico

Schoeneberger *et al.* (2012).

## Materia orgánica

Definición	%	% g.kg <sup>-1</sup>
Bajo	< de 2	< de 20
Medio	2 – 4	2 – 40
Alto	> de 4	> de 40

Schoeneberger *et al.* (2012).

## Capacidad de intercambio catiónico

Definición	Rango de CIC (me/100 g) o (cmol <sup>(+)</sup> .kg <sup>-1</sup> )
Muy baja	< de 4
Baja	4 – 8
Moderadamente baja	8 – 12
Moderadamente alta	12 – 20
Muy alta	> de 20

Schoeneberger *et al.* (2012).

## Estándares de calidad ambiental de suelo

Parámetros en mg/kg PS <sup>(1)</sup>	Usos del Suelo <sup>(2)</sup>			Métodos de ensayo <sup>(3) y (4)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(2)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(2)</sup>	Suelo Comercial <sup>(2)</sup> / Industrial/ Extractivo <sup>(2)</sup>	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 <sup>(5)</sup> EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos <sup>(6)</sup>	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 <sup>(7)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 <sup>(7)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 <sup>(7)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(8)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total <sup>(9)</sup>	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 <sup>(10)</sup>
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

D.S N° 011-2017-MINAM.

### Apéndice 3

#### Fotografías de la investigación



Fotografía 1. Área de cultivo de lechuga



Fotografía 2. Área de cultivo de pepino



Fotografía 3. Construcción de calicata



Fotografía 4. Evaluación de suelo agrícola



Fotografía 5. Toma de muestra de suelo



Fotografía 6. Guardado de muestras



Fotografía 7. Ganadería en la localidad de Yangas



Fotografía 8. Pesaje de muestra de suelo agrícola.



Fotografía 9. Muestras de suelo listas para llevar a laboratorio.



Fotografía 10. Recepción de muestras de suelo en laboratorio.

#### Apéndice 4

##### *Fotografías del análisis en laboratorio*



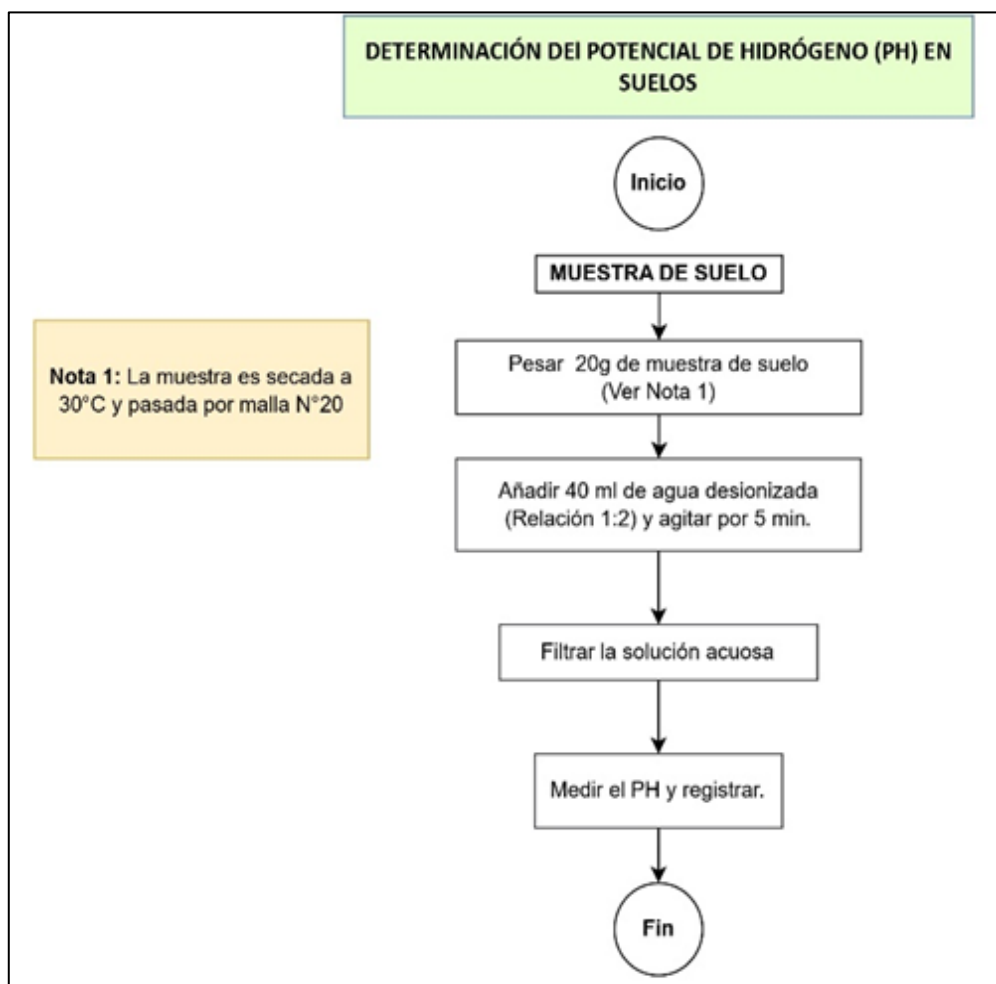
Fotografía 11. Determinación de arsénico realizado en laboratorio



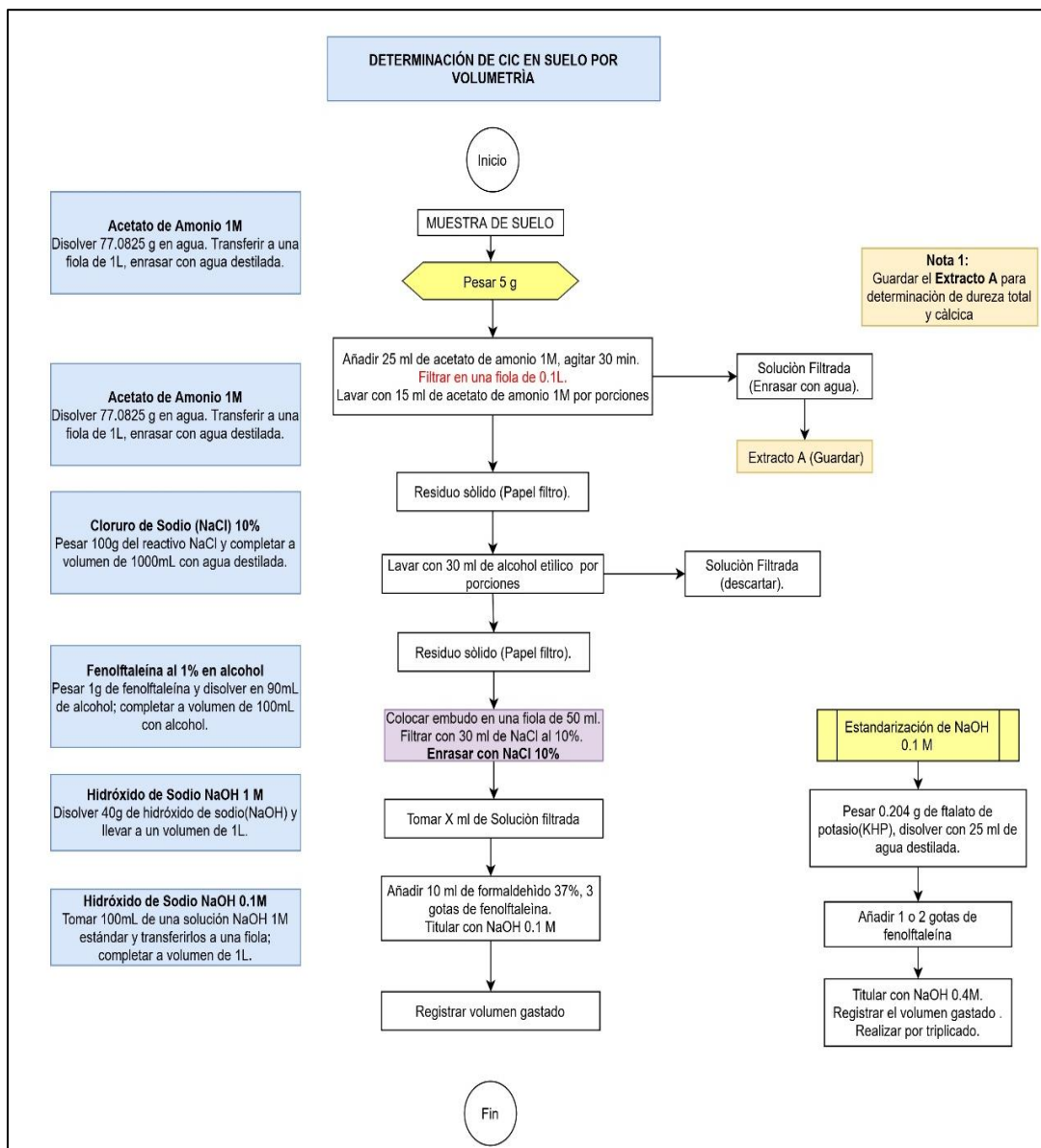
Fotografía 12. Determinación de plomo realizado en laboratorio

## Apéndice 5

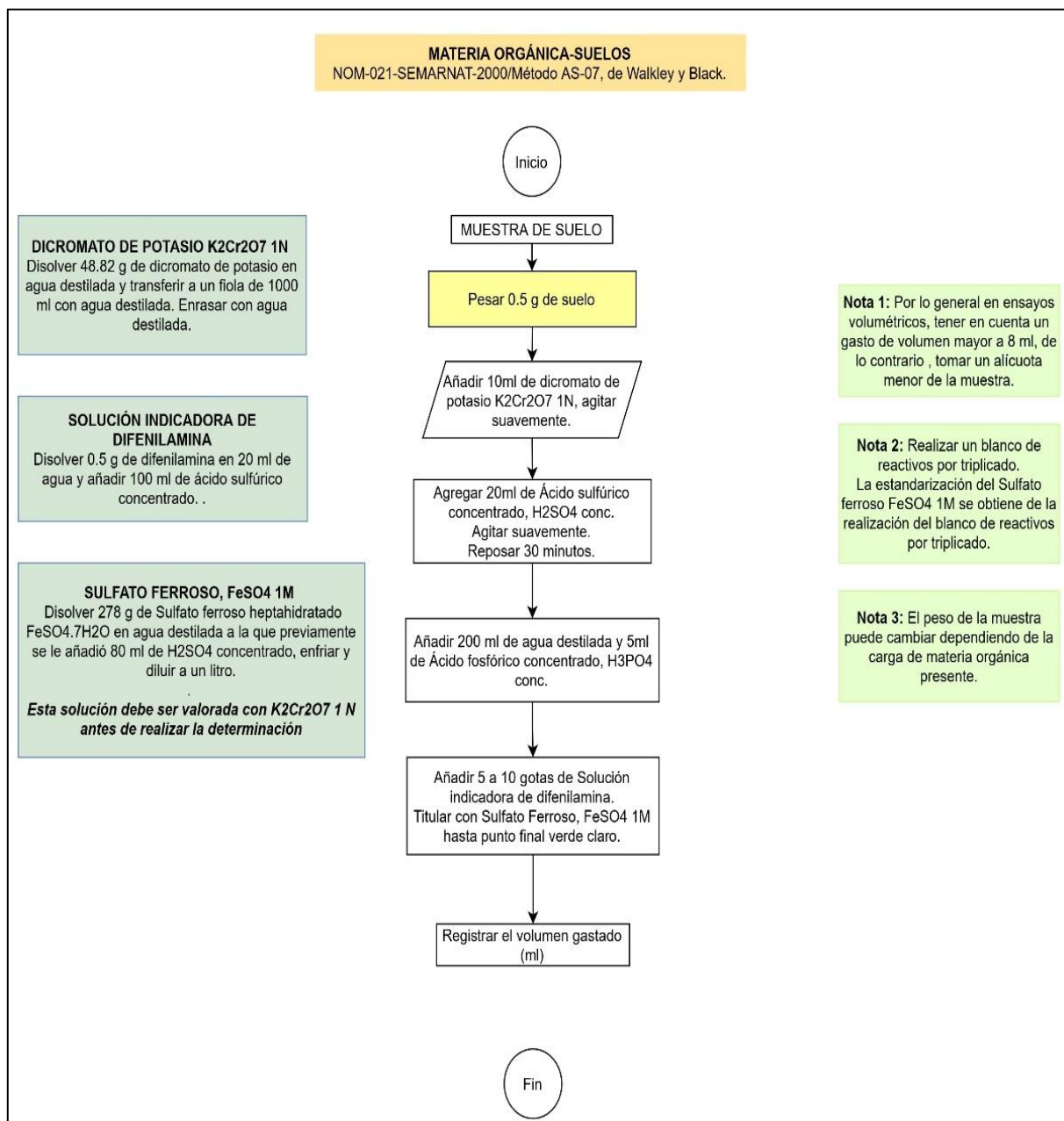
### Flujograma del procedimiento de análisis para los parámetros del suelo



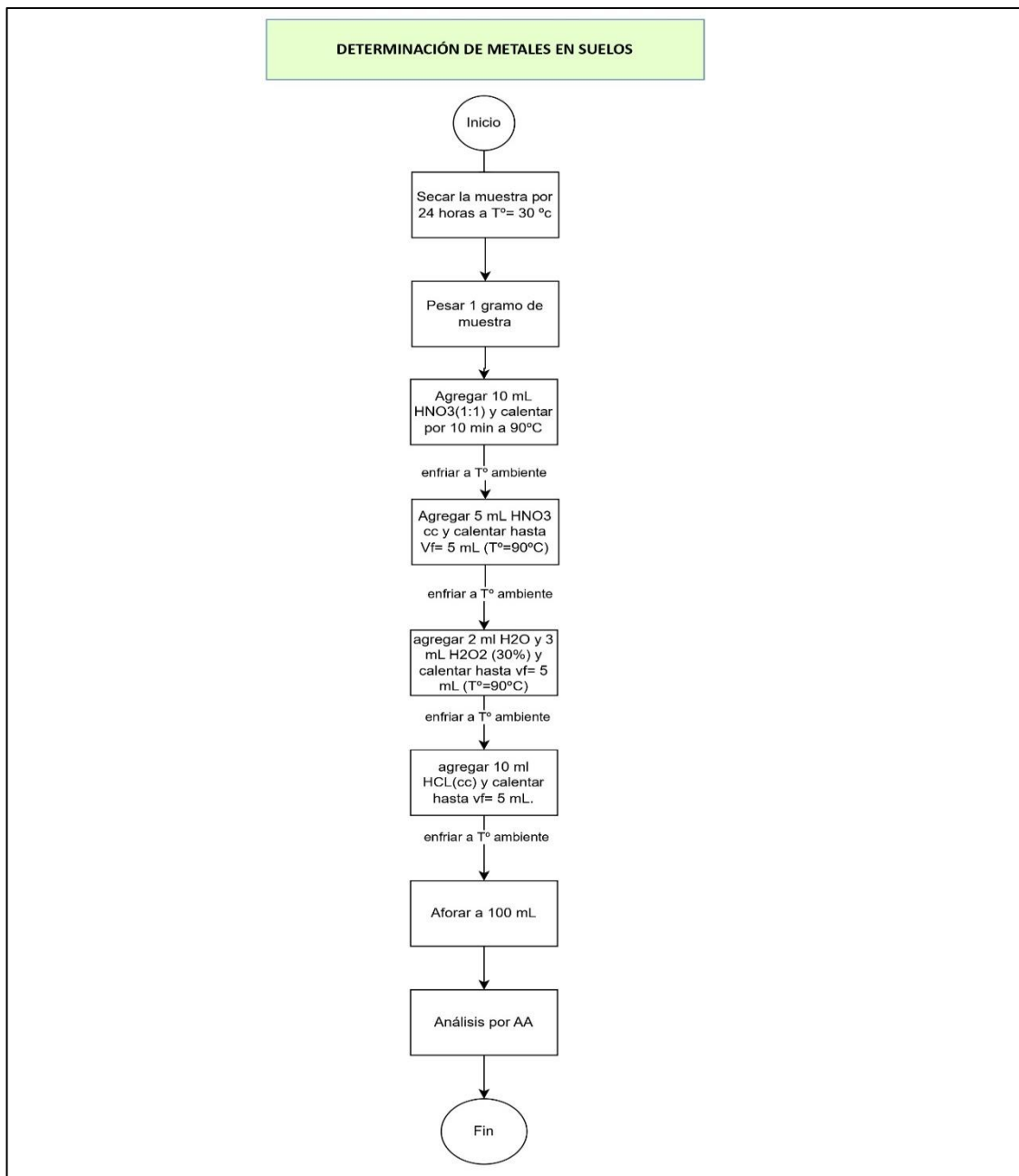
Flujograma 1. Determinación del pH en suelos.



Flujograma 2. Determinación de CIC en suelos.



Flujograma 3. Determinación de Materia Orgánica en suelos.



Flujograma 4. Determinación de metales pesados en suelos.