

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES



Tesis

**Plaguicidas y su relación en la calidad de suelo en el Anexo San Juan de Dios ,distrito
de Curahuasi, Apurímac, 2025**

Asesor:

Mg. Pimentel Maldonado, Waldir

Autor:

Huamanñahui Ochoa, Yessenia

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental

Abancay- Apurímac - Perú

2026

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

Acta N°: 041

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 15 días del mes de mayo del 2026, siendo las 11:00 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 087-2026-UTEA-FI-EPIARN de fecha 27 de abril del 2026 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Milagros Carolina Vargas Amiquero
Dictaminante :	Mg. Vanesa Salas Peña
Replicante :	Mg. Ramos Ascue, Juan Diego

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: "Plaguicidas y su relación en la calidad de suelo en el Anexo San Juan de Dios, distrito de Curahuasi, Apurímac, 2025".

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Huamanñahui Ochoa Yessenia
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Huamanñahui Ochoa, Yessenia	Aprobado

Siendo la 1:00 p.m. horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente : Mg. Vargas Amiquero, Milagros Carolina
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Dictaminante: Mg. Salas Peña, Vanesa
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Replicante : Mg. Ramos Ascue, Juan Diego
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- » Texto citado
- » Texto mencionado
- » Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Huamanñahui Ochoa Yessenia
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	74282278
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0001-8529-257X
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Pimentel Maldonado Waldir
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	31042545
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0003-1732-8427
Datos de la investigación		
Facultad	:	Facultad de Ingeniería
Escuela Profesional	:	Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2025- 2026
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	18% Similitud general
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

En primer lugar a Dios, a mis padres Edgar Huamanñahui Ticona y Sonia Ochoa Campana, raíces profundas de mi existencia, cuyo amor silencioso y apoyo moral tejieron los hilos de mi perseverancia.

A los Magíster Waldir Pimentel Maldonado y Vanessa Salas Peña , faros de sabiduría que iluminaron los senderos de mi indagación científica.

A José, cuyo apoyo moral constante impulsó cada página de esta tesis.

Con gratitud infinita, dedico este trabajo a su legado indeleble en mi vida.

Yessenia Huamanñahui Ochoa

Agradecimientos

Reconozco con el alma abierta el amor inquebrantable de mis padres, cuyo apoyo moral fue el ancla en las tormentas de esta investigación, recordándome siempre el valor de los sueños compartidos.

Expreso mi admiración y gratitud profunda a los Magíster Waldir Pimentel Maldonado y Vanessa Salas Peña , maestros excepcionales cuya visión pedagógica, paciencia rigurosa y fe en mi capacidad elevaron este proyecto a su máxima expresión académica.

A José, por su apoyo moral firme que sostuvo este trabajo en momentos clave.

Su huella perdura en estas páginas.

Yessenia Huamanñahui Ochoa

Resumen

El presente estudio evaluó la relación del uso de plaguicidas con la calidad de los suelos agrícolas del anexo San Juan de Dios, distrito de Curahuasi, región Apurímac, durante el año 2025. La investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque mixto que combinó métodos cuantitativos y cualitativos, incluyendo el análisis de cuatro muestras representativas de suelo y la aplicación de 67 encuestas a agricultores locales. Los resultados evidenciaron la presencia de metales pesados con valores de arsénico (3.36 mg/kg) y plomo (5.186 mg/kg), los cuales, aunque se mantienen dentro de los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Suelos (ECA-Perú), muestran una tendencia acumulativa preocupante. En cuanto a normas internacionales, el valor de arsénico reportado sobrepasa algunos LMP establecidos por agencias como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), que fija un límite de aproximadamente 0.39 mg/kg. Asimismo, se registraron alteraciones en los parámetros fisicoquímicos, destacando un pH alcalino (7.85), una conductividad eléctrica elevada (0.81 mmhos/cm) y una densidad aparente alta (1.525 g/cm³), indicadores que reflejan modificaciones en la estructura y composición del suelo. Se identificó que el 79.1% de los agricultores emplea plaguicidas de alta toxicidad (clase roja y amarilla) con frecuencias de aplicación quincenal (38.8%) y semanal (14.9%), lo que incrementa el riesgo de degradación edáfica. Además, el 71.7% manifestó que sus tierras están perdiendo fertilidad. En conjunto, los resultados confirman que el uso intensivo y sin control técnico de plaguicidas está afectando la sostenibilidad del suelo agrícola en Curahuasi.

Palabras clave: *Plaguicidas, calidad del suelo, metales pesados, conductividad eléctrica*

Abstract

This study evaluated the impact of pesticide use on the quality of agricultural soils in the San Juan de Dios annex, Curahuasi district, Apurímac region, during the year 2025. The research was applied in nature, with a mixed approach combining quantitative and qualitative methods, including the analysis of three representative soil samples and the application of 67 surveys to local farmers. The results showed the presence of heavy metals with values of arsenic (3.36 mg/kg) and lead (5.186 mg/kg), which, although within the limits established by the Environmental Quality Standard for Soils (ECA-Peru), show a worrying cumulative trend. Alterations in physicochemical parameters were also recorded, notably an alkaline pH (7.85), high electrical conductivity (0.81 mmhos/cm) and high bulk density (1.525 g/cm³), indicators that reflect changes in soil structure and composition.

It was found that 79.1% of farmers use highly toxic pesticides (red and yellow class) with biweekly (38.8%) and weekly (14.9%) application frequencies, which increases the risk of soil degradation. In addition, 71.7% stated that their land is losing fertility. Overall, the results confirm that the intensive and uncontrolled use of pesticides is affecting the sustainability of agricultural soil in Curahuasi.

Key words: Pesticides, soil quality, heavy metals, electrical conductivity

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiv
Índice de anexo.....	xvi
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema.....	20
2.1. Descripción y Formulación del Problema	20
2.2. Objetivos.....	24
2.2.1. Objetivo General.....	24
2.2.2. Objetivos Específicos	25
2.3. Justificación y Delimitación	25
2.4. Hipótesis	29
2.4.1. Hipótesis General	29
2.4.2. Hipótesis Específica	29
2.5. Variables	29

2.6. Operacionalización de variables	30
III. Marco teórico.....	31
3.1. Antecedentes.....	31
3.1.1. A Nivel Internacional.....	31
3.1.2. A Nivel Nacional	33
3.1.3. A Nivel Regional y Local	36
3.2. Bases teóricas	38
3.2.1. Plaguicidas.....	38
3.2.2. Tipos de Plaguicidas	48
3.2.3. Efectos de los Plaguicidas en el Medio Ambiente.....	50
3.2.4. Residuos de Plaguicidas	52
3.2.5. Alternativas para Sustituir los Plaguicidas	54
3.2.6. Dimensiones de la Variable Plaguicidas	55
3.2.7. Calidad del Suelo.....	61
3.2.8. Dimensiones de la Variable Calidad del Suelo	67
3.2.9. Normativa Ambiental sobre el uso de Plaguicidas	68
3.2.10. Mecanismos de Acción de los Plaguicidas	69
3.3. Definición de Términos	69
IV. Metodología	73
4.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	73
4.2. Ámbito Temporal y Espacial	74
4.3. Población y Muestra	75

4.3.3. Tipo de muestreo	77
4.4. Instrumentos	78
4.5. Procedimientos	78
4.6. Análisis de Datos	79
4.7. Consideraciones Éticas	80
V. Resultados y discusión	81
5.1. Análisis Fisicoquímico	81
5.2. Resultados de las Encuestas a los Pobladores	95
5.3. Respuesta para cada Hipótesis.....	117
5.3.1. Respuesta para la hipótesis específica 1	117
5.3.2. Respuesta para la hipótesis específica 2	118
5.3.3. Respuesta para la hipótesis específica 3	119
5.3.4. Respuesta para la hipótesis general	120
5.4. Discusión	121
VI. Conclusiones	125
VII. Recomendaciones.....	127
VIII. Referencias	129
IX. Anexos	141

Índice de tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables	30
Tabla 2	Clasificación de los plaguicidas según sus toxicidades	47
Tabla 3	Concentraciones permisibles (suelo industrial, mg/kg)	48
Tabla 4	Clasificación de grupos químicos de insecticidas, fungicidas y herbicidas según su modo de acción.....	49
Tabla 5	Clasificación de los rangos de pH del suelo	66
Tabla 6	Estadísticas de fiabilidad.....	81
Tabla 7	Resultados de pH en las muestras estudiadas	81
Tabla 8	Resultados de la conductividad eléctrica en las muestras estudiadas	82
Tabla 9	Resultados de la materia orgánica en las muestras estudiadas.....	83
Tabla 10	Resultados de nitrógeno en las muestras estudiadas.....	85
Tabla 11	Resultados del fósforo en las muestras estudiadas.....	86
Tabla 12	Resultados del potasio en las muestras estudiadas	87
Tabla 13	Resultados del carbonato de calcio en las muestras estudiadas	89
Tabla 14	Resultados de la densidad en las muestras estudiadas	90
Tabla 15	Resultados de la porosidad en las muestras estudiadas	91
Tabla 16	Resultados de la textura del suelo en las muestras analizadas.....	92
Tabla 17	Resultados analíticos, metales pesados del suelo	93
Tabla 18	Edad de los pobladores	95
Tabla 19	Grado académico de los pobladores	96
Tabla 20	Principal tipo de riego.....	97
Tabla 21	Principales cultivos en el anexo San Juan de Dios	98
Tabla 22	Principales cultivos en el anexo San Juan de Dios	98
Tabla 23	Resultados de los plaguicidas utilizados considerados insecticidas	99

Tabla 24 Resultados de los plaguicidas utilizados considerados herbicidas	101
Tabla 25 Resultados de los plaguicidas utilizados considerados fungicidas y otros	102
Tabla 26 Reconocimiento de la etiqueta de color en los plaguicidas antes de su aplicación en la parcela	103
Tabla 27 Color de etiqueta de plaguicidas utilizado con mayor frecuencia en la parcela	104
Tabla 28 Recepción de asistencia técnica (capacitaciones) sobre el uso y manejo de plaguicidas.....	105
Tabla 29 Frecuencia de aplicación de plaguicida	106
Tabla 30 Percepción de la presencia de residuos de plaguicidas en el suelo o fuentes cercanas	107
Tabla 31 Ocurrencia de problemas de salud posteriores a la aplicación de plaguicidas en el ámbito familiar	108
Tabla 32 Uso de equipo de protección personal durante la aplicación de plaguicidas....	109
Tabla 33 Percepción de cambios en el suelo posteriores al uso de plaguicidas.....	110
Tabla 34 Percepción del efecto del uso de plaguicidas sobre la calidad del suelo en la parcela	111
Tabla 35 Percepción de cambios en los cultivos posteriores a la aplicación de plaguicidas	112
Tabla 36 Percepción de la mejora en la calidad de los cultivos asociada al uso de plaguicidas	113
Tabla 37 Percepción del efecto negativo del uso de plaguicidas en los cultivos.....	114
Tabla 38 Percepción de los precios de los productos agrícolas en el mercado.....	115
Tabla 39 Percepción de los consumidores sobre los productos agrícolas.....	116

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación del área de estudio	28
Figura 2 Clasificación de plaguicidas según su composición química	39
Figura 3 Distribución de los plaguicidas en los sistemas bióticos	46
Figura 4 <i>Introducción de los plaguicidas a la cadena alimenticia</i>	51
Figura 5 Posibles tendencias de la evaluación de la calidad del suelo	63
Figura 6 Clasificación de los rangos del pH del suelo	66
Figura 8 Resultados de pH en comparación con el límite máximo permisible	82
Figura 9 Resultados de la conductividad eléctrica en comparación con el límite permisible	83
Figura 10 Resultados del efecto de agroquímicos pesticidas sobre la materia orgánica... ..	84
Figura 11 Resultados del efecto de plaguicidas sobre el nitrógeno del suelo	85
Figura 12 Contenido de fósforo en el suelo frente al valor de referencia para calidad del suelo.....	86
Figura 13 Potasio disponible (K_2O) en suelos con uso de plaguicidas	88
Figura 14 Presencia de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en parcelas agrícolas con plaguicidas	89
Figura 15 Efecto del uso de plaguicidas sobre la densidad aparente del suelo	90
Figura 16 Efecto del uso de plaguicidas sobre la porosidad total del suelo	91
Figura 17 Edad de los pobladores	95
Figura 18 Grado académico de los pobladores.....	96
Figura 19 Principal tipo de riego	97
Figura 20 Reconocimiento de la etiqueta de color en los plaguicidas antes de su aplicación en la parcela.....	103
Figura 21 Color de etiqueta de plaguicidas utilizado con mayor frecuencia	104

Figura 22	Recepción de asistencia técnica sobre el uso y manejo de plaguicidas	105
Figura 23	Frecuencia de aplicación de plaguicida	106
Figura 24	Presencia percibida de residuos de plaguicidas en el suelo o fuentes cercana	107
Figura 25	Problemas de salud posteriores a la aplicación de plaguicidas en el ámbito familiar	108
Figura 26	Uso de equipo de protección personal en la aplicación de plaguicidas	109
Figura 27	Cambios percibidos en el suelo posteriores al uso de plaguicidas.....	110
Figura 28	Efecto percibido del uso de plaguicidas sobre la calidad del suelo en la parcela	111
Figura 29	Cambios percibidos en los cultivos posteriores a la aplicación de plaguicidas	112
Figura 30	Mejora percibida en la calidad de los cultivos asociada al uso de plaguicidas	113
Figura 31	Efecto negativo percibido del uso de plaguicidas en los cultivos.....	114
Figura 32	Precios percibidos de los productos agrícolas en el mercado	115
Figura 33	Percepción percibida de los consumidores sobre los productos agrícolas.....	116

Índice de Anexos

Anexo 1. Matriz de consistência	142
Anexo 2. Validación de instrumentos.....	143
Anexo 3. Solicitud de autorización	146
Anexo 4. Análisis químico	148
Anexo 5. Certificación del laboratorio	152
Anexo 6. Resultados de laboratorio	153
Anexo 7. Padrón de agricultores	168

I. Introducción

El suelo constituye uno de los recursos naturales más valiosos para la vida y el desarrollo humano, pues de su equilibrio dependen la producción de alimentos, la conservación de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades rurales. Sin embargo, en las últimas décadas este recurso se ha visto afectado por el uso intensivo de plaguicidas, práctica que, aunque busca controlar plagas y mejorar el rendimiento agrícola, también ha generado resultados negativos sobre la calidad y salud del suelo. En regiones andinas como Apurímac, donde la agricultura familiar es la principal fuente de sustento, la aplicación frecuente y sin asesoramiento técnico de estos productos se ha convertido en un problema ambiental y social creciente.

El anexo San Juan de Dios, perteneciente al distrito de Curahuasi, no es ajeno a esta realidad. La actividad agrícola, basada en el cultivo de maíz, hortalizas y frutales, depende en gran medida del uso de plaguicidas químicos, muchos de ellos clasificados como altamente peligrosos (clase roja y amarilla). A pesar de los beneficios inmediatos que brindan en la reducción de plagas, su uso continuo ha provocado cambios graduales en las características fisicoquímicas del suelo, tales como el aumento del pH, la acumulación de metales pesados y la disminución de la materia orgánica. Estas alteraciones, aunque a menudo imperceptibles a simple vista, comprometen la fertilidad del suelo y generan un deterioro en la calidad y estructura del suelo, reduciendo su capacidad de recuperación natural, y su aptitud para sostener una agricultura ambientalmente sostenible.

Frente a esta situación, evaluar la relación de plaguicidas con la calidad del suelo no solo permite identificar contaminación, sino también orientar la toma de decisiones en materia de gestión ambiental y uso responsable de agroquímicos. Además, conocer la percepción y las prácticas de los agricultores es fundamental, ya que ellos constituyen los

actores directos del manejo del suelo y pueden desempeñar un papel clave en la prevención de la degradación ambiental.

En este contexto, la presente investigación titulada “Plaguicidas y su relación en la calidad de suelo en el Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025”, tiene como propósito analizar de qué manera el uso intensivo de plaguicidas influye en la calidad del suelo, integrando datos de laboratorio con información obtenida de los propios agricultores. De esta forma, el estudio busca generar evidencia científica y contextualizada que sirva de base para implementar estrategias de manejo sostenible del suelo, promover alternativas agroecológicas y fortalecer las capacidades locales en torno al cuidado de los recursos naturales.

El trabajo se estructura en nueve capítulos que se estructuran de la siguiente manera:

El **capítulo I** contiene la introducción general del estudio, en la que se presenta el contexto del problema, la importancia del tema, los objetivos y la estructura general de la investigación.

El **capítulo II**, denominado *Planteamiento del problema*, incluye la descripción y formulación del problema, los objetivos tanto general y específicos, la justificación, delimitación, hipótesis generales y específicas, así como las variables que orientan el estudio.

El **capítulo III**, referido al *Marco teórico*, aborda los antecedentes a nivel internacional, nacional, regional y local, además de las bases conceptuales sobre los plaguicidas, sus tipos, efectos ambientales, alternativas de manejo, dimensiones de las variables, calidad del suelo, normativa ambiental peruana y mecanismos de acción.

El **capítulo IV** describe la metodología de investigación, detallando el tipo y nivel de estudio, el ámbito temporal y espacial, la población y muestra, los instrumentos, los procedimientos, el análisis de datos y las consideraciones éticas.

El **capítulo V** presenta los resultados y la discusión, donde se exponen los análisis fisicoquímicos del suelo, los resultados de las encuestas aplicadas a los agricultores, la comprobación de hipótesis y la interpretación de los hallazgos en relación con otros estudios.

El **capítulo VI** incluye las conclusiones arribadas a partir del estudio.

El **capítulo VII** expone las recomendaciones orientadas a la conservación y manejo sostenible del suelo agrícola.

El **capítulo VIII** contiene las referencias bibliográficas utilizadas

Finalmente, el **capítulo IX** reúne los anexos correspondientes, como la matriz de consistencia, la validación de instrumentos, las autorizaciones y los análisis químicos de laboratorio.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y Formulación del Problema

El suelo es una formación natural constituida por diferentes capas, conocidas como horizontes, que contienen minerales descompuestos, materia orgánica, aire y agua. Su origen se debe a la interacción de diversos factores como el clima, el tiempo, la topografía, los organismos vivos (incluyendo plantas, animales y humanos) y los materiales de origen, es decir, las rocas y minerales originales. Debido a estos procesos, el suelo adquiere propiedades propias que lo diferencian de su material base, manifestándose en su textura, estructura, color y características químicas, físicas y biológicas. Este recurso es fundamental para el planeta y sus ecosistemas, ya que ofrece ser la base fundamental para el crecimiento de las plantas que alberga la mayoría de los seres vivos, además de desempeñar un papel crucial en numerosos procesos ecológicos, así como señala la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2025).

La contaminación causada por plaguicidas representa una problemática de relevancia mundial, ya que sus desechos afectan cultivos, suelos, fuentes hídricas, biodiversidad y la atmósfera, alterando las cadenas alimentarias y comprometiendo la salud humana. Según la Organización de las Naciones Unidas (2025), el 34% de los suelos agrícolas del planeta están contaminados con residuos de plaguicidas, y el 12% ya presenta niveles tóxicos para la vida microbiana. Esta contaminación puede producirse mediante diversos mecanismos, como bioacumulación, transporte, lluvia, evaporación, escorrentías, filtración y lixiviación. En el mercado existen más de 80,000 productos, pero solo un 15% de ellos han sido evaluados para conocer sus efectos específicos en comunidades vulnerables expuestas directamente a ellos.

A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) estima que cada año ocurren aproximadamente 3 millones de intoxicaciones agudas por plaguicidas,

resultando en alrededor de 220,000 muertes, principalmente en países en desarrollo. Un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) señala que el 40% de los suelos cultivables en Asia y África tienen residuos de plaguicidas que exceden los límites seguros, mientras que en América Latina este porcentaje alcanza el 28%. Además, la exposición crónica a estos químicos se ha vinculado con trastornos neurológicos, cánceres y problemas reproductivos, afectando especialmente a trabajadores agrícolas y poblaciones rurales. En este contexto, el uso de plaguicidas se ha convertido en un factor determinante de la productividad agrícola, pero también en una fuente importante de contaminación del suelo y riesgos para la salud pública.

En Latinoamérica, el uso intensivo de plaguicidas sintéticos se ha arraigado como práctica común para controlar plagas, asegurar rendimientos y sostener la actividad agroexportadora, aunque esto incrementa el riesgo de degradación del suelo (Rojas et al., 2020). Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2022), en Costa Rica se reportaron anualmente más de 150,000 casos de intoxicación por plaguicidas, con una alta incidencia en zonas agrícolas vulnerables. Estudios en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2024) en Ecuador y Perú encontraron que el 52% de los suelos analizados en zonas de monocultivo contenían residuos de al menos dos plaguicidas prohibidos en otros países.

En el Perú, la situación no es ajena a esta realidad, de acuerdo a Gómez B. (2023) citado por el autor Hilal y Baskut (2017), la persistencia de plaguicidas en los suelos puede permanecer durante décadas, ocasionando alteraciones fisicoquímicas que deterioran la productividad y la biodiversidad asociada. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2025) reveló que el 38% de los suelos agrícolas en la costa peruana superan los límites permisibles de residuos de plaguicidas, mientras que en la sierra este problema afecta al 21% de las tierras cultivadas. Aunado a ello, (Delgado et al., 2018) advierten que el uso de

agroquímicos no autorizados se ha vuelto frecuente, elevando el potencial de toxicidad y dificultando aún más el control de la calidad de los suelos en zonas agrícolas.

Según el Ministerio de Salud del Perú (MINSA, 2022) citado por Cruz (2017), se registran aproximadamente 5,000 casos anuales de intoxicación por plaguicidas, siendo los niños y trabajadores agrícolas los grupos más afectados, lo cual se ve reflejado en la limitada regulación y fiscalización de productos fitosanitarios que, al no aplicarse con criterios técnicos, terminan afectando la fertilidad natural del suelo y propiciando un círculo vicioso de dependencia química.

En regiones andinas del país como Apurímac, la problemática adquiere matices particulares por las condiciones de altitud y la fragilidad de los ecosistemas de montaña, tal como describe (Jiménez C. , 2022), en ciertos distritos con agricultura intensiva, la constante aplicación de organoclorados y organofosforados puede reducir la permeabilidad del suelo y alterar su pH, además de disminuir la materia orgánica y la actividad de microorganismos benéficos. Estos microorganismos, al verse afectados, dejan de cumplir funciones cruciales como la mineralización de nutrientes y la preservación de la estructura edáfica. Como consecuencia, se observan suelos empobrecidos en nutrientes y con menor capacidad de retenerlos, lo que repercute negativamente en la productividad a largo plazo y en la resiliencia del agroecosistema frente a plagas o cambios ambientales (Gomez, 2023).

En el anexo San Juan de Dios, Curahuasi, Apurímac, la agricultura constituye el sustento económico de la mayoría de los hogares, con más del 80% de la población dedicada a actividades agrícolas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2025). En este contexto, el uso de plaguicidas sintéticos se ha vuelto una práctica común e indispensable para el control de plagas y la obtención de rendimientos aceptables. Sin embargo, la deficiente y escasa capacitación adecuada, así como el limitado acceso a información técnica han generado un manejo deficiente de estos productos, evidenciado en la ausencia

generalizada del uso de equipos de protección personal (EPP) durante la aplicación, con solo un 18% de agricultores que reportan utilizarlos regularmente. Esta situación incrementa la vulnerabilidad de la población a intoxicaciones, aunque la mayoría de los casos no se reportan formalmente debido al déficit de sistemas de vigilancia y atención médica especializada.

Históricamente, en Curahuasi predominaba el cultivo de anís, sin embargo, en la última década, se ha producido un cambio hacia el cultivo de maíz, motivado por su mayor resistencia a plagas y su mejor rentabilidad económica. Este cambio en los cultivos ha conllevado un aumento en la periodicidad y cantidad de aplicación de productos agroquímicos, lo cual, según observaciones preliminares, podría estar provocando un abuso de químicos y una dependencia creciente de estos insumos. Además, se pudo evidenciar que los agricultores aplican dosis que suelen superar las recomendaciones técnicas en hasta un 40%, y que la recurrencia de aplicaciones es alta, con intervalos cortos entre tratamientos para intentar controlar plagas cada vez más resistentes.

Estas prácticas, junto con la deficiente gestión de residuos y envases de plaguicidas, podrían estar contribuyendo a la acumulación de sustancias tóxicas en el suelo, afectando su fertilidad y poniendo en riesgo la sostenibilidad agrícola ambiental, la evidencia y las observaciones de campo sugieren alteraciones en las atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, tales como pérdida de materia orgánica, disminución de la biodiversidad microbiana y cambios en la estructura del suelo. Esta situación podría estar vinculada a la reducción progresiva del potencial productivo de las tierras agrícolas en San Juan de Dios, lo que daña directamente el ecosistema edáfico y el sustento de las familias campesinas.

Además, no contamos con reportes oficiales sobre intoxicaciones por plaguicidas y ello no implica la ausencia de casos adversos en la salud de la comunidad, sino más bien la invisibilizarían del problema debido a la carencia de mecanismos adecuados de monitoreo y

registro. La exposición crónica a estas sustancias, sumada a la deficiente protección durante su manejo, representa un riesgo latente para los agricultores y sus familias, y por ende al medio ambiente.

En este sentido, se hace imprescindible realizar un diagnóstico riguroso que permita evaluar la relación de los plaguicidas con las dimensiones física, química y biológica del recurso suelo y tipos de plaguicidas presentes en los suelos de San Juan de Dios. Este diagnóstico debe considerar variables como la frecuencia y dosis de aplicación, el tipo de plaguicidas utilizados, el uso de EPP, y las prácticas de manejo de residuos, para comprender en qué medida estas variables inciden en la degradación del suelo y la salud de la comunidad.

a. Problema general

- ¿Cuál es la relación del uso de plaguicidas en la calidad de suelo en el Anexo de San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025?

b. Problemas específicos

- ¿Cómo la composición química de los plaguicidas influye en la calidad del suelo en el anexo de San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025?
- ¿Qué relación existe entre la concentración de plaguicidas y la contaminación del suelo del anexo de San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025?
- ¿Cuál es el efecto de los plaguicidas en la calidad del suelo en el anexo de San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Determinar de qué manera los plaguicidas se relacionan con la calidad de suelo en el Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025.

2.2.2. *Objetivos Específicos*

- Analizar la influencia de la composición química de los plaguicidas en la calidad del suelo en el Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025.
- Evaluar la relación entre la concentración de plaguicidas y la alteración de la calidad del suelo en el Anexo San Juan de Dios, distrito de Curahuasi, Apurímac, 2025.
- Determinar cuál es el efecto de los plaguicidas en la calidad del suelo en el Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025.

2.3. Justificación y Delimitación

La investigación se justifica socialmente debido al uso intensivo de plaguicidas tiene sobre la salud y el bienestar de los hogares agricultoras del anexo San Juan de Dios, Curahuasi. La exposición constante a químicos que son tóxicos, sin el uso adecuado de equipos de protección, incrementa el riesgo de intoxicaciones, afectando en gran parte a niños y mujeres, quienes representan la población más vulnerable a enfermedades como la anemia, enfermedades respiratorias, enfermedades diarreicas agudas (EDA) e insuficiencia renal crónica (ERC). Por último, esta contaminación también compromete la seguridad alimentaria ya que la calidad de los cultivos disminuye por el uso de los plaguicidas.

Desde una perspectiva ambiental, los plaguicidas aplicados en la agricultura convencional de la zona representan una fuente significativa de contaminación que deteriora la calidad del suelo y la biodiversidad edáfica. La acumulación de residuos tóxicos y el cambio en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo pueden conducir a su degradación progresiva, disminuyendo su capacidad productiva y afectando los ecosistemas locales.

Para abordar esta problemática, desde un enfoque técnico, la investigación se fundamentó en la recolección y análisis riguroso de muestras de suelo tomadas al azar en diferentes parcelas del anexo San Juan de Dios, siguiendo el Manual de Muestreo de Suelos recomendado por el Ministerio del Ambiente y SENASA. Los análisis de laboratorio permitieron determinar la concentración y tipos de plaguicidas presentes, así como evaluar sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Este enfoque metodológico garantizó resultados precisos y confiables que funcionaron como fundamento para diseñar estrategias de gestión sostenible y para el progreso de políticas públicas orientadas a la protección del recurso suelo.

Finalmente, desde la perspectiva económica, la degradación del terreno causada por el uso indiscriminado de plaguicidas puede traducirse en una reducción significativa de la productividad agrícola, afectando directamente los ingresos y la estabilidad económica de las familias campesinas del anexo San Juan de Dios. El deterioro de la fertilidad del suelo obliga a incrementar la aplicación de insumos químicos, resultando en mayores costos de producción y generando un círculo vicioso de dependencia y gasto creciente en agroquímicos. Por ello, esta investigación busca aportar soluciones que permitan optimizar el uso de plaguicidas, reducir costos y mejorar la rentabilidad agrícola a mediano plazo, garantizando la sostenibilidad económica del sector agropecuario local.

2.3.1. Delimitación Temporal

El análisis se desarrolló a lo largo de un año, desde enero hasta diciembre de 2025. Durante este tiempo, se desarrollaron diversas fases del proyecto, que incluyen la recolección de muestras de suelo, la evaluación de la contaminación por plaguicidas y el análisis de sus efectos en el ambiente local. Este tiempo permitió obtener datos representativos de las variaciones en la concentración de plaguicidas en distintas épocas del año, lo que facilitó establecer correlaciones entre las variables estudiadas.

En este periodo, se planificó y ejecutó actividades de campo y de laboratorio, permitiendo determinar y analizar los parámetros básicos del suelo, de los plaguicidas en el suelo del anexo San Juan de Dios. Las actividades estuvieron organizadas de manera que se pueda obtener información confiable y suficiente para realizar un análisis correlacional entre las variables de estudio.

2.3.2. Delimitación Espacial

El espacio geográfico de esta investigación estuvo enfocado en la zona agrícola del anexo San Juan de Dios, situado en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, Perú, esta área se distingue por el uso intensivo de plaguicidas en sus prácticas agrícolas, lo que la convierte en un escenario idóneo para analizar cómo estos productos afectan la calidad del suelo. Las muestras se tomaron en tres puntos representativos a lo largo del área de estudio, asegurando la cobertura de las distintas zonas agrícolas que puedan estar expuestas a diferentes niveles de contaminación por plaguicidas.

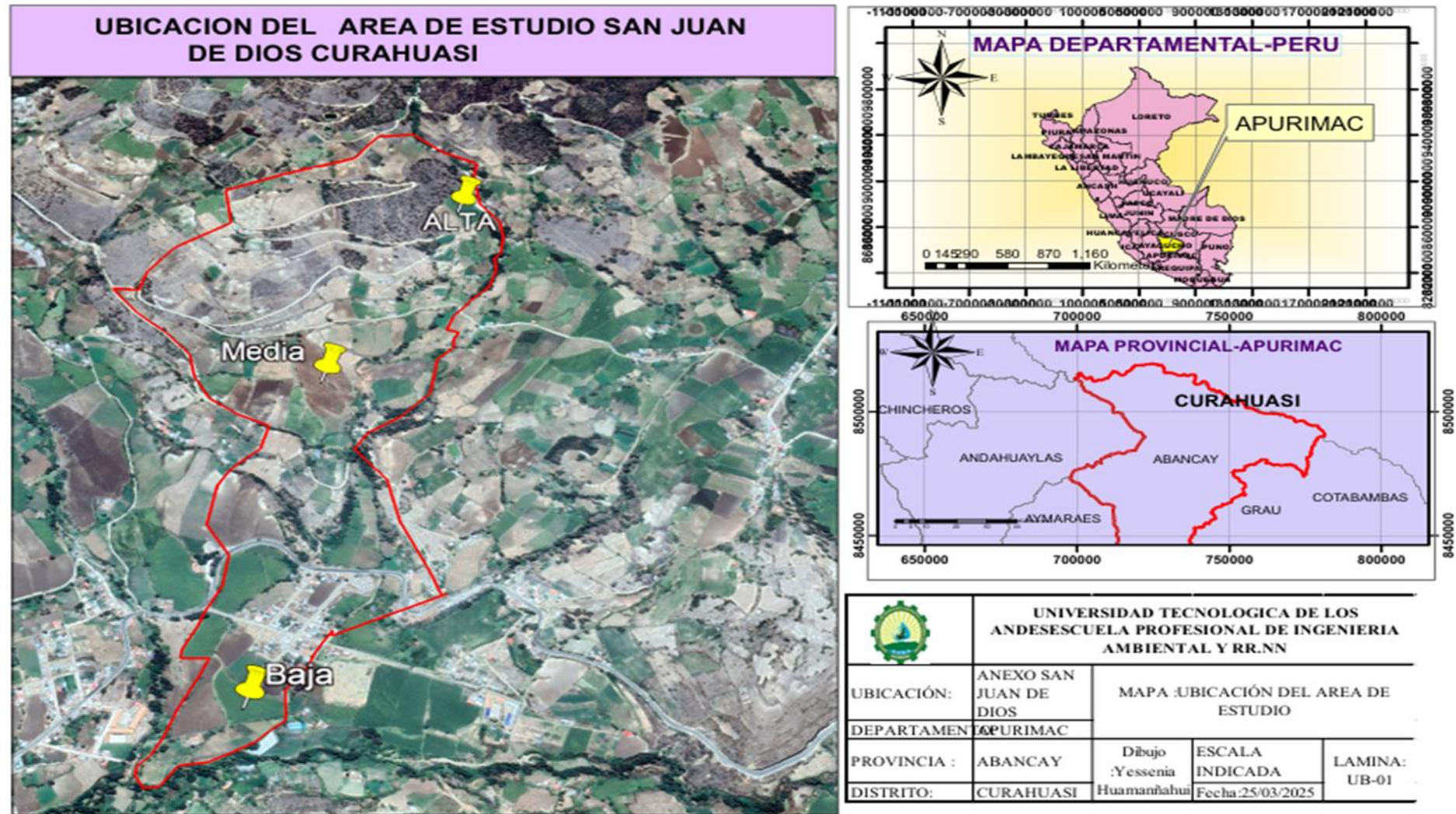
Ubicación política administrativa:

Región: Apurímac

Provincia: Abancay

Distrito: Curahuasi

Zona de estudio: Anexo San Juan de Dios

Figura 1*Ubicación del área de estudio**Elaborado:* Yessenia Huamanñahui Ochoa, 2025

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Los plaguicidas se relacionan de forma significativa con la calidad del suelo en el Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025.

2.4.2. Hipótesis Específica

- La composición química de los plaguicidas influye significativamente en la calidad del suelo del Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025..
- La concentración de plaguicidas influye significativamente en la contaminación del suelo del Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025.
- Los plaguicidas influyen negativamente en la calidad del suelo del Anexo San Juan de Dios, distrito Curahuasi, Apurímac, 2025.

2.5. Variables

Variable independiente:

- Plaguicidas

Variable dependiente:

- Calidad del suelo

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

“Plaguicidas y su relación en la calidad del suelo en el Anexo de San Juan de Dios ,distrito de Curahuasi, Apurímac, 2025”					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VI: Plaguicidas	Según Gomero (2020), los plaguicidas son sustancias químicas o biológicas empleadas para el control de plagas en la agricultura, la salud y el ambiente. No obstante, su uso indiscriminado puede afectar los ecosistemas y la salud humana, por lo que se sugieren alternativas sostenibles como el manejo integrado de plagas y la agroecología (p. 12).	La variable plaguicida se midió mediante un cuestionario de elaboración propia, aplicado a los productores del sector de estudio, el cual permitió recoger información sobre la frecuencia de uso, tipo, cantidad empleada y manejo de plaguicidas en la producción agrícola.	Composición química de los plaguicidas	Tipo de plaguicidas utilizados (herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.)	Ordinal y nominal
				Concentración de compuestos tóxicos en los plaguicidas aplicados	
				Presencia de residuos de plaguicidas en suelos agrícolas	
			Nivel de concentración de los plaguicidas	Cantidad de plaguicidas aplicados por hectárea	
				Frecuencia de aplicación en el ciclo agrícola	
				Observación de residuos de plaguicidas en el suelo	
			Efecto de los plaguicidas	Efectos en la salud	
				Efectos en el suelo	
				Efecto en los cultivos	
VD: Calidad del suelo	La calidad del suelo es la capacidad del suelo para cumplir funciones ecológicas como sostener la productividad, mantener la calidad del agua y del aire, y contribuir al bienestar humano, dependiendo de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales pueden variar por acción humana o factores climáticos (USDA Natural Resources Conservation Service, 2020).	La variable calidad del suelo se midió mediante muestreo por conglomerados y análisis de laboratorio, considerando parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como pH, materia orgánica, textura y nutrientes, registrados en una ficha de resultados de laboratorio.	Parámetros físicos	Textura del suelo	% de composición
				Densidad aparente	g/cm ³
				Porosidad del suelo	%
			Parámetros químicos	pH del suelo	Escala de pH (0-14)
				Conductividad eléctrica	mmhos/cm
				Materia orgánica	%
				Plomo, cadmio y cromo	mg/kg
				Fertilidad ($P, K, CaCO_3$)	ppm P_2O_5 y %
			Parámetros biológicos	Nitrógeno total	%

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. *A Nivel Internacional*

Rangel et al. (2023) en su artículo de investigación titulado “Prácticas de manejo de plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México” cuyo objetivo fue identificar las prácticas actuales y percepciones de los habitantes de San Francisco, Purísima del Rincón y Manuel Doblado, Guanajuato, respecto al uso de plaguicidas. La metodología consistió en la aplicación de 69 encuestas realizadas a agricultores, proveedores y representantes institucionales entre septiembre y noviembre de 2021. Los resultados revelaron las sustancias más comunes utilizadas en la región, entre ellas insecticidas como cipermetrina, lambda-cialotrina, clorpirifos, fenvalerato y malatión; y herbicidas como topamezona, 2,4-D, glifosato y paraquat. Estas sustancias fueron calificadas como de poco peligro moderado para la salud humana, pero con un alto riesgo ambiental. En cuanto a las prácticas, se evidencia que casi el 50% de los agricultores sigue las dosis recomendadas, mientras que el 98% reportó utilizar únicamente elementos básicos de protección personal. Además, el 48% de los encuestados manifestó haber sufrido síntomas de toxicidad aguda, como mareos e irritación ocular o cutánea. En conclusión, las prácticas de manejo de plaguicidas en la cuenca del Río Turbio presentan riesgos significativos tanto para la salud humana como para el medio ambiente, reflejando una necesidad urgente de fortalecer las medidas de protección y capacitación en el manejo seguro de estos productos químicos.

Jáquez et al. (2022), en su estudio sobre los impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal en Durango, México, se planteó como objetivo evaluar estos impactos utilizando herramientas como el cociente de impacto y un

sistema contable específico. La metodología incluyó encuestas a productores y técnicos para recopilar datos sobre los plaguicidas utilizados, sus dosis y frecuencia de aplicación.

Los resultados revelaron que los insecticidas tienen un impacto más significativo en comparación con herbicidas y fungicidas. El cultivo del maíz destacó como el de mayor impacto, tanto ambiental como económico, debido a su extensa área de siembra. Las externalidades negativas derivadas del uso de plaguicidas, como afectaciones a consumidores, trabajadores agrícolas y vida acuática, ascienden a aproximadamente MXN \$24 millones anuales. En conclusión, el estudio proporciona una base importante para identificar productos químicos de alto impacto y promover prácticas agrícolas más sostenibles, considerando tanto los costos económicos como las repercusiones ambientales del uso de plaguicidas.

Concha (2021), en su investigación titulada “Estudio del comportamiento ambiental de plaguicidas en Chile mediante estimaciones computacionales” tuvo como objetivo principal identificar aquellos plaguicidas que representan un riesgo significativo para el medio ambiente. Para ello, se desarrolló una base de datos de plaguicidas autorizados por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) y se utilizaron herramientas computacionales como "EPI Suite" para calcular parámetros como tiempos de vida media, bioacumulación y coeficientes de distribución, y "Pov & LRTP Screening Tool" para evaluar su persistencia total y transporte ambiental. Los resultados indicaron que los plaguicidas tienden a distribuirse entre materia orgánica y agua, mostrando alta movilidad en suelos y lixiviaciones hacia aguas subterráneas, junto con valores elevados de bioacumulación, especialmente en medios acuáticos. El análisis permitió identificar 21 plaguicidas prioritarios que, debido a su comportamiento ambiental similar al de los PCB (Contaminantes Orgánicos Persistentes), requieren estudios experimentales más exhaustivos.

En conclusión, el estudio destaca la necesidad de evaluar de manera más detallada estos plaguicidas prioritarios, enfatizando su potencial impacto ambiental y su contribución a la contaminación de suelos y aguas subterráneas, lo que constituye un desafío importante para la gestión ambiental en Chile.

El presente estudio guarda mayor relación con la investigación de Jáquez et al. (2022), debido a que ambos trabajos abordan el impacto de los plaguicidas en suelos agrícolas, considerando tanto las dimensiones ambientales como económicas. En particular, el estudio de Jáquez et al. evalúa los efectos de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa y nogal, analizando la frecuencia y dosis de aplicación, así como las externalidades negativas que afectan la fertilidad del suelo, la salud de los trabajadores y los ecosistemas acuáticos. De manera similar, la presente investigación en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi, se enfoca en determinar cómo el uso intensivo y posiblemente desmedido de plaguicidas altera las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando la productividad agrícola y la sostenibilidad local.

3.1.2. A Nivel Nacional

Lima (2024) en su investigación titulada “Contaminación del suelo agrícola por agroquímicos industriales de la comunidad de Villa Sicata del distrito de Ilave – 2023” tuvo como objetivo el evaluar el nivel de contaminación causada por estos productos industriales. El estudio fue de tipo descriptivo y no experimental, utilizando un enfoque deductivo. La metodología incluyó la selección de cinco parcelas con intervalos diferentes para la recolección de muestras, aplicando la guía de muestreo de suelos contaminados del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. Los resultados revelaron un contenido de materia orgánica inferior al 2%, lo que indica un suelo deteriorado. También se analizaron parámetros como pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, fósforo, potasio y saturación alcalina, encontrándose un alto nivel de contaminación por agroquímicos en los suelos evaluados.

En conclusión, el estudio evidencia la gravedad de la contaminación por agroquímicos en los suelos agrícolas de la comunidad, destacando la necesidad de tomar medidas urgentes para mitigar sus efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente, y proteger la sostenibilidad de los ecosistemas afectados.

Alvarado (2022), en su investigación titulada “Impacto ambiental por efecto del uso de los plaguicidas organofosforados en los suelos agrícolas, provincia de Ica-2020”, presentada en la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, tuvo como objetivo evaluar los efectos negativos de estos productos en el año 2020. La investigación, de tipo descriptivo, se centró en los suelos agrícolas del distrito de Santiago, utilizando una muestra representativa para analizar los efectos de los plaguicidas. Los resultados demostraron que el uso excesivo de plaguicidas organofosforados genera un impacto ambiental significativo, debilitando los suelos debido a su alta vulnerabilidad. Las aplicaciones recurrentes de estos productos provocan alteraciones en las características físico-químicas del suelo, superando los límites permisibles establecidos. Esto tiene consecuencias negativas para la agricultura, ya que los suelos se vuelven más sensibles y menos aptos para el cultivo.

En conclusión, el estudio resalta la importancia de regular y limitar el uso de plaguicidas organofosforados para preservar la calidad del suelo agrícola, reducir los impactos ambientales y garantizar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas en la provincia de Ica.

Álvaro y Cárdenas (2020), en su investigación “Uso de agroquímicos en la producción de papa y su impacto en el suelo, en el Perú: Revisión Sistemática” tuvieron como objetivo determinar los efectos negativos de estos productos en el suelo. Utilizaron una metodología de revisión sistemática con enfoque cualitativo y diseño narrativo para analizar diversos estudios relevantes. Los resultados evidenciaron impactos significativos de los agroquímicos, como la acidificación y erosión del suelo, además de alteraciones en sus

propiedades físicas y químicas. Según los estudios revisados, los efectos de los agroquímicos en el suelo varían entre el 50% y el 95%. Suarez et al. (2014) señalan que cerca del 85% de los plaguicidas aplicados impactan directamente el suelo, entrando en procesos dinámicos de degradación.

En el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), aunque los agroquímicos son necesarios para combatir plagas y enfermedades, su uso debe ser cuidadoso, empleando dosis adecuadas y equipos apropiados. Asimismo, se recomienda reducir gradualmente su aplicación y optar por alternativas orgánicas más sostenibles para equilibrar la productividad agrícola con la conservación ambiental.

En conclusión, la investigación resalta la necesidad de implementar estrategias sostenibles que protejan los suelos agrícolas y minimicen los impactos negativos asociados al uso de agroquímicos.

Castillo et al., (2020), en su artículo de investigación titulada “Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú)” tuvo como objetivo analizar la relación entre la contaminación por plaguicidas en campos de cultivo y sus efectos en el medio ambiente, suelo, agua, aire y plantas. El estudio fue de tipo básico, diseño no experimental, alcance correlacional y enfoque cualitativo. La muestra estuvo compuesta por 80 agricultores, y se utilizó como técnica de recolección de datos una encuesta con un cuestionario estructurado. Los resultados indicaron que el 33,8% de los agricultores percibe la contaminación causada por pesticidas como extremadamente alta, mientras que el 10% identifica esta contaminación como específicamente localizada en los campos de cultivo. Además, se encontró una relación inversa de 0.967 entre la contaminación por plaguicidas y el medio ambiente, indicando un impacto significativo.

El estudio concluyó que el uso excesivo de plaguicidas no solo afecta negativamente al medio ambiente, sino también a la salud humana, resaltando la necesidad de implementar

prácticas agrícolas más sostenibles y regulaciones efectivas para reducir el impacto ambiental de estos productos químicos.

Montes et al. (2023), en su artículo de investigación titulado “Impacto de los plaguicidas sobre la artropofauna asociada al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en Cusco-Perú”, tuvieron como objetivo evaluar el efecto de plaguicidas como fipronil, propineb y un tratamiento convencional en la diversidad de artrópodos asociados al cultivo de papa en Mollepata, Cusco. Usando caídas de caída y revisiones quincenales, identificaron que propineb mostró el mayor número de trampas y afectó significativamente los gremios fitófagos y parasitoides. Los gremios más representativos fueron fitófagos (32,97%) y depredadores (26,37%). Se concluyó que los plaguicidas alteran la composición de la artropofauna, recomendándose estrategias más sostenibles para reducir su impacto en el ecosistema agrícola.

El presente trabajo guarda mayor relación con la investigación de Lima (2024), debido a que ambos estudios abordan la contaminación del suelo agrícola por agroquímicos en comunidades rurales del Perú. Al igual que en la comunidad de Villa Sicata, distrito de Ilave, donde Lima identificó un contenido de materia orgánica inferior al 2% y altos niveles de contaminación por agroquímicos, en el anexo San Juan de Dios se plantea la hipótesis de que el uso frecuente y posiblemente excesivo de plaguicidas está afectando negativamente las propiedades físicas y químicas del suelo. Ambos estudios comparten un enfoque técnico riguroso basado en la recolección y análisis de muestras de suelo siguiendo guías oficiales, lo que permite evaluar con precisión el grado de deterioro del recurso suelo.

3.1.3. A Nivel Regional y Local

Mendoza y Yupanqui (2023), en su investigación “Determinación del grado de contaminación por presencia de plaguicidas en suelos de cultivo de papa en la localidad de Sucaraylla, Andahuaylas” tuvo como objetivo evaluar el grado de contaminación del suelo

por se estudiaron los plaguicidas presentes en cultivos de papa en la localidad de Sucaraylla, situada en el distrito y provincia de Andahuaylas, región Apurímac. Se analizaron doce muestras de suelo para evaluar sus propiedades fisicoquímicas y detectar residuos de plaguicidas mediante Cromatografía de Gases. De manera simultánea, se realizaron encuestas a los agricultores para conocer sus percepciones sobre los impactos negativos de estos productos, las cuales fueron validadas por especialistas utilizando el coeficiente de validez de contenido y evaluadas con el Alfa de Cronbach para asegurar su fiabilidad. Los análisis revelaron la presencia de residuos de Carbofuran, Mancozeb, Carbendazima y Benomilo, destacando una concentración elevada de Carbofuran (0.1 mg/kg), que supera el límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana (0.01 mg/kg), evidenciando contaminación en los suelos estudiados. Además, se encontraron correlaciones significativas entre los plaguicidas y ciertas características del suelo: una relación positiva con la cantidad de arcillas ($r=0.569$) y materia orgánica ($r=0.652$), y una relación negativa con el pH ($r=-0.569$), lo que subraya la influencia de estos factores en la contaminación del suelo por plaguicidas.

El presente trabajo guarda relación con la investigación de Mendoza y Yupanqui (2023), debido a que ambos estudios se centran en la evaluación del grado de contaminación del suelo por plaguicidas en cultivos de papa en la región Apurímac, específicamente en localidades cercanas al anexo San Juan de Dios, Curahuasi. Al igual que en Sucaraylla, donde se detectaron restos de pesticidas tales como carbofurán, mancozeb, carbendazima y benomilo en niveles que exceden los límites máximos permitidos., en San Juan de Dios se plantea la hipótesis de que el uso frecuente y posiblemente excesivo de plaguicidas está afectando negativamente las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. *Plaguicidas*

Los plaguicidas son compuestos químicos o mezclas químicas utilizadas Para gestionar plagas que dañan cultivos o insectos que transmiten enfermedades. Estos productos son elaborados mediante procesos industriales de síntesis química y se han convertido en la principal herramienta para combatir plagas desde la Segunda Guerra Mundial, impulsados por el avance de la industria química y la agricultura dependiente de estos insumos (Karam et al., 2004).

Abordando otra definición, según Badii et al., (2007) citado por Pinto (2017), los plaguicidas son compuestos químicos elaborados para evitar, controlar o eliminar plagas que afectan cultivos, incluyen insecticidas (contra insectos), herbicidas (contra maleza), fungicidas (contra hongos) y otros, utilizados en la agricultura.

Su uso se extiende principalmente a la agricultura, la horticultura, programas en el ámbito de la salud pública, para eliminar vectores transmisores de enfermedades tales como el paludismo, así como en actividades forestales y de producción animal. No obstante, aunque ofrecen beneficios, también presentan riesgos significativos para el medio ambiente y la salud, afectando tanto a los trabajadores expuestos como a la población en general. Tradicionalmente, los efectos adversos más destacados han sido los de tipo agudo, debido a su influencia directa en la morbilidad y mortalidad.

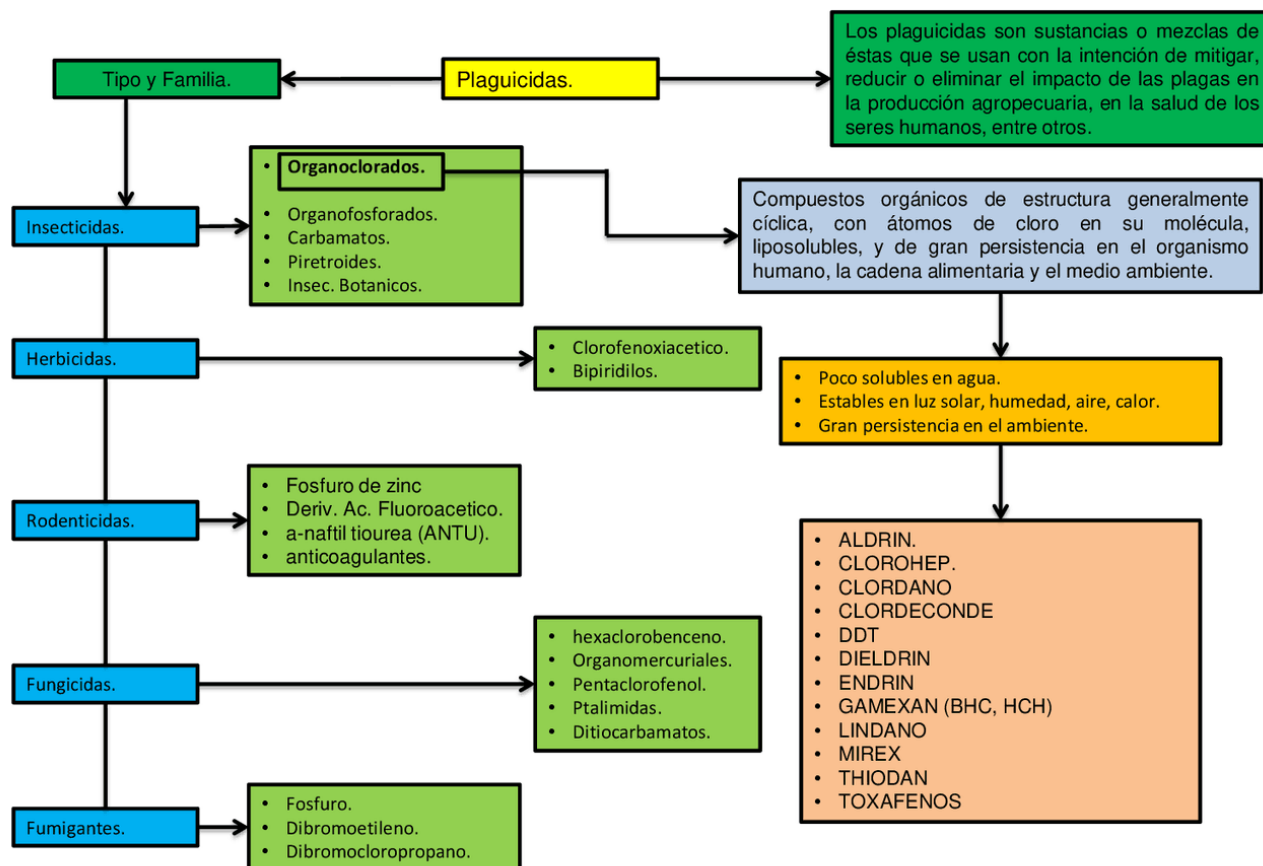
Por su parte, Sánchez y Sánchez (1984) citado por Castillo et al. (2020), coinciden en que los plaguicidas son sustancias químicas utilizadas para combatir y regular plagas y enfermedades que afectan a diversos cultivos. Estos se dividen, según su función biológica, en cuatro categorías principales: (1) insecticidas, (2) herbicidas, (3) fungicidas y (4) rodenticidas, los cuales, a su vez, se clasifican de acuerdo con su nivel de toxicidad. Además, mencionan que existen otros tipos de productos como (i) atrayentes, (ii) repelentes y (iii)

esterilizantes de insectos, los cuales actúan controlando o eliminando las plagas mediante mecanismos específicos.

A continuación, se muestra la clasificación de plaguicidas según su composición química:

Figura 2

Clasificación de plaguicidas según su composición química



Nota. Elaborado por Broca (2020)

A. Insecticidas

Los insecticidas son sustancias químicas diseñadas para eliminar o controlar insectos que afectan cultivos, salud pública o animales. Se clasifican en varias familias químicas según su estructura y modo de acción (Ramírez & Lacasaña, 2001). Entre las más importantes están:

- **Organoclorados:** Como el DDT, son altamente persistentes en el ambiente y tienden a bioacumularse, lo que genera riesgos ambientales y para la salud humana.

- **Organofosforados:** Son menos persistentes que los organoclorados pero muy tóxicos, actúan inhibiendo la acetilcolinesterasa en insectos y mamíferos. Ejemplos incluyen el paratión y el clorpirifos.
- **Carbamatos:** Similar modo de acción a los organofosforados, pero con menor persistencia ambiental. Ejemplo: carbaryl.
- **Piretroides:** Derivados sintéticos de las piretrinas naturales, tienen alta eficacia y menor toxicidad para mamíferos. Ejemplo: permetrina.

Estos insecticidas son ampliamente usados, pero su toxicidad y persistencia varían, lo que afecta su influencia en el medio ambiente y en la salud de las personas.

B. Herbicidas

Los herbicidas se utilizan para controlar malezas que compiten con los cultivos. Actúan inhibiendo procesos fisiológicos vitales en las plantas no deseadas. Entre los herbicidas más comunes se encuentran:

- Los bipiridilos son compuestos químicos constituidos por el enlace entre dos anillos de piridina.
- Los clorofenoxiácidos son compuestos químicos derivados de los ácidos 4-clorofenoxi-acético, 4-clorofenoxi-propiónico o 4-clorofenoxi-butírico. Generalmente, estos compuestos se comercializan como sales, ésteres o aminas. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2025).

C. Rodenticidas

Los rodenticidas son productos químicos utilizados para controlar roedores (ratas, ratones, etc.), que pueden ser plagas agrícolas o urbanas (Franco, 2016). Se divide en varias categorías según su mecanismo de acción:

- **Fósforo de zinc:** Al ser ingerido, reacciona con el ácido gástrico y libera gas fosfina, altamente tóxico para los roedores.

- **Derivados del ácido fluoroacético:** Interfieren con el ciclo de Krebs, provocando la muerte por insuficiencia energética.
- **a-naftil tiourea (ANTU):** Tóxico específico para ratas, provoca edema pulmonar.
- **Anticoagulantes:** Inhiben la vitamina K, impidiendo la coagulación sanguínea y provocando hemorragias internas. Ejemplos: warfarina, bromadiolona.

D. Fungicidas

Los fungicidas son compuestos químicos utilizados para prevenir o erradicar hongos que dañan los cultivos agrícolas (FRAC España, 2019). Existen varios tipos según su composición y modo de acción:

- **Hexaclorobenceno:** Fungicida organoclorado, prohibido en muchos países por su persistencia y toxicidad.
- **Organomercuriales:** Contienen mercurio, usados históricamente en semillas, pero restringidos por su toxicidad ambiental.
- **Pentaclorofenol:** Utilizado en madera y cultivos, es tóxico y persistente.
- **Pftalimidas:** Ejemplo, captan, utilizado en frutas y hortalizas.
- **Ditiocarbamatos:** Amplio espectro, como mancozeb y zineb.

E. Fumigantes

Los fumigantes son plaguicidas en forma gaseosa que se utilizan para desinfectar suelos, granos almacenados y estructuras, eliminando insectos, hongos y roedores. Son altamente volátiles y penetran en espacios cerrados (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016).

- **Fósforo:** Genera gas fosfina al contacto con la humedad, utilizado en silos y almacenes.

- **Dibromoetileno y Dibromocloropropano:** Utilizados en el pasado como fumigantes de suelos, muchos están restringidos por toxicidad y efectos en la salud humana.

3.2.1.1. Contaminación del suelo plaguicidas

De acuerdo con Del Puerto et al. (2014) La polución del suelo puede originarse por aplicaciones directas, como el uso de insecticidas, o de manera indirecta, cuando los residuos de plaguicidas que sobran pueden asentar sobre el suelo o ser arrastrados por el agua de lluvia desde las plantas. Algunos compuestos, tales como los herbicidas, los organofosforados y los carbamatos, se descomponen rápidamente debido a la actividad microbiana, lo que disminuye su tiempo de permanencia en el suelo. No obstante, la acumulación de estos residuos depende del tipo de suelo; aquellos con elevado contenido de arcilla y materia orgánica almacenan más residuos que los suelos arenosos. Los riesgos más significativos están asociados con el uso de plaguicidas organoclorados, cuya eliminación es más complicada y pueden persistir en el suelo durante largos periodos. Por ejemplo, compuestos como el aldrín, el toxafeno y el hexaclorobenceno pueden permanecer en el suelo durante años, incluso décadas, como es el caso del DDT, que puede persistir entre 5 y 30 años. Esta persistencia es especialmente preocupante en suelos con alto contenido de humus, donde los residuos pueden mantenerse activos por mucho tiempo (Del Puerto et al., 2014).

La contaminación del suelo por plaguicidas representa un problema grave debido a que estos compuestos pueden transferirse a los alimentos. En la ganadería, por ejemplo, los residuos presentes en el suelo pueden pasar al forraje, luego a los animales y finalmente acumularse en sus tejidos grasos, lo que incrementa la concentración de sustancias persistentes en productos como la carne y la leche. Por esta razón, es fundamental evaluar el

nivel de contaminación del suelo para garantizar la seguridad alimentaria y minimizar los riesgos asociados a estos químicos.

3.2.1.2. Contaminación del agua por plaguicidas

Los pesticidas son compuestos que pueden causar daños a los seres humanos directamente, por medio del agua potable, o de forma indirecta, a través de la cadena alimentaria. Estas sustancias químicas tienden a ser persistentes y difíciles de degradar, lo que les permite persistir durante largos periodos en las aguas superficiales y subterráneas. Incluso en bajas concentraciones, pueden modificar el sabor y el aroma del agua, haciéndola desagradable para el consumo humano desde una perspectiva sensorial (Del Puerto et al., 2014).

La polución del agua por pesticidas ocurre a través de distintos mecanismos, como la aplicación directa en masas de agua para controlar plantas acuáticas, insectos o peces indeseados; la filtración hacia los acuíferos o la escorrentía superficial desde zonas agrícolas hacia ríos, lagos o embalses; la pulverización aérea sobre terrenos; los vertidos de aguas residuales originados en fábricas que producen estos compuestos químicos; y el lavado de los equipos utilizados para mezclar y aplicar plaguicidas, como ocurre en aeropuertos dedicados a la fumigación aérea.

Del Puerto et al. (2014) señala que, en los ecosistemas acuáticos, organismos como ostras y almejas, que se alimentan filtrando el agua, pueden acumular residuos de plaguicidas como puede encontrarse en concentraciones mucho más elevadas dentro de los organismos que en el ambiente que los rodea. Este fenómeno, conocido como biomagnificación, se intensifica a medida que los organismos contaminados son ingeridos por depredadores de mayor tamaño, lo que provoca un aumento progresivo de la concentración del DDT en las posiciones superiores dentro de la cadena alimentaria. Esto ocurre porque el DDT es liposoluble, se acumula en los tejidos grasos y se metaboliza muy lentamente, lo que permite

que se concentre más en los organismos que están en la cima de la cadena trófica., lo que lleva a una acumulación progresiva del tóxico a lo largo de la cadena alimentaria, afectando a peces, aves y otros seres vivos, y alcanzando niveles potencialmente peligrosos.

La exposición humana a los plaguicidas puede darse en diversos entornos, como el lugar de trabajo, el hogar, áreas recreativas o a través de la ingesta de alimentos contaminados. Esta exposición representa un riesgo significativo para la salud, ya que estos compuestos pueden persistir en el medio ambiente y acumularse en los organismos, incluyendo los seres humanos. Por ello, es crucial monitorear y regular el uso de estas sustancias para minimizar su repercusión en el medio ambiente y la salud colectiva.

3.2.1.3 Uso más frecuente de los plaguicidas

Los agroquímicos tienen un extenso rango de aplicaciones en distintos ámbitos.

La agricultura es el principal consumidor de estos compuestos, utilizando aproximadamente el 85 % de la producción global para proteger los cultivos de plagas. En el campo de la salud pública, aproximadamente un 10 % de los pesticidas se utiliza para controlar enfermedades transmitidas por vectores, tales como la malaria, el dengue y la enfermedad de Chagas, además del manejo de roedores y otras plagas (Del Puerto et al., 2014).

En la agricultura, es común aplicar plaguicidas mediante la pulverización de polvos o mezclas líquidas sobre las hojas de las plantas o las malezas cercanas a los cultivos. Este método, que consiste en fragmentar el producto en pequeñas gotas para cubrir uniformemente las superficies, es práctico y eficiente, pero puede dispersar sustancias en el ambiente. Como resultado, los trabajadores agrícolas que no utilizan el equipo de protección adecuado están expuestos a riesgos para su salud. Además, estos plaguicidas tienden a acumularse en los suelos y en las aguas superficiales, lo que puede generar efectos ambientales negativos. Por ello, la correcta elección del método, equipo y condiciones de

aplicación, así como el uso de buenas prácticas agrícolas, son fundamentales para minimizar estos efectos adversos. Además, pueden ser transportados por el aire a otras áreas, dependiendo de las condiciones climáticas. En el caso de las fumigaciones aéreas, el viento puede llevar los plaguicidas a varios kilómetros de distancia del lugar de aplicación, lo que amplía su efecto ambiental (Silveira et al., 2018).

Cabe destacar que, además de los ingredientes activos, otras sustancias presentes en las formulaciones de estos productos pueden tener propiedades tóxicas, lo que representa un riesgo adicional tanto para las personas como para el medio ambiente. Este fenómeno subraya la importancia de manejar y aplicar estos químicos con precaución para minimizar sus efectos negativos.

En ambientes acuáticos, tanto naturales como artificiales, estos compuestos se aplican para controlar el desarrollo de malezas, algas, hongos y bacterias. En el sector industrial, se emplean en la producción de diversos artículos como equipos eléctricos, refrigeradores, pinturas, papel, cartón y materiales de embalaje de alimentos, con la finalidad de evitar daños ocasionados por microorganismos, insectos y roedores (Del Puerto Rodríguez et al., 2014).

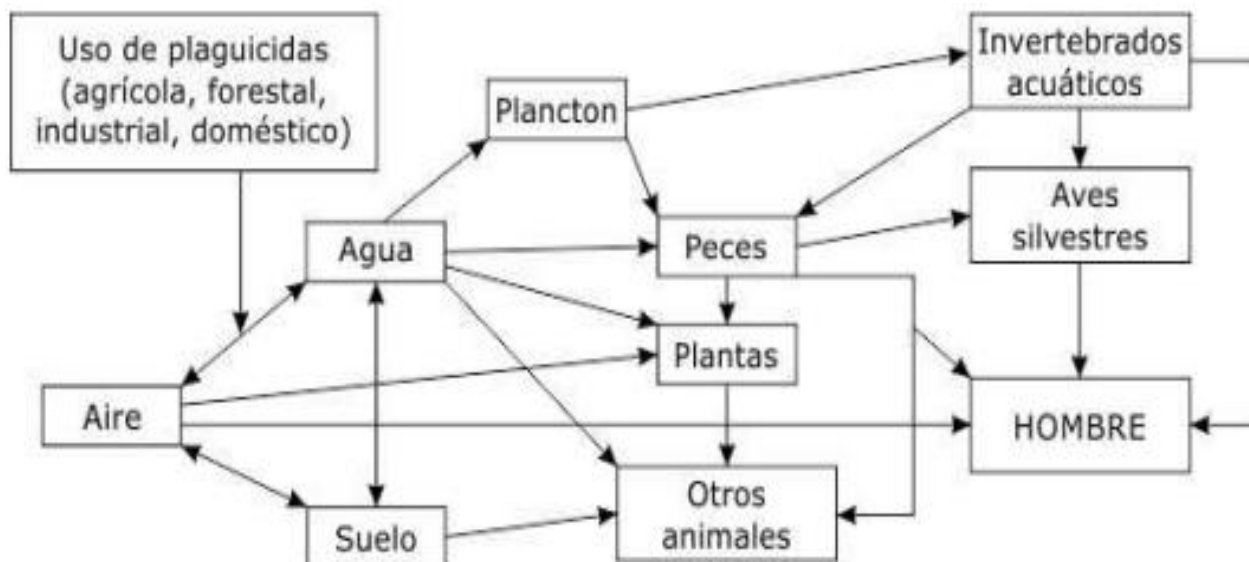
En la ganadería, los plaguicidas se emplean para el cuidado de animales de producción y domésticos, así como para el control de plagas en grandes infraestructuras como barcos, aviones, trenes, edificios y centros comerciales. También se utilizan en áreas verdes, como parques y jardines, para controlar la proliferación de insectos, hongos y malezas. Además, estos productos se aplican en el mantenimiento de autopistas, vías férreas y torres de transmisión eléctrica.

En el hogar, los plaguicidas están presentes en artículos tales como cosméticos, shampoos y productos repelentes de insectos, donde actúan como conservantes para evitar el desarrollo de hongos y bacterias. También se incluyen en artículos para el cuidado de

mascotas y plantas, con el fin de prevenir o combatir infestaciones de insectos. Su uso diversificado refleja su importancia en múltiples aspectos de la vida cotidiana y la industria (Del Puerto et al., 2014).

Figura 3

Distribución de los plaguicidas en los sistemas bióticos



Nota. Realizado por Del Puerto et al. (2014)

3.2.1.4. Características de los plaguicidas

A. Toxicidad de plaguicidas

La toxicidad de los plaguicidas tiene relación con la dosis, ya que se encuentra entre los compuestos extremadamente tóxicos que pueden provocar síntomas graves de intoxicación a dosis bajas, mientras que los fármacos de baja toxicidad suelen necesitar cantidades elevadas para generar sólo síntomas leves (Proyecto Monitoreo de la Amazonía Andina, 2022).

- **Toxicidad aguda:** Son efectos adversos que derivan de la interacción con un compuesto nocivo de plaguicidas en un corto período, puede causar daños rápidos o inmediatos con signos y síntomas que varían de acuerdo al grupo químico (Alvarez, 2010).

- **Toxicidad crónica:** Se refiere a los efectos perjudiciales que resultan de la exposición continua a sustancias tóxicas a lo largo plazo, manifestándose lentamente y afectando diversos sistemas biológicos (Alvarez, 2010).

Tabla 2

Clasificación de los plaguicidas según sus toxicidades

Clase	Toxicidad	Color de la Banda	Ejemplos
Clase IA	Extremadamente peligroso	Rojo	Paration
Clase IB	Altamente peligroso	Rojo	Eldrin
Clase II	Moderadamente peligrosos	Amarilla	DDT. Clordano
Clase III	Ligeramente peligroso	Azul	Malation
Clases IV	Poco peligroso	Verde	Thuringiensis (Bt)

Nota. Ramírez y Lacasaña (2001).

3.2.1.5. Concentraciones permisibles en suelos

Las concentraciones permisibles en suelos se refieren a los niveles máximos de contaminantes, como metales pesados y sustancias químicas, que no representan riesgo significativo para la salud humana ni el ambiente, según la normativa peruana. En Perú, estos límites están establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, aprobados por el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Estos ECA son obligatorios para instrumentos de gestión ambiental en actividades productivas, extractivas y de servicios (Ministerio del Ambiente, 2017).

El DS N° 011-2017-MINAM (2017) define los ECA para parámetros como metales (arsénico, cadmio, plomo, mercurio, entre otros), variando según el uso del suelo: agrícola, residencial o industrial. Por ejemplo, para plomo en suelos industriales, el límite es 800 mg/kg, y para mercurio, 24 mg/kg. Estos valores se usan para evaluar la contaminación y decidir remediación si se superan.

Tabla 3
Concentraciones permisibles (suelo industrial, mg/kg)

Contaminante	Límite ECA (mg/kg)
Arsénico (As)	12
Cadmio (Cd)	10
Plomo (Pb)	800
Mercurio (Hg)	24
Cromo total (Cr)	400
Cobre (Cu)	300
Níquel (Ni)	100
Zinc (Zn)	600
Hidrocarburos totales (TPH)	5000
Benceno	1.2

Nota. Elaboración a los límites permisibles de los ECAS

3.2.2. Tipos de Plaguicidas

Según Bedmar (2011) existen dos criterios principales para clasificar los agroquímicos: (1) En función del tipo de organismo plaga que combaten y (2) según su estructura química. Actualmente, los más utilizados son aquellos destinados a combatir malezas, insectos, hongos y ácaros. Un caso especial son los tratamientos para semillas, conocidos como cura semillas, que incluyen fungicidas o insecticidas aplicados antes de la siembra.

La clasificación basada en la estructura química abarca una amplia variedad de grupos o familias de compuestos. Por ejemplo, Los insecticidas organofosforados constituyen una de las familias más numerosas, con un total de 58 compuestos diferentes, mientras que la familia de las glicinas cuenta con un solo miembro: el glifosato. Una ventaja importante de esta clasificación es que permite agrupar sustancias que tienen efectos similares tanto sobre las plagas como en el medio ambiente. Además, una de las formas más comunes de clasificación integra la clase química con la forma o mecanismo mediante el cual actúa sobre las plagas, lo que facilita su análisis y uso práctico.

Tabla 4

Clasificación de grupos químicos de insecticidas, fungicidas y herbicidas según su modo de acción

Tipo de producto	Modo o sitio de acción	Grupo químico
Insecticidas	Interferencia del sistema nervioso	Organofosforados, organoclorados, carbamatos
		Piretroides, piretrinas, fiproles-fenilpirazoles
		Avermectinas, nicotinoides-nitrometilenos
	Reguladores del crecimiento	Bencilfenilureas, benzamidas, bencil-hidrazinas
	Toxinas alimentarias	Bacillus thuringiensis
	Sistema respiratorio	Fósforos, bromuros, etcétera
	Tóxicos	Acetilenos minerales, tierra de diatomeas, geles de sílice
Fungicidas	Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos	Fenilamidas, pirimidinas, derivados de hidrocarburos aromáticos, carboximidas
	Mitosis y división celular	Ditricarbamatos, bencilimidazoles
	Respiración: Inhibición de la producción de ATP en procesos enzimáticos	Carbamoximas, quinonas, cúpricos, arsenicales, derivados del estaño, disulfuros, ditricarbamatos, estrobilurinas
	Síntesis de aminoácidos y proteínas	Anilino pirimidinas
	Transducción de señales	Quinilonas, fenilpirazoles, dicarboximidas
	Síntesis de lípidos y membrana	Dicarboximidas, hidrocarburos aromáticos
	Biosíntesis de esterol en las membranas	Clorfenoles, nitronalinas, ditricarbamatos, amidas
	Alteración de la estructura celular	Morfolinas, triazinas
	Acción múltiple	Dodecilguanidina
	Inhibición del acetyl coenzima A carboxilasa	Ariloxi-fenoxi, ciclohexanedionas
	Inhibición del aceto lactato sintetasa	Imidazolinonas, sulfonilureas, sulfonamidas
	Inhibición de la formación de microtúbulos	Dinitroanilinas
	Auxinas sintéticas	Clorofenoxis, derivados del ácido benzoico
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Ácidos piridin carboxílicos, ácidos quinolin carboxílicos
Triazinas, triazinonas, uracilos, ureas sustituidas, benzotiadiazinas, carbamatos, amidas		

Herbicidas	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II y respiración	Bencotiadiazinas
	Inhibición de la protoxiporfinogeno oxidasa	Difeniléteres, N-fenilftalimidas, oxadiazoles
	Inhibición de la síntesis de lípidos	Triazolinonas
	Desviación del flujo electrónico en el fotosistema I	Bipiridilos
	Inhibición de la síntesis de carotenoides	Isoxazoles, nicotinilantinos, otros
	Inhibición de la síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos y división celular	Acetanilidas
	Interferencia en la actividad enzimática de receptores de proteínas	Carboxílicos aromáticos
	Interferencia en el metabolismo del fósforo	Arsenicales
	Inhibición de la enolpiruvil shikimato-fosfato sintetasa	Glicinas

Nota. Obtenido de Bedmar (2011)

3.2.3. Efectos de los Plaguicidas en el Medio Ambiente

Según Díez et al. (2021), las repercusiones ecológicas derivadas del uso de plaguicidas se manifiestan principalmente a través de la contaminación de los distintos componentes del medio ambiente, tales como el aire, el suelo y los cuerpos de agua. Diversos estudios han evidenciado la presencia de residuos de plaguicidas en cursos de agua y suelos agrícolas, lo que demuestra la amplia dispersión de estos compuestos en el entorno natural y su potencial impacto sobre los ecosistemas y la salud humana, debido a su capacidad de persistencia y transferencia a lo largo de la cadena alimentaria.

- En el **suelo**, que constituye el principal componente ambiental del presente estudio, los plaguicidas ingresan principalmente por aplicación directa durante las prácticas agrícolas. Una vez incorporados, estos compuestos pueden ser adsorbidos por las partículas minerales y la materia orgánica del suelo, o bien movilizarse a través de procesos de lixiviación y difusión. Asimismo, los procesos microbiológicos y químicos influyen en su transformación y

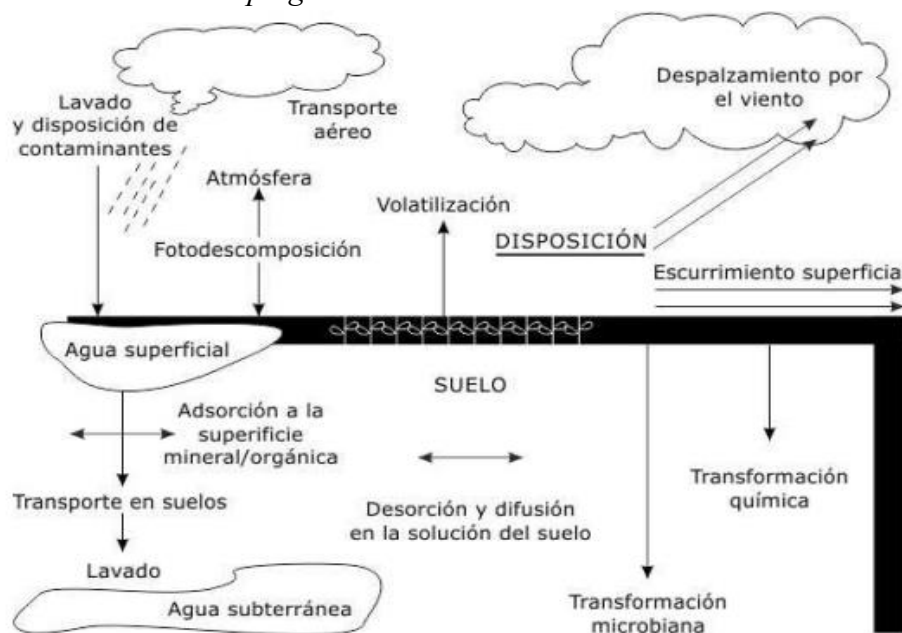
degradación, afectando la actividad de los microorganismos edáficos y alterando funciones esenciales del suelo, como el reciclaje de nutrientes y la fertilidad.

- En el **agua**, la contaminación por plaguicidas ocurre como consecuencia del escurrimiento superficial y la percolación a través del perfil del suelo, permitiendo su ingreso a cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Esta situación genera riesgos para los ecosistemas acuáticos y favorece la transferencia de residuos de plaguicidas a otros niveles tróficos (Varela, 2020).
- En el **aire**, los plaguicidas pueden dispersarse mediante procesos de volatilización y deriva durante su aplicación, siendo transportados a zonas no objetivo. La radiación solar puede inducir procesos de fotodegradación, generando compuestos secundarios que también pueden depositarse posteriormente sobre el suelo y la vegetación circundante (Diez et al., 2021).

A continuación, se presenta un esquema que ilustra los procesos de disposición, transporte y alteración de los plaguicidas en el ecosistema, así como su incorporación a la cadena alimentaria.

Figura 4

Introducción de los plaguicidas a la cadena alimenticia



Nota. Realizado por Del Puerto et al. (2014)

Posteriormente, estos procesos favorecen la incorporación de los plaguicidas al sistema suelo-planta-organismo, permitiendo su acumulación y transferencia a lo largo de la cadena alimentaria. Asimismo, Varela (2020) señala que, aunque los plaguicidas están diseñados para actuar sobre organismos específicos, pueden generar efectos adversos en especies no objetivo y contribuir al desarrollo de resistencia en las plagas, lo que intensifica su uso y, en consecuencia, sus impactos ambientales.

3.2.4. Residuos de Plaguicidas

En 2017, la FAO señala que los residuos de plaguicidas comprenden no solo el plaguicida en sí, sino también sus metabolitos, productos de degradación y otras sustancias resultantes de su transformación. Sin embargo, aunque estos componentes forman parte de la definición general de residuos, no siempre es necesario considerarlos para fines específicos, como el establecimiento de límites máximos de residuos (LMR) o para calcular la ingesta alimentaria. Por su parte, el Decreto Supremo N° 001-2015-MINAGRI define los residuos como cualquier sustancia presente en alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales debido al uso de un plaguicida. Esto abarca no solo el producto original, sino también sus derivados, como productos de conversión, metabolitos, sustancias resultantes de reacciones y aquellas impurezas que tienen relevancia toxicológica.

Los residuos de los plaguicidas se van a clasificar de acuerdo a su composición química en:

3.2.4.1. Residuos de plaguicidas organoclorados

Según Díaz (2019), los residuos de plaguicidas organoclorados son compuestos orgánicos que contienen uno o más átomos de cloro en su estructura molecular y que, debido a su alta toxicidad, se utilizan como pesticidas. Estas sustancias son químicamente muy estables y, como contaminantes, tienden a desplazarse a lo largo de las cadenas alimenticias, acumulándose en los organismos, incluyendo al ser humano. Entre estos plaguicidas se

encuentran sustancias como clordano, aldrín, dieldrín, endrín, DDT, DDD, metoxiclor, hexaclorobenceno, entre otras.

3.2.4.2. Residuos de plaguicidas organofosforados

Los residuos de plaguicidas organofosforados corresponden a un grupo de pesticidas sintéticos utilizados para controlar plagas. Según ETO (1974), estos compuestos surgieron durante la Segunda Guerra Mundial como desarrollos militares en forma de gases neurotóxicos, y tras el conflicto comenzaron a utilizarse en la agricultura. En la década de 1950 aparecieron productos como el paratión y el malatión, que se consolidaron como insecticidas agrícolas, especialmente tras la prohibición de los organoclorados.

Químicamente, los organofosforados contienen un átomo de fósforo unido a cuatro átomos de oxígeno, o a tres átomos de oxígeno y uno de azufre. Una de las uniones fósforo-oxígeno es inestable, liberando fósforo que se une a la enzima acetilcolinesterasa, bloqueando la transmisión nerviosa y provocando la muerte del insecto. Estos plaguicidas se caracterizan por su alta toxicidad, baja estabilidad química y por no acumularse en los tejidos, lo que representa una ventaja frente a los organoclorados, que son más persistentes y se bioacumulan.

Sin embargo, el uso excesivo de organofosforados ha provocado que muchos insectos desarrollen resistencia a estos productos, generando además resistencia cruzada con los carbamatos, es decir, la resistencia a uno implica resistencia al otro. Por estos motivos, es fundamental utilizar estos insecticidas con precaución y evitar la sobredosis en los cultivos. Algunos organofosforados que han estado en el mercado son endosulfán, malatión, metamidofos, paratión (parte de la llamada “docena sucia”) y lindano. Actualmente, muchos de estos compuestos han sido prohibidos en Argentina y otros países, y la lista de prohibiciones sigue creciendo (Díaz, 2019).

3.2.4.3. Residuos de plaguicidas piretroides

Los piretroides son un grupo de pesticidas sintéticos diseñado principalmente para controlar plagas de insectos. Su desarrollo buscó imitar los efectos insecticidas de las piretrinas naturales, extraídas del crisantemo y utilizados desde 1850. La fabricación del primer piretroide sintético, la Aletrina, data de 1949. Desde entonces, su uso se ha incrementado, especialmente cuando otros pesticidas fueron cuestionados por su persistencia, bioacumulación y potencial cancerígeno (como los organoclorados), o por su alta toxicidad en organismos no plagas y mamíferos (como los carbamatos y organofosforados) (Díaz, 2019).

A diferencia de estos, los piretroides presentan menores desventajas, ya que son efectivos en pequeñas dosis, lo que los hace económicos y prácticos para el control de plagas. Por ello, se han convertido en una herramienta fundamental para los productores agrícolas y en la lucha doméstica contra los mosquitos, destacándose por su alta capacidad de eliminación rápida y su baja toxicidad en humanos.

Su modo de acción se centra en el sistema nervioso de los insectos, alterando la transmisión del impulso nervioso. A diferencia de otros grupos de insecticidas, no se han reportado muchos casos de resistencia de insectos a los piretroides. No obstante, como con cualquier insecticida, es recomendable usarlos con moderación, alternando entre diferentes tipos y aplicando las dosis mínimas necesarias. Algunos piretroides que se han comercializado incluyen Aletrina, cipermetrina, permetrina, resmetrina y tetrametrina (Díaz, 2019).

3.2.5. Alternativas para Sustituir los Plaguicidas

En México, alrededor de 200 plaguicidas considerados altamente peligrosos y prohibidos en otros países están autorizados para su uso en cultivos. Muchos de estos productos están asociados con riesgos como cáncer, disrupción hormonal y problemas

reproductivos. Actualmente, existen más de 6,000 ingredientes activos que, combinados con otras sustancias, forman unos 100,000 productos comerciales. Ante la falta de conocimiento sobre alternativas para el control de plagas, se han impulsado capacitaciones sobre el Manejo Agroecológico de Plagas, un enfoque que busca restaurar la biodiversidad y reducir el uso de químicos mediante prácticas sustentables (Gutiérrez & Morales, 2021).

En una capacitación organizada por la Secretaría de Agricultura de Guerrero, el CIMMYT y otras instituciones, se presentaron cuatro alternativas para reemplazar plaguicidas peligrosos:

1. **Extractos vegetales:** Plantas como nim, chile, ajo y eucalipto tienen propiedades insecticidas, repelentes o fungicidas.
2. **Biorracionales:** Productos minerales como silicio, cal o cenizas, y jabones que actúan sobre los insectos.
3. **Bioplaguicidas:** Uso de bacterias (como *Bacillus thuringiensis*), hongos (como *Metarhizium anisopliae*) y virus para controlar plagas de manera específica.
4. **Plaguicidas sintéticos de bajo efecto:** Productos identificados con una banda verde en su envase, menos dañinos para el ambiente.

Gutiérrez y Morales (2021) indicaron que el investigador Fernando Bahena destacó estas alternativas como complementarias y su elección depende del tipo de plaga y cultivo. Reducir el uso de plaguicidas peligrosos y disminuir las aplicaciones por ciclo agrícola son pasos clave hacia una agricultura más sostenible y agroecológica.

3.2.6. Dimensiones de la Variable Plaguicidas

Las dimensiones consideradas para los plaguicidas son, composición química de los plaguicidas, nivel de concentración de los plaguicidas y toxicidad de los plaguicidas, los cuales se desarrollan continuación:

3.2.6.1. Composición Química de los Plaguicidas

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (s.f.), los plaguicidas se agrupan principalmente en función de su estructura química, distinguiéndose entre plaguicidas inorgánicos, plaguicidas orgánicos y compuestos organometálicos, los cuales presentan diferencias en su composición molecular y en los elementos que los conforman.

A. Pesticidas Inorgánicos

Estos incluyen sustancias formadas por elementos metálicos y no metálicos, que no presentan cadenas orgánicas complejas en su estructura química. Su composición se basa principalmente en sales, óxidos o compuestos simples de origen mineral, utilizados históricamente en el control de plagas.

- **Compuestos de arsénico:** Incluyen sustancias como el acetato arsenito de cobre (II), conocido como verde París, y el hidrogenoarseniato de plomo (II). Estos compuestos se caracterizan por contener arsénico combinado con metales pesados, formando sales inorgánicas con propiedades insecticidas.
- **Insecticidas fluorados:** Comprenden compuestos como la criolita (Na_3AlF_6), el fluorosilicato de sodio (Na_2SiF_6) y el fluoruro de sodio (NaF), cuya composición química se basa en la presencia del elemento flúor unido a sodio o aluminio, formando estructuras estables de naturaleza inorgánica.
- **Fungicidas inorgánicos:** Incluyen sustancias como el azufre elemental y la mezcla Burdeos o caldo bordelés, las cuales están formadas por compuestos minerales simples, sin estructuras orgánicas, ampliamente utilizadas para el control de enfermedades fúngicas.
- **Herbicidas inorgánicos:** Comprenden compuestos como el bórax o tetraborato de sodio y el clorato de sodio, caracterizados por contener sales inorgánicas que actúan sobre la vegetación no deseada debido a su composición química.

B. Pesticidas Orgánicos

Son los más ampliamente utilizados en la actualidad y se caracterizan por estar constituidos principalmente por moléculas que contienen carbono, hidrógeno y otros elementos como oxígeno, cloro, fósforo y nitrógeno. Su estructura química es más compleja que la de los plaguicidas inorgánicos, lo que permite una mayor diversidad de formulaciones.

- **Organoclorados:** Se caracterizan por contener átomos de cloro unidos a estructuras orgánicas de carbono e hidrógeno, formando compuestos halogenados con elevada estabilidad química.
- **Clorofenoxiácidos:** Están constituidos por un anillo fenólico unido a un grupo ácido, con presencia de cloro en su estructura, lo que define su composición química característica.
- **Organofosforados:** Son compuestos orgánicos que contienen fósforo en su estructura molecular, generalmente en forma de ésteres del ácido fosfórico, acompañados de oxígeno y carbono.
- **Carbamatos:** Derivan del ácido carbámico y se caracterizan por la presencia del grupo funcional carbamato ($-\text{NHCOO}-$), formado por carbono, oxígeno y nitrógeno.

Los plaguicidas organoclorados han sido extensivamente estudiados debido a su estructura química estable, la cual les confiere una elevada persistencia en el ambiente (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, s. f.).

3.2.6.2. Nivel de Concentración de los Plaguicidas

El nivel de concentración de plaguicidas en los productos agrícolas es un aspecto fundamental a causa de su probable influencia en la salud humana y el ecosistema. Diversos estudios han evidenciado que una proporción considerable de muestras contiene residuos que sobrepasan los límites máximos fijados por las normas de salud pública. Esta situación

refleja la importancia de un manejo adecuado en la aplicación de estos químicos para evitar la acumulación de residuos por encima de los niveles seguros en los alimentos destinados al consumo (LMR). Por ejemplo:

- En Nicaragua, se encontró que el 55% de las muestras analizadas contenían residuos, con concentraciones entre 0,005 mg/kg y 5,3 mg/kg (Díaz, 2020).
- En México, específicamente en Veracruz, se detectaron residuos en el 57.4% de las muestras analizadas; además, un 14.8% superaba los LMR establecidos (Díaz et al, 2023).
- En Perú, durante el año 2022, se identificó que el 16% del total examinado excedía estos límites máximos permitidos (Atkinson et al., 2023).

Estos hallazgos subrayan la necesidad estricta del control y regulación sobre la aplicación y uso adecuados de plaguicidas para evitar riesgos a la salud pública.

3.2.6.3. Efectos de los Plaguicidas

Los plaguicidas representan riesgos significativos para la salud de quienes los manipulan. Las tareas que suscitan mayor inquietud son la combinación y el uso de estos productos, la ingesta de alimentos que contienen restos químicos y la ingestión de agua contaminada con plaguicidas. Estas situaciones pueden provocar intoxicaciones agudas y efectos crónicos, afectando a millones de trabajadores agrícolas en todo el mundo (Gonzales, 2019).

Es así que se presentan los principales sectores que experimentan los efectos negativos de los agroquímicos, los cuales son:

A. Efectos en la Salud Humana

Los plaguicidas son capaces de generar múltiples consecuencias perjudiciales para la salud, que abarcan desde intoxicaciones agudas caracterizadas por síntomas como náuseas, mareos y confusión hasta afecciones crónicas como ciertos tipos de

cáncer, trastornos neurológicos (por ejemplo, Parkinson), problemas respiratorios y Cambios en las capacidades cognitivas. La exposición ocurre principalmente a través del contacto dermico, ingestión o inhalación, afectando de manera significativa a trabajadores agrícolas y a poblaciones vulnerables (Gonzales, 2019).

B. Efectos en el Suelo

La aplicación intensiva de pesticidas afecta negativamente la calidad del terreno al alterar su estructura y disminuir la actividad microbiana, lo que afecta procesos bioquímicos vitales para la fertilidad. La persistencia de ciertos compuestos, como los organoclorados y organofosforados, puede provocar daños en los organismos beneficiosos y una reducción en la materia orgánica, comprometiendo la salud del ecosistema edáfico (Gonzales, 2019).

C. Efectos en los Cultivos

Aunque los plaguicidas ayudan a controlar las plagas de manera inicial, su uso prolongado puede generar problemas como la aparición de resistencia en las plagas, la disminución de la biodiversidad, particularmente de los polinizadores, y, a largo plazo, una caída en el rendimiento de los cultivos. Esto representa un riesgo tanto para la calidad de los productos agrícolas como para la sostenibilidad del medio ambiente (Gonzales, 2019).

3.2.6.4. Toxicidad de los Plaguicidas

Según Schaaf (2013), la toxicidad de los plaguicidas se refiere a su capacidad intrínseca Para ocasionar efectos perjudiciales en los organismos biológicos. Estos efectos pueden manifestarse como alteraciones funcionales, daños patológicos o una reducción en la capacidad del organismo para responder a factores de estrés o riesgo. El contacto con plaguicidas puede influir en la salud de distintas maneras, pero, debido a consideraciones éticas, gran parte de la información toxicológica disponible proviene de estudios

experimentales en modelos animales, ya que la evidencia directa en humanos es limitada. Según el tiempo de exposición y la duración de los efectos, la toxicidad se clasifica en dos tipos: aguda y crónica.

La toxicidad aguda se evalúa mediante la DL50 (Dosis Letal Media), que indica la cantidad de compuesto requerida para provocar la muerte del 50 % de una población animal en estudios de laboratorio, expresada en miligramos por kilogramo de peso corporal. Este valor no es absoluto, ya que depende de varios factores, pero proporciona una idea de la intensidad de la toxicidad de un compuesto.

Por otro lado, la toxicidad crónica se relaciona con los efectos perjudiciales que surgen tras exposiciones prolongadas y repetidas a una sustancia. La acumulación de sustancias tóxicas en el organismo puede generar diversos problemas de salud, tales como la formación de tumores, daños en órganos específicos, anemia, alteraciones en el sistema nervioso central y efectos citotóxicos. Esta toxicidad crónica se produce cuando los contaminantes presentes en el suelo, el agua y la cadena alimentaria se acumulan en los tejidos humanos, provocando enfermedades que pueden ir desde intoxicaciones agudas hasta afecciones graves como el cáncer. Algunas sustancias pueden ser carcinogénicas, mutagénicas o teratogénicas, lo que significa que tienen el potencial de causar cáncer, mutaciones genéticas o malformaciones en fetos, respectivamente (Schaaf, 2013).

Por otro lado, Del Puerto et al. (2014), menciona que, los efectos tóxicos de los plaguicidas se manifiestan de cuatro maneras fundamentales:

- **Toxicidad oral aguda:** Ocurre cuando una persona o ser vivo ingiere una cantidad significativa del plaguicida en una sola ocasión, lo que puede generar efectos adversos inmediatos. Aunque este tipo de exposición puede afectar tanto a quienes manipulan el producto como a la población en general, el riesgo de alcanzar una dosis

letal de manera accidental es poco frecuente y suele estar relacionado con errores, desconocimiento o incluso intentos de autolesión.

- **Toxicidad dérmica:** Se produce cuando el agroquímico entra en contacto directo con la piel y es absorbido por el organismo. Aunque sus efectos pueden ser menos evidentes que en el caso de la ingestión, sigue representando un peligro, especialmente para quienes manipulan estos productos de manera directa. Generalmente, las dosis letales a través de la piel son más altas que las orales, pero el peligro de exposición prolongada es mayor para el personal laboral agrícola y otros usuarios frecuentes.
- **Toxicidad por inhalación:** Se presenta cuando el plaguicida es respirado, ya sea en forma de vapores, polvos suspendidos en el aire o partículas finas generadas durante fumigaciones y aplicaciones mediante nebulización o aspersión. Este tipo de exposición es particularmente peligrosa en entornos cerrados o con poca ventilación, ya que los compuestos químicos pueden ingresar fácilmente al organismo a través del sistema respiratorio.
- **Toxicidad crónica:** Se relaciona con la exposición repetida a dosis bajas del plaguicida durante un tiempo prolongado. Los efectos adversos pueden tardar en manifestarse y abarcan desde alteraciones en el sistema endocrino e inmunológico hasta problemas neurológicos, reproductivos y una mayor posibilidad de contraer enfermedades, entre ellas el cáncer.

3.2.7. Calidad del Suelo

La calidad del suelo se refiere a la habilidad de un tipo particular de suelo para desempeñar sus funciones dentro de los ecosistemas, ya sean naturales o manejados. Esto incluye mantener la productividad de la flora y fauna, preservar o mejorar la calidad del agua y del aire, y contribuir al bienestar y hábitat de las personas. En esencia, un suelo de buena

calidad no solo es fértil, sino que también posee características físicas, químicas y biológicas que permiten mantener un ambiente saludable y funcional para los seres vivos y los procesos ecológicos. Los cambios en esta capacidad se manifiestan en las propiedades del suelo, las cuales pueden variar debido al manejo humano o a las condiciones climáticas (USDA Natural Resources Conservation Service, 2020).

Según Costeau (2008), la producción agrícola ha crecido a un ritmo mucho más acelerado que el aumento de la población. Este crecimiento no se ha logrado expandiendo la superficie cultivada, sino principalmente gracias a la adopción de nuevas técnicas de cultivo, como el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas, junto con avances significativos en la maquinaria agrícola.

Aunque las nuevas técnicas y métodos de trabajo han traído beneficios significativos, también han generado graves problemas ambientales. Entre estos se destacan el aumento sustancial del empleo de plaguicidas, herbicidas y abonos. En particular, el consumo de pesticidas experimentó un incremento notable y el de fertilizantes se duplicó durante la década de 1970. Esto ha llevado a diversas formas de contaminación y al agotamiento del suelo, que no logra recuperar sus nutrientes esenciales (Costeau, 2008).

A. Evaluación de la calidad de suelo

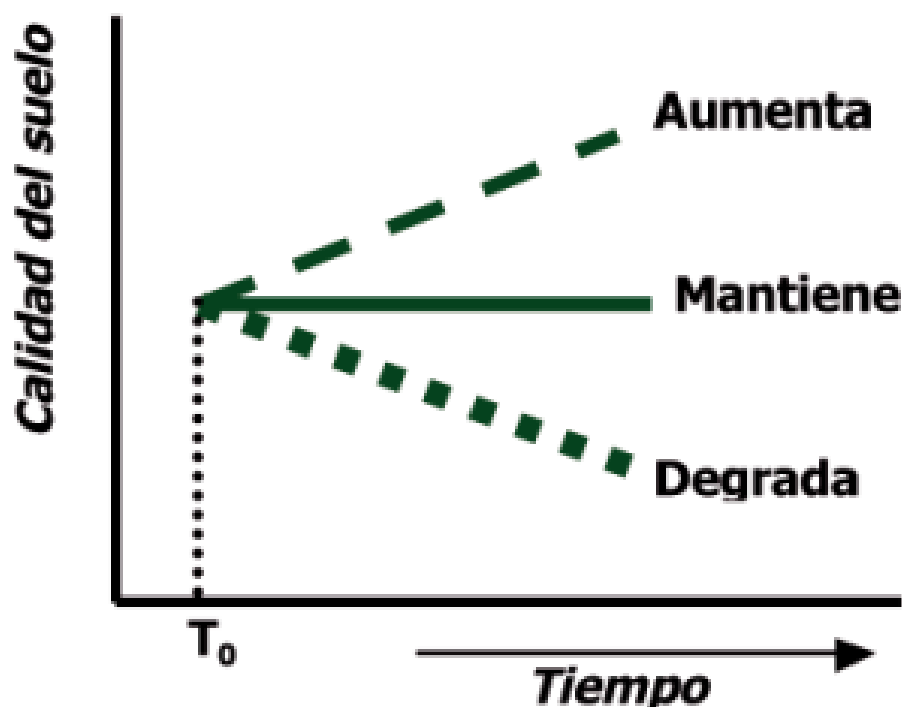
Jiménez y Gonzáles (2006) mencionan que, la calidad del suelo no es medible de forma directa, sin embargo, puede valorarse fundamentalmente a través de dos métodos:

- **A lo largo del tiempo:** Llevar a cabo evaluaciones constantes en un mismo terreno y contrastar los datos obtenidos y analizar las variaciones que se presentan a lo largo del tiempo.
- **Comparación con un suelo de referencia:** tomar un suelo considerado ideal como referencia y compararlo con los resultados de nuestras mediciones.

Las evaluaciones de la calidad del suelo deben incluir el análisis de sus propiedades y procesos biológicos, químicos y físicos, considerando tanto mediciones periódicas para monitorear cambios o tendencias a largo plazo, como la comparación con condiciones de referencia o estándares de calidad. Esto permite interpretar adecuadamente los resultados y evaluar indicadores de sostenibilidad que reflejen la salud y funcionalidad del suelo en el tiempo. Asimismo, permitirá identificar si el suelo está sufriendo degradación, mantiene su calidad o presenta mejoras. Esta aproximación facilita un seguimiento continuo y una mejor comprensión del estado del suelo en relación con su manejo y uso, apoyando decisiones orientadas a la conservación y recuperación del recurso.

Figura 5

Posibles tendencias de la evaluación de la calidad del suelo



Nota. Obtenido de Jiménez & Gonzáles (2006)

3.2.7.1. Suelos

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, activa desde el punto de vista biológico, que se forma a partir de la descomposición o alteración física y química de las

rocas, junto con la acumulación de restos provenientes de las actividades de los seres vivos. Este recurso natural es fundamental para la vida en el planeta, ya que proporciona soporte físico, nutrientes y agua a las plantas, además de servir como hábitat para una gran diversidad de organismos (Costeau, 2008).

3.2.7.2. Características de los suelos

Las propiedades del suelo condicionan su desempeño y aptitud para mantener la vida.

Entre las principales propiedades se encuentran:

- **Textura:** Hace referencia a la proporción relativa de partículas minerales de diferentes tamaños presentes en el suelo, especialmente arena, limo y arcilla. Esta propiedad afecta directamente la habilidad del suelo para almacenar agua, permitir la circulación de aire y suministrar nutrientes disponibles para las plantas. La arena está compuesta por partículas grandes, el limo por partículas de tamaño intermedio y la arcilla por partículas muy finas, y la combinación de estos tres componentes determina la clasificación textural del suelo, la cual afecta su comportamiento físico y químico (Costeau, 2008).
- **Estructura:** Describe cómo las partículas que lo componen se unen formando agregados o terrones. Una buena estructura facilita la infiltración del agua, estimula el crecimiento radicular y potencia la actividad biológica del suelo. Estos agregados son unidades formadas por partículas minerales, materia orgánica y espacios porosos que se mantienen unidas gracias a interacciones físicas, químicas y biológicas, incluyendo la acción de microorganismos, raíces y fauna del terreno. La cohesión y desarrollo de estas estructuras agregadas son esenciales para mantener la porosidad del suelo, mejorar la aireación, la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes, factores que influyen directamente en la salud y productividad del suelo. (Costeau, 2008).

- **Color:** puede revelar su composición mineral, la cantidad de compuestos orgánicos y las condiciones de drenaje. Por ejemplo, los terrenos con tonalidades oscuras suelen indicar una mayor disponibilidad de materiales orgánicos, mientras que los colores rojizos y amarillentos están relacionados con la oxidación de compuestos de hierro. Además, los suelos bien drenados tienden a mostrar colores rojos o marrones, mientras que suelos con mal drenaje pueden presentar tonos grisáceos o verdosos debido a la reducción de óxidos de hierro. Por lo tanto, el color es un indicador útil para inferir ciertas propiedades del suelo, aunque no debe considerarse un diagnóstico definitivo sin análisis complementarios. (Costeau, 2008).
- **Densidad:** La densidad del suelo comprende dos tipos principales: la densidad aparente y la densidad real. La densidad aparente se entiende como la cantidad de masa del suelo seco contenida en un volumen total determinado, incluyendo tanto las partículas sólidas como los espacios porosos presentes en el suelo. Esta densidad varía según la textura, estructura y presencia de residuos orgánicos en el sustrato terrestre; por ejemplo, suelos con mayor materia orgánica y mejor estructura suelen tener densidades aparentes más bajas, mientras que suelos compactados o arenosos presentan valores más altos.
- **Potencial de hidrogeno:** Mide la acidez o alcalinidad del suelo, influyendo directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas y en la actividad de los microorganismos del suelo. Un pH adecuado permite que la mayoría de los nutrientes estén en formas solubles y accesibles para las raíces, mientras que valores extremos pueden limitar la absorción de nutrientes y afectar procesos biológicos clave en el suelo (Costeau, 2008).

- **Contenido de materia orgánica:** Provee nutrientes fundamentales, mejora la composición del suelo y promueve la actividad biológica, siendo crucial para la fertilidad y sostenibilidad del suelo (Costeau, 2008).

A continuación, se presenta la clasificación de los suelos según su nivel de acidez o alcalinidad, representado por el valor de pH:

Tabla 5

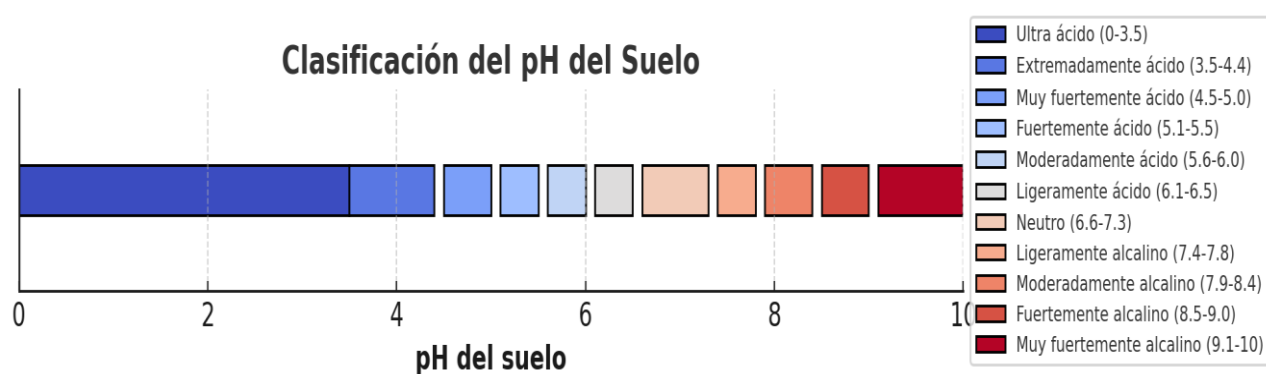
Clasificación de los rangos de pH del suelo

Clasificación	pH del suelo
Ultra ácido	< 3.5
Extremadamente ácido	3.5 - 4.4
Muy fuertemente ácido	4.5 - 5.0
Fuertemente ácido	5.1 - 5.5
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 - 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 - 9.0
Muy fuertemente alcalino	> 9.0

Nota. Elaborado por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2025)

Figura 6

Clasificación de los rangos del pH del suelo



3.2.8. Dimensiones de la Variable Calidad del Suelo

3.2.8.1. Parámetros Físicos

Los parámetros físicos del suelo determinan su capacidad para soportar diversos usos y actividades humanas. Estos incluyen propiedades como textura, densidad aparente y real, porosidad, capacidad de drenaje, aireación y retención de agua. La textura del suelo, por ejemplo, hace alusión a la cantidad relativa de partículas de arena, limo y arcilla que componen el suelo, lo que influye directamente en su comportamiento físico y en la penetración de raíces. Además, factores como la compactación del suelo son afectados por propiedades físicas como la densidad y la humedad del suelo (Rucks et al., 2004).

3.2.8.2. Parámetros Químicos

Los parámetros químicos del suelo son esenciales para evaluar su fertilidad y calidad. Entre los indicadores químicos más relevantes se encuentran el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica total y lábil, el nitrógeno total y mineralizado, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), así como la disponibilidad de micronutrientes esenciales como el fósforo. Estos análisis físico-químicos permiten determinar la fertilidad del suelo, su capacidad para retener nutrientes y su estado general, información fundamental para planificar una fertilización adecuada y un manejo sostenible del suelo en la zona de estudio. (Estrada et al., 2017). Estos atributos permiten comprender cómo los nutrientes están disponibles para las plantas y microorganismos, así como el efecto de procesos químicos sobre la estructura del suelo.

3.2.8.3. Parámetros Biológicos

Los parámetros biológicos evalúan la condición del terreno mediante indicadores Conectados con la variedad de especies que alberga y actividad microbiológica. Por ejemplo, la medida de la salud biológica del terreno (QBS-ar) mide la presencia de organismos adaptados a vivir en el suelo como indicadores de su salud ecológica (Menta et al., 2017).

Además, la biomasa microbiana es un atributo clave para determinar el carbono disponible en el suelo y su capacidad para sustentar ciclos biogeoquímicos.

3.2.9. Normativa Ambiental sobre el uso de Plaguicidas

En Perú, la normativa ambiental sobre La aplicación de pesticidas se encuentra normada por diversas leyes y reglamentos destinados a salvaguardar la salud de las personas y el entorno natural. A continuación, se presentan algunas de las principales normativas:

- **Reglamento del Sistema Nacional de Plaguicidas de Uso Agrícola**

El Reglamento del Sistema Nacional de Plaguicidas de Uso Agrícola, establecido por el Ministerio de Agricultura y Riego en 2015 mediante el Decreto Supremo N° 001-2015-MINAGRI, tiene como propósito crear un sistema nacional que prevenga y proteja la salud humana y el medio ambiente, garantice la eficacia biológica de los plaguicidas y promueva su uso y manejo adecuado para regular todas las actividades relacionadas con los plaguicidas agrícolas, Desde su producción hasta su eliminación definitiva, garantizando la protección de la salud humana y del medio ambiente, así como asegurando la disponibilidad de insumos agrícolas seguros.

- **Ley general de sanidad agraria (Decreto Legislativo N° 1059, 2015)**

La ley que regula la producción, comercialización, uso y disposición final de insumos agrarios con el objetivo de fomentar la competitividad del sector agrícola es el Decreto Legislativo N° 1059, que establece normas para el registro, control y comercialización de plaguicidas agrícolas y sustancias afines, asegurando así la protección de la salud humana, el ambiente y la seguridad en el uso de estos insumos.

- **Norma sanitaria sobre Límites Máximos de Residuos (LMR) (2016)**

Establece los límites máximos permitidos para envases de plaguicidas en alimentos destinados al consumo humano

3.2.10. Mecanismos de Acción de los Plaguicidas

3.2.10.1. Plaguicidas Organofosforados

Este compuesto ejerce su efecto al desactivar la enzima acetilcolinesterasa mediante un proceso de inhibición enzimática que es competitivo e irreversible, ya que su modo de acción consiste en la fosforilación de esta enzima en las terminaciones nerviosas, lo que conlleva a su inhibición (Milla & Palomino, 2022).

3.2.10.2. Plaguicidas Carbamatos

A pesar de que su estructura química difiere, su mecanismo de toxicidad es equivalente al de los plaguicidas organofosforados ya que inhibe la acetilcolinesterasa, una enzima esencial para la degradación de la acetilcolina, un neurotransmisor cuya acumulación provoca un funcionamiento anormal de las fibras nerviosas (Henao & Nieto, s. f.).

3.2.10.3. Plaguicidas Organoclorados

Los plaguicidas organoclorados afectan principalmente el sistema nervioso central (SNC) al alterar el mantenimiento del estado polarizado de las membranas neuronales, lo que provoca una hiperexcitabilidad del sistema nervioso y la generación de descargas neuronales repetitivas. Esta alteración en la permeabilidad de las membranas provoca una actividad nerviosa excesiva que puede desencadenar síntomas como temblores, convulsiones y otros trastornos neurológicos (Instituto Nacional de Salud, 2015).

3.3. Definición de Términos

Plaguicidas

De acuerdo con el artículo 2° del Decreto N° 157/2007 del MINSAL, sustancia, combinación de componentes o agente diseñado para aplicarse en el entorno, en animales o en plantas, con la finalidad de prevenir, regular o eliminar organismos que puedan causar perjuicios a las personas, los seres vivos, las semillas, los objetos inertes o la vegetación (González, 2019).

Fungicidas

Sustancia química empleada para prevenir o eliminar el crecimiento de hongos. Como ocurre con cualquier producto químico, su uso debe realizarse con precaución. Con el objetivo de evitar consecuencias negativas para la salud de los individuos, la fauna y el ecosistema (Pérez & Forbes, s.f.).

Suelo agrícola

Tipo de suelo que se utiliza para la agricultura y está diseñado para ser fértil y apto para el crecimiento de diferentes cultivos. Este tipo de suelo debe tener una buena estructura, baja compactación, y una alta concentración de materia orgánica, lo que facilita la reserva de nutrientes necesarios para las plantas (Bembibre, 2011).

Insecticidas

Sustancias químicas diseñadas para eliminar o controlar insectos que pueden transmitir enfermedades (Instituto Nacional de Salud Pública, 2020).

Potencial de hidrogeno

El pH del suelo es una característica que refleja su capacidad para retener iones de hidrógeno (H^+), determinando así si es ácido o alcalino (Cremona & Enriquez, 2020).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad que tiene la solución del suelo para conducir corriente eléctrica, la cual depende directamente de la cantidad de sales disueltas o ionizadas presentes en dicha solución. Esta propiedad se mide comúnmente en miliSiemens por centímetro (mS/cm) y es un indicador clave para evaluar la salinidad del suelo, ya que un mayor contenido de sales incrementa la conductividad eléctrica. (Fertilab, 2019).

Herbicidas

Los herbicidas son productos químicos diseñados para controlar o eliminar plantas no deseadas, comúnmente llamadas malas hierbas. Algunos actúan interfiriendo con el

crecimiento de estas plantas, y pueden clasificarse en selectivos, que afectan solo a ciertas especies sin dañar los cultivos, y no selectivos, que eliminan toda la vegetación con la que entran en contacto (malezas). Su efectividad y seguridad dependen del conocimiento de su mecanismo de acción y de su correcta aplicación (Rojas & Gámez, 2002).

Organoclorados

Los compuestos organoclorados son pesticidas sintéticos derivados del cloro, frecuentemente empleados en la agricultura y manejo de plagas. Se caracterizan Por su elevada estabilidad en el ecosistema y su capacidad de bioacumulación en organismos vivos. Los organoclorados pueden ser absorbidos por ingestión, inhalación o contacto dérmico, y algunos ejemplos incluyen DDT, lindano, aldrín y heptacloro (Chi, 2016).

Organofosforados

Los compuestos organofosforados son sustancias orgánicas derivadas del fósforo, utilizadas principalmente como plaguicidas en la agricultura. Su principal mecanismo de toxicidad es la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa provoca que la acetilcolina no se degrade adecuadamente, lo que conlleva a una acumulación de este neurotransmisor en las sinapsis, generando una estimulación excesiva de los receptores colinérgicos en el sistema nervioso central y periférico (Fernnandez et al., 2010).

Materia orgánica

La materia orgánica está compuesta por un conjunto de compuestos derivados de restos de organismos que en algún momento estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus desechos en el entorno natural. Está formada principalmente por sustancias como celulosa, lignina, proteínas, lípidos y azúcares, que tras la descomposición por microorganismos se transforman en humus u otros compuestos estables (Trinidad & Velasco, 2018).

Residuos de plaguicidas

Los residuos de plaguicidas se definen como cualquier sustancia especificada presente en alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales debido al uso de un plaguicida. Esto incluye no solo el plaguicida en sí, sino también sus derivados como productos de conversión, metabolitos, productos de reacción y cualquier impureza que tenga relevancia toxicológica (Rojas et al., 2020).

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

4.1.1. Tipo de Investigación

La investigación que se realizó es de tipo básica, ya que busca principalmente generar conocimiento teórico sobre la relación que tiene el uso de plaguicidas con la calidad del suelo en el anexo San Juan de Dios, distrito de Curahuasi, Apurímac. No se enfoca en aplicar soluciones inmediatas, sino en comprender a profundidad esta relación para sentar las bases de futuros estudios o intervenciones.

Según Rivero et al. (2021), la investigación básica está orientada a ampliar el conocimiento científico sin buscar resolver directamente un problema práctico. Su finalidad es aportar explicaciones y conceptos que nos ayuden a comprender mejor la realidad y que, en un futuro, puedan ser útiles para desarrollar estrategias o acciones más concretas.

4.1.2. Nivel de la Investigación

El estudio contó con dos niveles de investigación: correlacional-explicativa. El nivel correlacional permite identificar y medir la relación entre la aplicación de pesticidas y sus posibles efectos en el suelo sin establecer causalidad directa; mientras que el nivel explicativo busca comprender las causas o motivos del fenómeno, estableciendo relaciones de causa y efecto mediante la formulación y prueba de hipótesis.

Según Hernández y Mendoza (2018), la investigación explicativa busca explicar las causas o motivos de un fenómeno, estableciendo relaciones de causa y efecto mediante la formulación y prueba de hipótesis. Es el nivel más profundo de conocimiento, ya que no solo describe variables o fenómenos, sino que busca entender por qué y cómo ocurren. Suele emplear enfoques cuantitativos con diseños experimentales o no experimentales.

4.1.3. Enfoque

El estudio utiliza un enfoque cuantitativo, orientado a la recolección y análisis de datos numéricos para medir de manera objetiva la relación entre la aplicación de plaguicidas y la calidad del suelo en el área investigada, favoreciendo la generación de resultados precisos y comprobables.

Hernández y Mendoza (2018) señalan que el enfoque cuantitativo se caracteriza por la objetividad, el control riguroso de las variables y el uso de instrumentos estandarizados para obtener datos que permitan establecer patrones, relaciones y generalizaciones a partir del análisis estadístico.

4.1.4. Diseño

Se adopta un diseño no experimental de corte transversal, que permite observar y analizar las variables en un momento específico, sin intervenir ni manipular las condiciones, para describir la situación actual del uso de plaguicidas y su impacto en la calidad del suelo en San Juan de Dios, distrito de Curahuasi.

Según Carrasco (2019) los estudios con diseño no experimental se caracterizan porque no se manipulan de forma intencional la variable dependiente, por tanto, no se realizan experimentos ni existen grupos control.

4.2. Ámbito Temporal y Espacial

La presente investigación se desarrolló durante el año 2025, para ver el efecto de los plaguicidas en el suelo del Anexo San Juan de Dios, distrito de Curahuasi, Apurímac.

En cuanto al ámbito espacial, el estudio se delimita al anexo San Juan de Dios, ubicado en el distrito de Curahuasi, región Apurímac, seleccionando puntos estratégicos de muestreo representativos de las áreas agrícolas donde se aplican plaguicidas, considerando la diversidad de suelos y prácticas agrícolas locales.

4.3. Población y Muestra

4.3.1. Población

Para Carrasco (2019) la población es el “conjunto de todos los elementos que forman parte del espacio territorial al que pertenece el problema de investigación y poseen características mucho más concretas que el universo”. (p.238)

En el presente estudio la población objeto de estudio estuvo constituida por dos grupos principales. En primer lugar, se consideran los suelos del anexo San Juan de Dios en Curahuasi, Apurímac, específicamente aquellos suelos agrícolas que están expuestos al uso de plaguicidas debido a las actividades de cultivo en la zona. Estos suelos serán evaluados para determinar la relación entre el uso de plaguicidas y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con el objetivo de identificar posibles variaciones en su estructura, fertilidad y biodiversidad.

En segundo lugar, se incluye a 80 pobladores del anexo San Juan de Dios, en particular a los agricultores y personas que participan de manera directa en la gestión del terreno y el uso de plaguicidas. Este grupo permitió recopilar información valiosa sobre las prácticas agrícolas, la frecuencia y la clase de pesticidas empleados, así como la percepción de los efectos de estos químicos en el suelo y la salud de las personas.

4.3.2. Muestra

Carrasco (2019) define la muestra como un “fragmento representativo de la población, que debe poseer las mismas propiedades y características de ella”. (p.238)

En la presente investigación, la muestra estuvo conformada por dos grupos de análisis. El primero correspondió a los pobladores del anexo San Juan de Dios, específicamente agricultores que emplean plaguicidas en sus actividades agrícolas. El segundo grupo estuvo constituido por muestras de suelo agrícola recolectadas en puntos estratégicos del área de estudio.

Para determinar el tamaño de muestra de los pobladores se empleó la fórmula para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

Donde:

- ***n***: Tamaño de la muestra.
- ***N***: Tamaño de la población.
- ***Z***: Valor crítico de la distribución normal (puntuación *Z*).
- ***p***: Proporción estimada de la población.
- ***1-p***: Proporción complementaria.
- ***e***: Margen de error.

Reemplazando los valores en la formula se calculó el tamaño de muestra de pobladores a encuestar tal como se muestra a continuación:

$$n = \frac{80 * 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{80 * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$

$$n \approx 66$$

“La muestra estuvo conformada por 66 pobladores.”

Se obtuvo como resultado una muestra de 66 pobladores, quienes participaron mediante la aplicación de encuestas relacionadas con el uso de plaguicidas y las prácticas agrícolas desarrolladas en la zona.

Respecto a las muestras de suelo, se recolectaron cuatro muestras compuestas independientes en el anexo San Juan de Dios (Curahuasi, Apurímac). Cada muestra estuvo conformada por varias submuestras homogéneas obtenidas mediante el método de cuarteo, siguiendo los lineamientos establecidos en la Guía de Muestreo de Suelos 003-2017-MINAM.

La extracción de las muestras se realizó a una profundidad de 25 a 30 cm y con un diámetro aproximado de 30 cm, utilizando herramientas limpias para evitar contaminación cruzada. Posteriormente, las muestras fueron etiquetadas, almacenadas en bolsas resistentes y trasladadas al laboratorio correspondiente, garantizando la trazabilidad mediante cadena de custodia.

4.3.3. Tipo de muestreo

En la presente investigación se aplicaron diferentes tipos de muestreo de acuerdo con la naturaleza de cada unidad de análisis: pobladores y muestras de suelo.

A. Muestreo para pobladores encuestados

Para la selección de los pobladores del anexo San Juan de Dios se empleó un muestreo probabilístico aleatorio simple, debido a que todos los agricultores que conformaron la población tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionados. Este tipo de muestreo permitió obtener información representativa sobre el uso de plaguicidas, frecuencia de aplicación y prácticas agrícolas en la zona de estudio.

B. Muestreo para muestras de suelo

Para el análisis de calidad del suelo se empleó un muestreo no probabilístico intencional o por criterio, debido a que los puntos de muestreo fueron seleccionados estratégicamente considerando zonas con actividad agrícola y exposición al uso de plaguicidas.

Las muestras de suelo quedaron distribuidas de la siguiente manera:

- **Muestra 01 (M1):** suelo agrícola recolectado en la primera zona de cultivo representativa del anexo San Juan de Dios.
- **Muestra 02 (M2):** suelo agrícola recolectado en una segunda zona de cultivo con exposición al uso de plaguicidas.

- **Muestra 03 (M3):** suelo agrícola recolectado en una tercera zona representativa de actividad agrícola.
- **Muestra 04 (M4): muestra blanca o suelo no agrícola (zona control),** seleccionada como referencia comparativa al no presentar exposición directa al uso de plaguicidas.

Asimismo, para la conformación de las cuatro muestras de suelo se aplicó el método de cuarteo, con la finalidad de obtener muestras compuestas homogéneas y representativas para su posterior análisis físico, químico y biológico.

4.4. Instrumentos

Los instrumentos seleccionados para la recolección de datos en esta investigación han sido escogidos meticulosamente con el objetivo de garantizar información exacta y fiable. Estos permitieron analizar de manera detallada la relación entre el uso de plaguicidas y la calidad del suelo en el anexo San Juan de Dios Curahuasi, Apurímac, a través de diversas técnicas de medición y observación. A continuación, se describen los instrumentos que serán utilizados en el estudio:

- **Encuestas estructuradas:** Dirigidas a los agricultores de la zona, con el objetivo de recopilar información sobre el uso, manejo y aplicación de plaguicidas.
- **Análisis de laboratorio de suelo:** Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos.

4.5. Procedimientos

La investigación se desarrolló en varias etapas para garantizar una recolección y análisis sistemático de la información sobre la relación entre el uso de plaguicidas y la calidad del suelo en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi, Apurímac. En primer lugar, se aplicaron encuestas estructuradas a los agricultores locales para conocer sus prácticas en el

uso, manejo y aplicación de plaguicidas, así como la frecuencia y tipos de productos utilizados.

Posteriormente, se realizó la toma de muestras de suelo en puntos estratégicos seleccionados dentro del área de estudio, asegurando una cobertura representativa que permita evaluar la relación entre la presencia de plaguicidas y las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, se efectuó una observación directa para identificar posibles cambios en el entorno, como variaciones en la vegetación o presencia de residuos superficiales asociados al uso de estos productos.

Las muestras de suelo fueron enviadas a laboratorio para su análisis físico-químico, donde se evaluaron parámetros relacionados con el uso de plaguicidas y su relación con la calidad del suelo, siguiendo los estándares establecidos por las normativas ambientales vigentes.

4.6. Análisis de Datos

Los datos recopilados fueron procesados mediante un análisis descriptivo–comparativo con interpretación inferencial ambiental, orientado a establecer la relación entre el uso de plaguicidas y la calidad del suelo en el anexo San Juan de Dios, distrito de Curahuasi. Este método permitió identificar las variaciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo a partir de la información obtenida tanto en campo como en laboratorio.

Asimismo, se aplicaron indicadores ambientales específicos como el Factor de Excedencia (FE) y el Índice Global de Alteración del Suelo (IGAS), que facilitaron la valoración cuantitativa del grado de afectación en función de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Perú, DS N°011-2017-MINAM) y los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Los resultados fueron organizados en tablas y gráficos para su interpretación comparativa entre los distintos puntos de muestreo, complementándose con la información proveniente de las encuestas aplicadas a los agricultores, lo que permitió realizar una triangulación de datos y sustentar inferencias sobre la relación entre las prácticas agrícolas y el deterioro de la calidad del suelo.

4.7. Consideraciones Éticas

La investigación se llevó a cabo respetando los principios éticos fundamentales, garantizando la confidencialidad y anonimato de los agricultores encuestados, quienes fueron informados previamente sobre los objetivos del estudio y otorgaron su consentimiento informado.

Asimismo, durante la toma de muestras de suelo se siguieron protocolos que aseguren la conservación ambiental, evitando cualquier alteración en el ecosistema local. Los resultados fueron manejados con transparencia y responsabilidad científica, asegurando que la información obtenida sea utilizada exclusivamente con fines académicos y de mejora del conocimiento sobre la relación entre el uso de plaguicidas y la calidad del suelo.

V. Resultados y discusión

Confiabilidad del instrumento de recolección de datos

Tabla 6

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
0,732	16

Nota. Elaboración en base a los datos de encuesta

La confiabilidad del instrumento de recolección de datos se refiere al grado en que éste produce resultados consistentes y estables al aplicarse repetidamente bajo condiciones similares. Para el caso, la cifra obtenida del coeficiente de Alfa de Cronbach sobre 16 ítems es de 0.732, lo que indica un nivel de confiabilidad aceptable, ya que este coeficiente garantiza un grado de consistencia de los datos como aceptable cuando el rango obtenido está entre 0.7 a 0.79 (Frías, 2022).

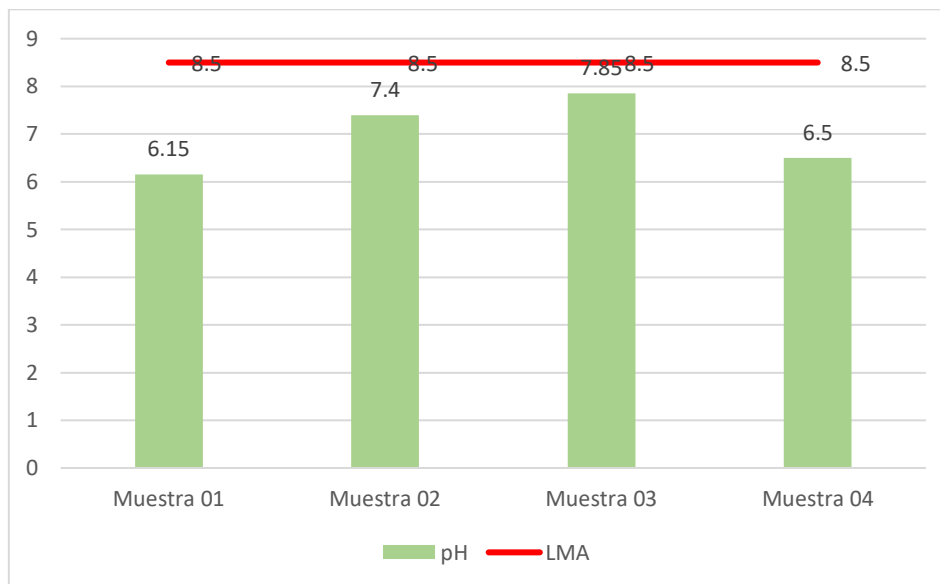
5.1. Análisis Fisicoquímico

Tabla 7

Resultados de pH en las muestras estudiadas

Muestras	pH	Clasificación
Muestra 01	6.15	Ligeramente ácida
Muestra 02	7.40	Ligeramente alcalino
Muestra 03	7.85	Moderadamente alcalino
Muestra 04	6.50	Ligeramente ácida

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 7*Resultados de pH en comparación con el límite máximo permisible**Nota.* Elaboración en base a los datos de laboratorio

La **Tabla 7** muestra los resultados obtenidos del análisis de pH en las cuatro muestras de suelo estudiadas. Se observa que la muestra 01 presentó el valor de pH más bajo (6.15), clasificándose como ligeramente ácida. En contraste, la muestra 03 registró el valor de pH más alto (7.85), correspondiente a una clasificación moderadamente alcalina. Por su parte, la muestra 02 alcanzó un valor de 7.40, clasificándose como ligeramente alcalina. Finalmente, la muestra 04 (M4), correspondiente a la muestra blanco o suelo no agrícola, presentó un valor de pH de 6.50, clasificándose como ligeramente ácida y siendo utilizada como referencia comparativa frente a las muestras de suelo con actividad agrícola y exposición al uso de plaguicidas.

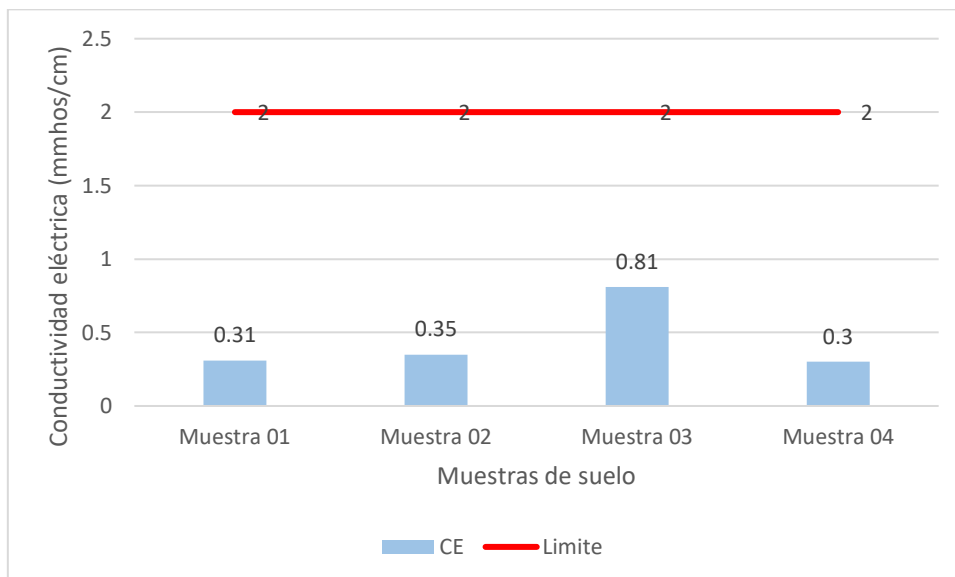
Tabla 8*Resultados de la conductividad eléctrica en las muestras estudiadas*

Muestras	CE	Clasificación
Muestra 01	0.31 mmhos/cm	No salino
Muestra 02	0.35 mmhos/cm	No salino
Muestra 03	0.81 mmhos/cm	No salino
Muestra 04	0.30 mmhos/cm	No salino

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 8

Resultados de la conductividad eléctrica en comparación con el límite permisible



Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

En cuanto a los resultados obtenidos para determinar la conductividad eléctrica, los valores de todas las muestras son inferiores a 2 mmhos/cm, clasificando el suelo como no salino, lo que indica que el uso de los plaguicidas evaluados no genera un aumento significativo en este parámetro. No obstante, al tomar como punto de referencia la muestra 04, donde no existe actividad agrícola ni uso de plaguicidas, se observa una variación leve en la muestra 03, con un valor de 0.81 mmhos/cm. Esta diferencia sugiere una posible relación entre la aplicación de plaguicidas y ligeras variaciones en la conductividad eléctrica del suelo, aunque sin alterar su clasificación general como no salino.

Tabla 9

Resultados de la materia orgánica en las muestras estudiadas

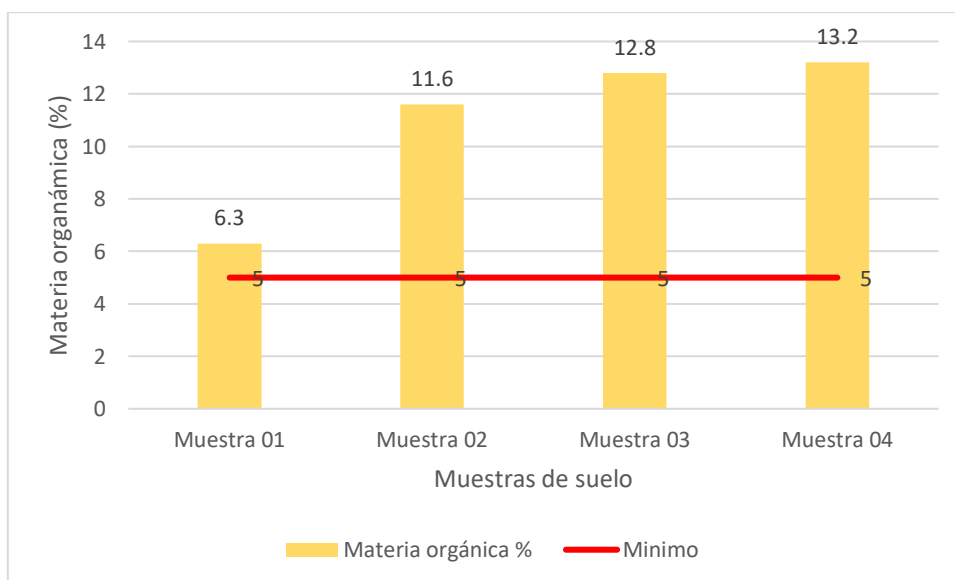
Muestras	Materia orgánica %	Observación
Muestra 01	6.30	Alto, lo que indica una buena fertilidad y adecuada disponibilidad de nutrientes
Muestra 02	11.60	Muy alto, refleja una excelente condición del suelo para la actividad agrícola

Muestra 03	12.80	Muy alto, evidencia gran aporte de nutrientes y mejora de la estructura del suelo
Muestra 04	13.20	Muy alto, el más elevado, propio de un suelo en estado natural sin alteración agrícola

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 9

Resultados del efecto de agroquímicos pesticidas sobre la materia orgánica



Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

En la **Tabla 9** se observan los resultados obtenidos en el análisis de materia orgánica para las cuatro muestras. Los resultados mostraron niveles altos de materia orgánica, sin embargo, si se toma la muestra 04 como punto de referencia, donde el porcentaje de encontrado fue mayor de todas las muestras analizadas, con un 13.20 % de materia orgánica, los resultados muestran que el uso de plaguicidas disminuye la cantidad de materia orgánica, ya que el porcentaje de materia orgánica fue ligeramente inferior a la muestra blanco (muestra 04), con valores de 12.80 y 11.60% de materia orgánica para las muestras 03 y 04 respectivamente. Por último, la muestra con la menor cantidad encontrada de materia orgánica con respecto a la muestra blanco fue la 01, con un valor de 6.30% de materia

orgánica, lo que indicaría que el plaguicida empleado en este suelo disminuye considerablemente la materia orgánica con el uso.

Tabla 10

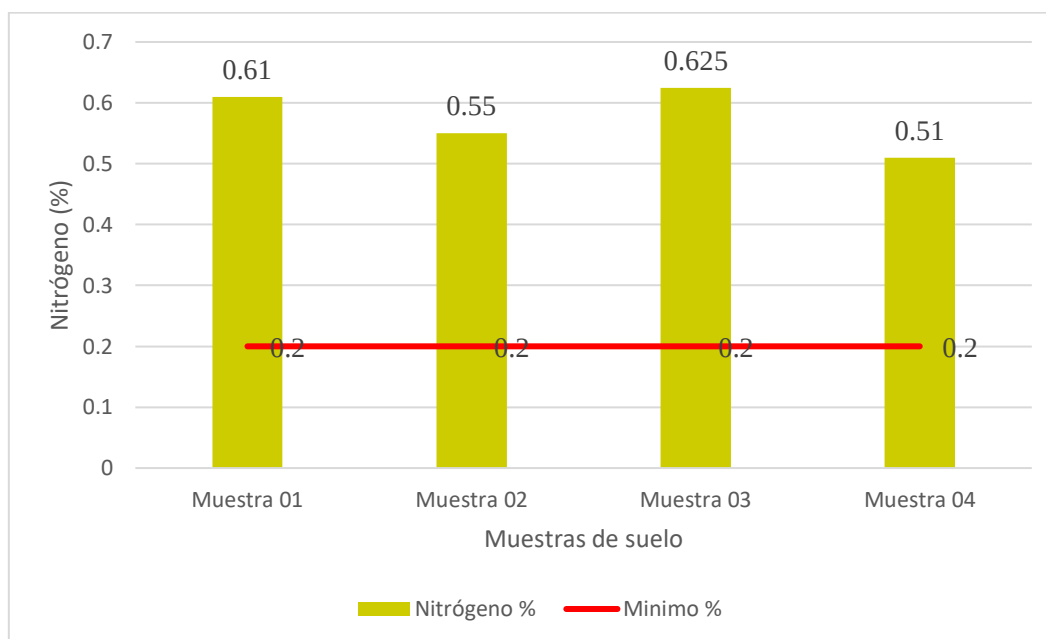
Resultados de nitrógeno en las muestras estudiadas

Muestras	Nitrógeno %	Observación
Muestra 01	0.61	Muy alto, indica buena fertilidad
Muestra 02	0.55	Muy alto, indica buena fertilidad
Muestra 03	0.625	Muy alto, indica buena fertilidad
Muestra 04	0.51	Muy alto, indica buena fertilidad

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 10

Resultados del efecto de plaguicidas sobre el nitrógeno del suelo



Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Los resultados obtenidos de nitrógeno total se muestran en la Tabla 8, donde los valores obtenidos de todas las muestras evaluadas son superiores a 0.50%, reflejando un contenido de nitrógeno en el suelo muy elevado, siendo indicador de la fertilidad de los suelos evaluados. Destaca la muestra 03, donde se obtuvo el mayor valor de nitrógeno total, con 0.625%. De las muestras 01 y 02 se obtuvieron valores de 0.61% y 0.55% de nitrógeno total respectivamente, siendo estos valores más elevados que la muestra 04, la cual pertenece

al terreno sin actividad agrícola sin uso de plaguicidas. Esto refleja el aporte de nitrógeno por parte de los fertilizantes y prácticas agrícolas en los suelos evaluados con respecto a la muestra blanco.

Tabla 11

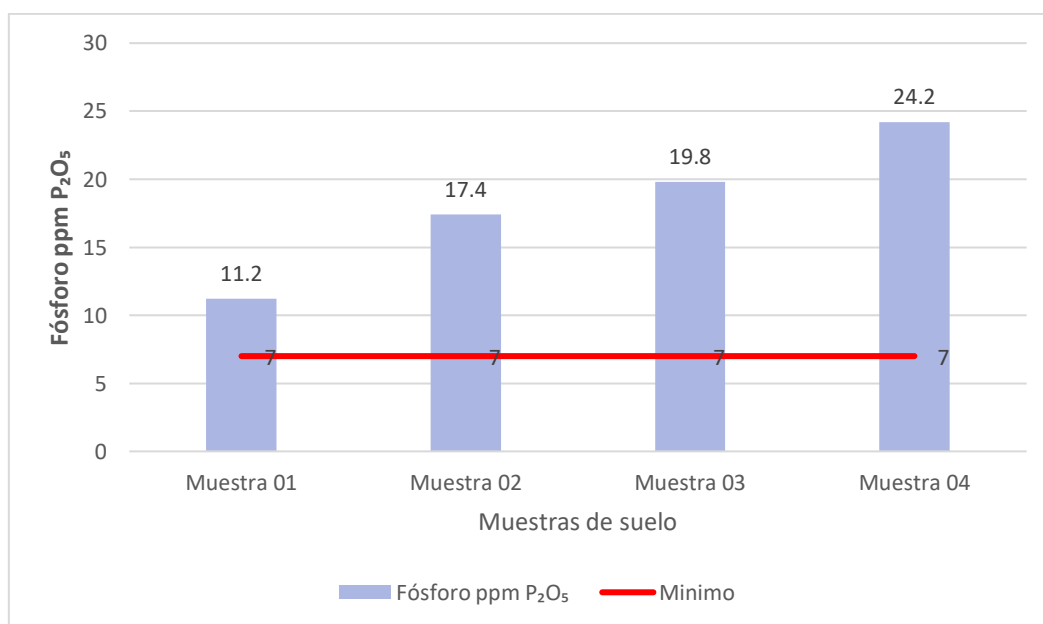
Resultados del fósforo en las muestras estudiadas

Muestras	Fósforo ppm P_2O_5	Observación
Muestra 01	11.20	Nivel medio, suficiente para el desarrollo de los cultivos
Muestra 02	17.40	Nivel alto, favorece la fertilidad y la productividad
Muestra 03	19.80	Nivel alto, asegura buena disponibilidad de fósforo para las plantas
Muestra 04	24.20	Nivel alto cercano al muy alto, propio de un suelo conservado sin plaguicidas

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 11

Contenido de fósforo en el suelo frente al valor de referencia para calidad del suelo



Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Para el fósforo en el suelo, valores por debajo de 7 se consideran bajos, de 7 a 14 es considerable o medio y mayor a 14 indica buena fertilidad del suelo. En las muestras de

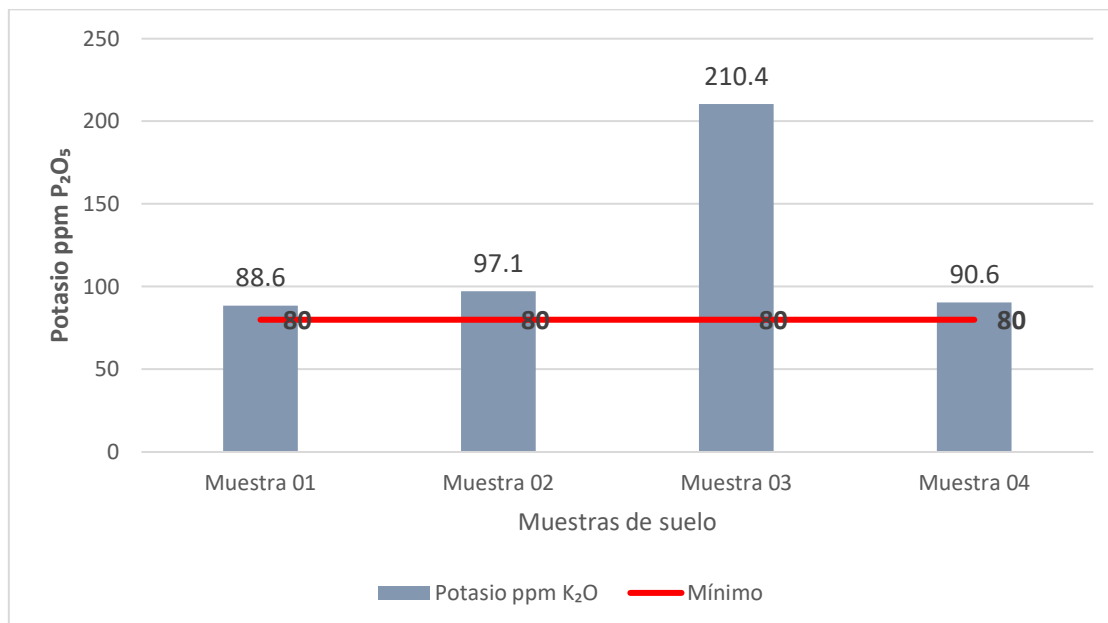
suelo, el único resultado en un nivel medio obtenido pertenece a la muestra 01, con un valor de 11.20 ppm P_2O_5 , siendo el valor más bajo obtenido. Las muestras 02 y 03 mostraron niveles altos de fósforo, con valores de 17.40 y 19.80 ppm P_2O_5 respectivamente, pero sin ser superior a la muestra 04, correspondiente a la muestra blanco o suelo no agrícola, con un valor de 24.20 ppm P_2O_5 , siendo el valor más alto obtenido en los análisis realizados. Estos datos muestran que, en los suelos donde se ha usado plaguicidas, los niveles de fósforo son inferiores en comparación con un suelo no agrícola utilizado como referencia y sin exposición directa al uso de plaguicidas.

Tabla 12

Resultados del potasio en las muestras estudiadas

Muestras	Potasio ppm K_2O	Observación
Muestra 01	88.60	Nivel medio, adecuado para sostener el desarrollo de los cultivos
Muestra 02	97.10	Nivel medio, con ligera ventaja frente a la muestra uno
Muestra 03	210.40	Nivel alto, refleja una disponibilidad notable de este nutriente esencial
Muestra 04	90.60	Nivel medio, propio del suelo no agrícola que mantiene condiciones estables

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 12*Potasio disponible (K_2O) en suelos con uso de plaguicidas*

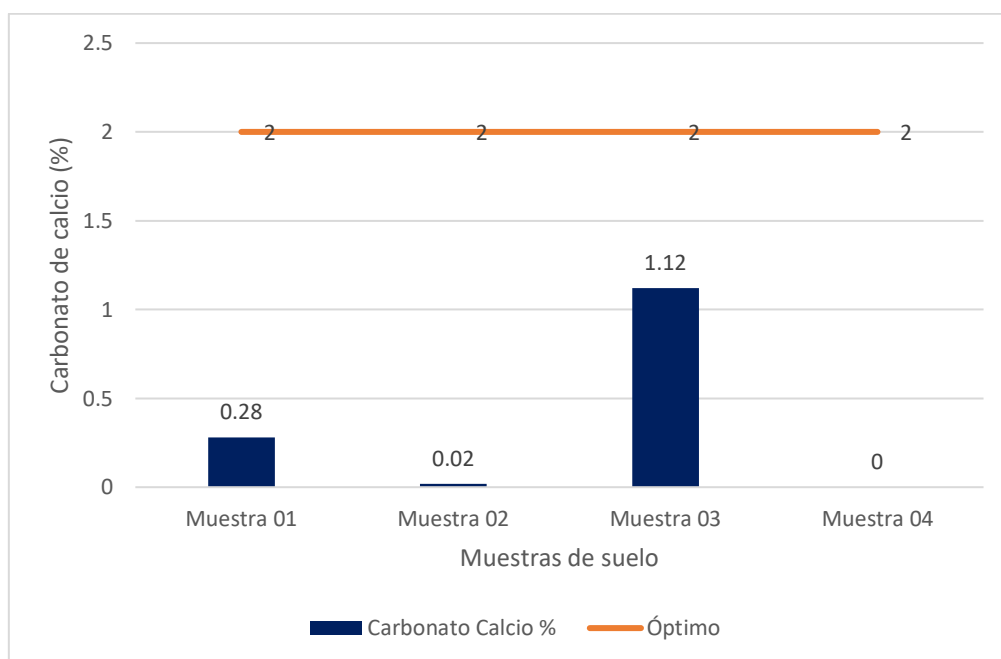
Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

En la **Tabla 12**, los resultados del potasio muestran que la muestra 01 presenta una concentración de 88.60 ppm de K_2O , correspondiente a un nivel medio, lo que indica una disponibilidad adecuada de este nutriente en el suelo. De manera similar, la muestra 02 registra 97.10 ppm de K_2O , manteniéndose también en un nivel medio, con una ligera diferencia positiva respecto a la muestra anterior. En contraste, la muestra 03 alcanza un valor de 210.40 ppm de K_2O , clasificándose como un nivel alto, lo que evidencia una mayor disponibilidad de potasio en comparación con las demás muestras analizadas. Finalmente, la muestra 04, correspondiente a la muestra blanco o suelo no agrícola, presenta 90.60 ppm de K_2O , valor que corresponde a un nivel medio, reflejando condiciones químicas estables del suelo evaluado y sirviendo como referencia comparativa frente a los suelos agrícolas expuestos al uso de plaguicidas.

Tabla 13*Resultados del carbonato de calcio en las muestras estudiadas*

Muestras	Carbonato Calcio %	Observación
Muestra 01	0.28	Presencia baja, no genera problemas en el suelo
Muestra 02	0.02	Presencia mínima, prácticamente nula
Muestra 03	1.12	Contenido moderado, puede influir en la ligera alcalinidad del suelo
Muestra 04	0	Ausencia de carbonato de calcio, propio de un suelo natural no agrícola

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 13*Presencia de carbonato de calcio (CaCO_3) en parcelas agrícolas con plaguicidas*

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Los resultados de la Tabla 13 y Figura 14 muestran que la muestra 03 registra el mayor contenido de CaCO_3 (1,12 %), mientras que la muestra 04 (blanco) no evidencia presencia (0 %). Las muestras 01 (0,28 %) y 02 (0,02 %) reflejan presencia baja a mínima. En términos de referencia, la literatura internacional indica que materiales con > 2 % de equivalente de carbonato de calcio ya se consideran calcáreos (es decir, comienzan a mostrar efectos típicos de suelos con CaCO_3), en tanto que contenidos realmente altos (p. ej., ≥ 15

%) caracterizan horizontes o suelos claramente calcáreos según WRB/FAO; por lo tanto, 1,12 % se ubica en el rango bajo de calcariedad.

Tabla 14

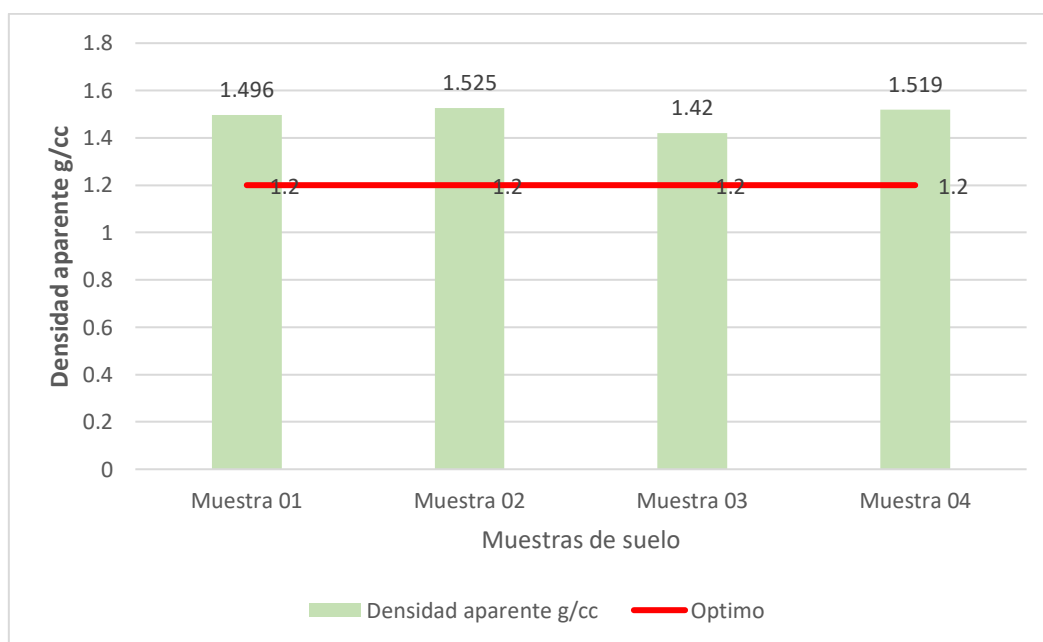
Resultados de la densidad en las muestras estudiadas

Muestras	Densidad aparente g/cc	Observación
Muestra 01	1.496	Valor normal, indica un suelo con adecuada compactación y aireación
Muestra 02	1.525	Ligeramente mayor, dentro de lo normal, aunque con menor aireación que la muestra uno
Muestra 03	1.420	Valor más bajo, refleja un suelo menos compacto y con mejor circulación de aire y agua
Muestra 04	1.519	Similar a la muestra dos, muestra un nivel aceptable propio de un suelo no agrícola

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 14

Efecto del uso de plaguicidas sobre la densidad aparente del suelo



Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

La Tabla 14 y la Figura 15 muestran que la muestra 02 alcanzó la mayor densidad aparente (1,525 g/cc), seguida por la muestra 04 (blanco) (1,519 g/cc), la muestra 01 (1,496 g/cc) y la muestra 03 (1,420 g/cc). Estos valores se ubican alrededor del rango empleado en normativas y guías nacionales: por ejemplo, la Guía del MINAM utiliza $\rho_b = 1,5 \text{ kg/L}$ ($\approx 1,5 \text{ g/cc}$) como valor por defecto en sus cálculos de movilidad de contaminantes en suelo, lo que sirve como punto de referencia para condiciones “aceptables” en suelos agrícolas.

Tabla 15

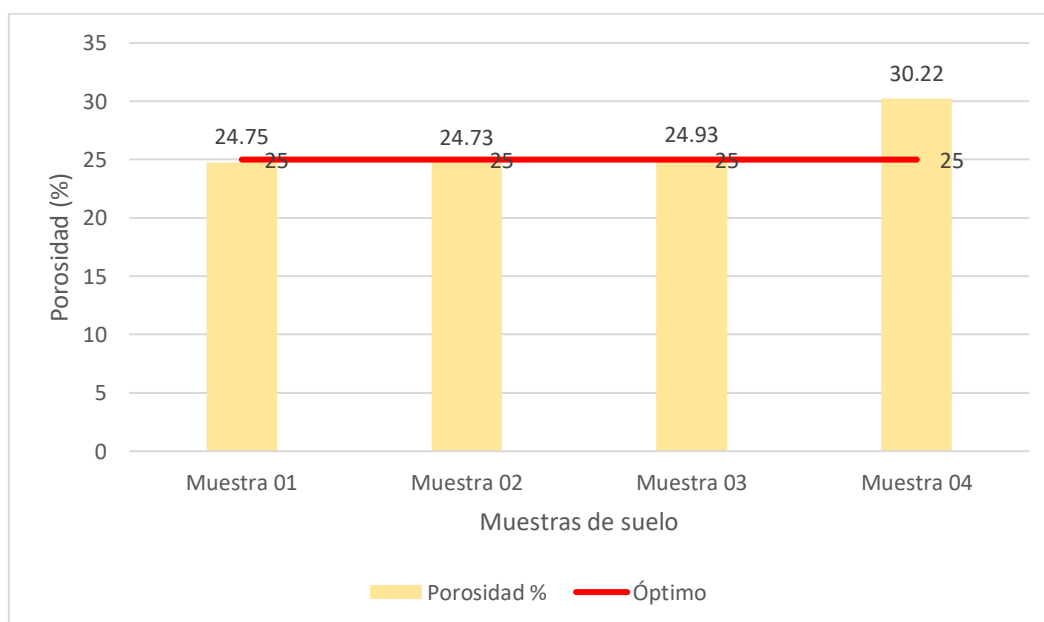
Resultados de la porosidad en las muestras estudiadas

Muestras	Porosidad %	Observación
Muestra 01	24.75	Nivel medio, garantiza adecuada retención de agua
Muestra 02	24.73	Nivel medio, con comportamiento semejante al de la muestra uno
Muestra 03	24.93	Nivel medio, con ligera ventaja en la circulación de aire y agua
Muestra 04	30.22	Nivel alto, propio de un suelo conservado con mayor capacidad de infiltración

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Figura 15

Efecto del uso de plaguicidas sobre la porosidad total del suelo



Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

Los resultados de la Tabla 15 y la Figura 16 muestran que la muestra 04 (blanco) alcanzó la mayor porosidad (30,22%), clasificada como nivel alto, mientras que las muestras 01, 02 y 03, correspondientes a suelos con actividades agrícolas y uso de plaguicidas, registraron 24,75%, 24,73% y 24,93%, respectivamente, es decir, niveles medios y significativamente menores que el testigo. En el contexto peruano, la literatura técnica reporta que la porosidad total típica de suelos agrícolas suele ubicarse entre ~20% y 60% según Idrogo (2019), por lo que valores alrededor de 25% se sitúan en el límite inferior del rango aceptable para suelos de textura media; ello implica menor espacio para aire y agua respecto del testigo, probablemente asociado a compactación por laboreo y tránsito, más que al efecto directo de los plaguicidas. Para transparencia metodológica, se recomienda explicitar que la porosidad total se calcula a partir de la densidad aparente ($p = 1 - \rho_b/2,65$).

Tabla 16

Resultados de la textura del suelo en las muestras analizadas

Parcela	% Arcilla	% Limo	% Arena	Resultado
Muestra 01	4	28	68	Franco arenoso
Muestra 02	3	36	61	Franco arenoso
Muestra 03	42	39	19	Arcilloso
Muestra 04	4	17	79	Arenoso

Nota. Elaboración en base a los datos de laboratorio

El análisis de la textura de las muestras evidencia una marcada diferencia entre los suelos agrícolas y el suelo no agrícola. La muestra uno, con un 68 % de arena, 28 % de limo y solo 4 % de arcilla, se clasifica como un suelo franco arenoso, lo que implica una mayor permeabilidad y, por lo tanto, una menor capacidad de retener nutrientes y plaguicidas, facilitando su posible lixiviación hacia capas más profundas. La muestra dos, con 61 % de arena, 36 % de limo y 3 % de arcilla, también corresponde a un franco arenoso, aunque con

algo más de limo que mejora ligeramente la retención de agua y de residuos de plaguicidas, aunque sin garantizar estabilidad. En contraste, la muestra tres presenta 42 % de arcilla, 39 % de limo y 19 % de arena, lo que determina una textura arcillosa, caracterizada por una mayor capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que a su vez favorece la acumulación y persistencia de plaguicidas en el suelo con menor movilidad, pero con riesgo de toxicidad prolongada. Finalmente, la muestra cuatro, considerada suelo no agrícola, contiene 79 % de arena, 17 % de limo y 4 % de arcilla, lo que corresponde a una textura arenosa, asociada a una alta infiltración y baja fertilidad natural, convirtiéndose en un punto de comparación frente a los suelos agrícolas, donde la aplicación de plaguicidas interactúa de manera distinta según la textura predominante.

Tabla 17

Resultados analíticos, metales pesados del suelo

	MUESTRA 01	MUESTRA02	MUESTRA03
Metales pesados	Resultado	Resultado	Resultado
Aluminio	41 892	50 915	37 611
Antimonio	0.1603	0.1438	0.1356
Arsénico	0.919	3.36	3.05
Bario	40.34	83.51	114.9
Berilio	0.161	0.242	0.31
Bismuto	< 0,00090	< 0,00090	0.05404
Boro	0.8003	2.115	2.566
Cadmio	0.04714	0.07504	0.07297
Calcio	22 441	25 135	16 050
Cerio	12.84	7.5514	15.677
Cobalto	8.848	23.71	28.55
Cobre	17	35	27
Cromo	3.287	17.6	35.9
Estaño	0.6676	0.6509	0.6502
Estroncio	247.7	180.8	113.1
Fósforo	1 510	449	586
Hierro	21 707	31 555	37 788
Litio	6.124	10.21	11.43
Magnesio	4 008	10 251	8 698
Manganeso	353	604	888
Mercurio	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Molibdeno	0.118	0.124	0.126
Níquel	2.87	17.7	21.7
Plata	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020
Plomo	1.166	4.124	5.186
Potasio	328	839	846
Selenio	0.726	< 0,006	0.821
Sodio	3 317	2 824	1 073
Talio	< 0,0030	< 0,0030	< 0,0030

Titanio	161	161	405
Torio	0.83752	1.2235	1.5045
Uranio	0.1533	0.2597	0.1722
Vanadio	59	81	125
Wolframio	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040
Zinc	24	40	42

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Interpretación:

El análisis de suelo confirmó la presencia de diversos metales pesados en las tres muestras evaluadas, en el caso del plomo, se observó un incremento progresivo desde 1.166 mg/kg en la primera muestra hasta 5.186 mg/kg en la tercera, lo que, si bien se mantiene muy por debajo del límite máximo permisible de 70 mg/kg establecido por el D.S. N.º 011-2017-MINAM, evidencia una tendencia de acumulación que podría intensificarse con el uso continuo de agroquímicos. En cuanto al cadmio, los valores registrados fueron de 0.047, 0.075 y 0.073 mg/kg respectivamente, todos considerablemente inferiores al límite de 1.4 mg/kg, lo que indica que no existe por ahora un riesgo de toxicidad significativa, aunque su carácter bioacumulativo justifica un seguimiento constante. El cromo, en cambio, mostró un comportamiento distinto, ya que alcanzó 3.287 mg/kg en la primera muestra, superando ampliamente el valor de referencia de 0.4 mg/kg señalado en la normativa peruana, mientras que en las otras muestras se registraron 17.6 y 35.9 mg/kg, lo que representa un escenario de preocupación ambiental, pues su persistencia podría asociarse con el uso prolongado de plaguicidas que contienen compuestos derivados de este metal.

Además de estos tres elementos, también se identificó la presencia de arsénico, níquel, zinc, cobre, manganeso y otros metales en concentraciones variables, aunque sin superar los límites establecidos, lo que confirma que el suelo no está exento de procesos de acumulación derivados tanto de la práctica agrícola como de actividades antrópicas previas. En conjunto, estos hallazgos evidencian que el uso de plaguicidas guarda relación con la calidad físico-química del suelo, sino también en la incorporación gradual de metales

pesados, lo que resalta la necesidad de un monitoreo ambiental periódico que permita prevenir riesgos de contaminación a largo plazo.

5.2. Resultados de las Encuestas a los Pobladores

A continuación, se presenta los resultados obtenidos por medio de la encuesta aplicada a los pobladores del anexo San Juan de Dios en Curahuasi:

Tabla 18

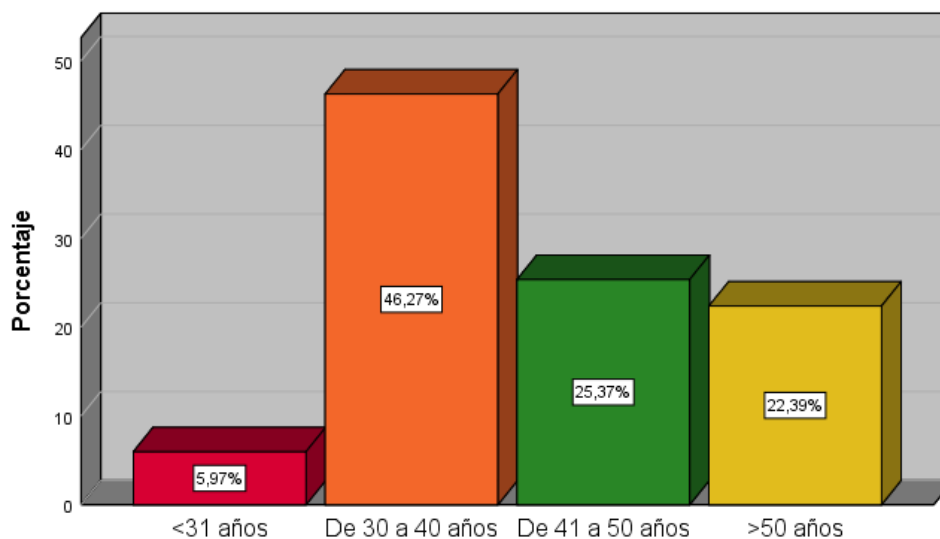
Edad de los pobladores

	Frecuencia	Porcentaje
<31 años	4	5.97
De 30 a 40 años	31	46.27
De 41 a 50 años	17	25.37
>50 años	15	22.39
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 16

Edad de los pobladores



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

La tabla 18 muestra los resultados de edad de los pobladores encuestado donde el 46.3% se encuentra entre los 30 y 40 años, lo que refleja una comunidad mayoritariamente en etapa productiva; le siguen quienes tienen entre 41 y 50 años con un 25.4% y los mayores de 50

años con un 22.4%, mientras que los menores de 31 años representan solo el 6.0%, evidenciando la baja presencia de jóvenes en comparación con los otros grupos.

Tabla 19

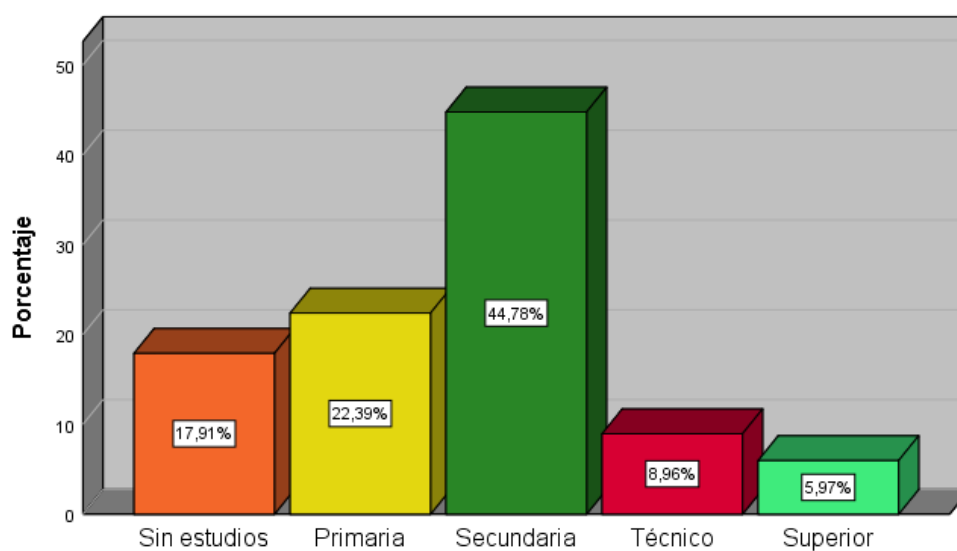
Grado académico de los pobladores

	Frecuencia	Porcentaje
Sin estudios	12	17.9
Primaria	15	22.4
Secundaria	30	44.8
Técnico	6	9.0
Superior	4	6.0
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 17

Grado académico de los pobladores



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados muestran que la mayoría de pobladores tiene como máximo educación secundaria (44.8%), mientras que un 22.4% alcanzó primaria y un 17.9% no cuenta con estudios, lo que podría limitar el manejo adecuado de plaguicidas. En contraste, solo un 9.0% posee formación técnica y un 6.0% educación superior, reflejando una baja especialización

que hace necesaria la capacitación y apoyo externo para promover prácticas agrícolas sostenibles.

Tabla 20

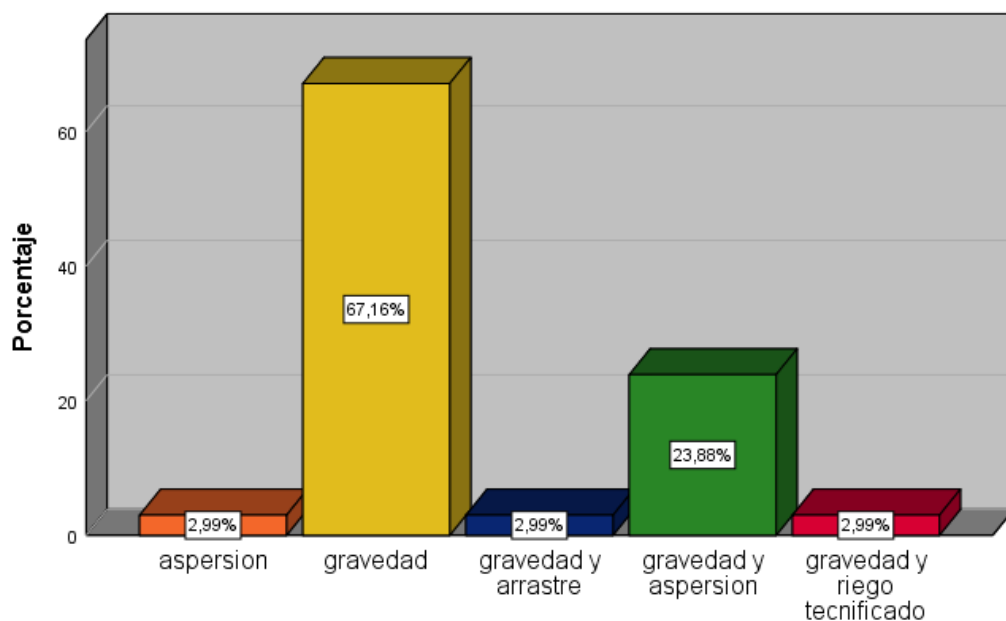
Principal tipo de riego

	Frecuencia	Porcentaje
Aspersión	2	3.0
Gravedad	45	67.2
Gravedad y arrastre	2	3.0
Gravedad y aspersión	16	23.9
Gravedad y riego tecnificado	2	3.0
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 18

Principal tipo de riego



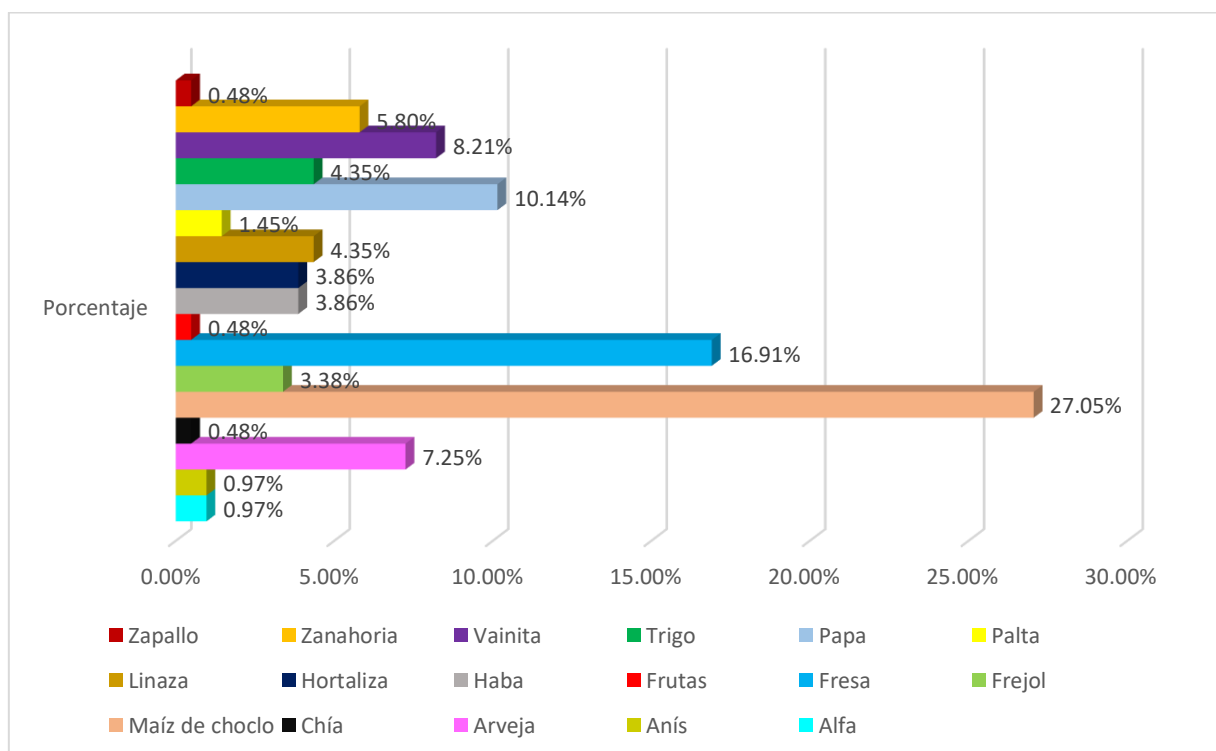
Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados muestran que el riego por gravedad domina ampliamente los sistemas de irrigación representando el 67.2% de los casos; por otro lado, el riego por gravedad junto con aspersión alcanza un significativo 23.9%, indicando una adopción de técnicas mixtas.

Los sistemas tecnificados con solo 3% de implementación en combinación con riego por gravedad. Los métodos puros de aspersión o gravedad con arrastre representan cada uno el 3% restante.

Tabla 21*Principales cultivos en el anexo San Juan de Dios*

Cultivo	Frecuencia	Porcentaje
Alfa	2	0.97%
Anís	2	0.97%
Arveja	15	7.25%
Chía	1	0.48%
Maíz de choclo	56	27.05%
Frejol	7	3.38%
Fresa	35	16.91%
Frutas	1	0.48%
Haba	8	3.86%
Hortaliza	8	3.86%
Linaza	9	4.35%
Palta	3	1.45%
Papa	21	10.14%
Trigo	9	4.35%
Vainita	17	8.21%
Zanahoria	12	5.80%
Zapallo	1	0.48%
Total	207	100.00%

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados**Tabla 22***Principales cultivos en el anexo San Juan de Dios**Nota.* Elaboración en base a los datos recolectados

El análisis de los cultivos en el anexo San Juan de Dios revela que el maíz de choclo es el cultivo principal con 27.05%, seguido por la fresa con 16.91% y la papa con 10.14%, consolidándose como los productos más relevantes tanto para la seguridad alimentaria como para la economía local. La vainita con 8.21% y la arveja con 7.25% también destacan dentro de la producción agrícola.

En un nivel intermedio aparecen la zanahoria con 5.80%, la linaza y el trigo ambos con 4.35%, además del haba con 3.86%. Les siguen las hortalizas y el frejol, cada uno con 3.38%, que contribuyen a la diversificación de la dieta y los sistemas de cultivo.

Finalmente, se identifican cultivos minoritarios como la alfalfa y el anís con 0.97% cada uno, la palta con 1.45%, así como la chía, frutas y zapallo con apenas 0.48% cada uno. En conjunto, estos cultivos de baja representación suman menos del 5% de la producción total, reflejando un patrón agrícola donde predominan pocos cultivos principales y varios complementarios de menor escala.

Tabla 23

Resultados de los plaguicidas utilizados considerados insecticidas

Plaguicida	Categoría principal	Frecuencia
Aldrin	Insecticida	1
Allcrop	Insecticida	1
Aqua reslin super	Insecticida	1
Avicida	Insecticida	1
Cañón	Insecticida	1
Celecron	Insecticida	4
Ciclón	Insecticida	1
Cipercyn	Insecticida	1
Coraminicida	Insecticida	1

Delthomil	Insecticida	1
Deltax	Insecticida	1
Endosulsan	Insecticida	1
Engeo	Insecticida	1
Ensesticida	Insecticida	1
Fulminate	Insecticida	3
Galvin	Insecticida	4
Kieto	Insecticida	3
Larvix	Insecticida	1
Malation	Insecticida	1
Nalate	Insecticida	6
Nematiala	Insecticida	1
Paration	Insecticida	4
Ranger flash	Insecticida	4
Schoquer-t	Insecticida	3
Tifón	Insecticida	8
Betabaytroide	Insecticida	1
Total		55

Nota. Elaborado en base a los datos recolectados

En la Tabla 23 se tiene registrado la aplicación de 55 insecticidas en el anexo de San Juan de Dios. De los plaguicidas que se emplean en la zona estudiada según las encuestas realizadas, destaca el uso de productos como Aldrin y Endosulsan, los cuales están prohibidos tanto a nivel nacional como internacional, lo que constituye un incumplimiento al Decreto Supremo N° 037- 91-AG y la Resolución Jefatural N° 013- 2012-AG-SENASA; asimismo representa una amenaza directa para la salud de los agricultores y el equilibrio

ambiental, puesto que se podría generar una contaminación no sólo al suelo, sino también a las fuentes de agua por arrastre de sedimentos.

Otro grupo de insecticidas usados que generan preocupación son Nalate (6 aplicaciones) y del Tifón (8 aplicaciones) resulta particularmente preocupante, ya que ambos contienen principios activos organofosforados, reconocidos por sus efectos neurotóxicos y por estar restringidos en el Perú. Este uso indiscriminado convierte a los trabajadores agrícolas en víctimas de un sistema de producción que prioriza el rendimiento inmediato por encima de la salud humana y ambiental. Los pobladores, sin una adecuada protección, quedan atrapados en un círculo de vulnerabilidad que expone tanto a ellos como a los consumidores de sus cosechas a residuos peligrosos.

Tabla 24

Resultados de los plaguicidas utilizados considerados herbicidas

Plaguicida	Categoría principal	Frecuencia
Abtin	Herbicida	1
Arvalion	Herbicida	2
Campal	Herbicida	4
Campla plus	Herbicida	1
Glifosato	Herbicida	1
Graminicida	Herbicida	1
Herbicidas	Herbicida	3
Paraquat	Herbicida	5
Total		18

Nota. Elaborado en base a los datos recolectados

Las encuestas realizadas mostraron que el uso de herbicidas en la zona evaluada alcanza un total de 18 aplicaciones, destacando la presencia del Paraquat con 5 aplicaciones,

seguido por Campal con 4 aplicaciones. El Paraquat es un herbicida de alta toxicidad cuyo uso se encuentra restringido en el Perú debido a los riesgos que representa para la salud humana y el ambiente cuando no se manipula adecuadamente. Su presencia frecuente en la zona refleja la necesidad de fortalecer la capacitación técnica de los agricultores respecto al manejo seguro y responsable de estos productos.

Asimismo, se registró el uso de Glifosato, con una aplicación, compuesto que genera preocupación internacional por sus posibles efectos adversos sobre la salud y los recursos naturales. Estos resultados evidencian la existencia de una relación directa entre las prácticas agrícolas y la exposición a herbicidas potencialmente peligrosos, lo cual puede influir en la calidad del suelo y en la sostenibilidad de las actividades agrícolas del anexo San Juan de Dios.

Tabla 25

Resultados de los plaguicidas utilizados considerados fungicidas y otros

Plaguicida	Categoría principal	Frecuencia
Fungicida	Fungicida	2
Molusquicida	Otros	1
Total		3

Nota. Elaborado en base a los datos recolectados

Aunque la frecuencia de uso de fungicidas y otros productos es baja (3 aplicaciones en total), su presencia sigue siendo relevante para comprender la relación entre las prácticas agrícolas y la calidad del suelo. El registro de fungicidas sin denominación específica evidencia una limitada identificación de los productos utilizados, lo que dificulta conocer con exactitud su composición química y los posibles efectos que podrían tener sobre el suelo y el entorno agrícola.

Por otro lado, el molusquicida, aunque se reporta en una sola aplicación, pertenece a un grupo de productos que pueden afectar indirectamente la biota del suelo cuando no se manejan de manera adecuada. Estos resultados resaltan la importancia de promover el uso responsable y la correcta identificación de los plaguicidas empleados, con el fin de mejorar el conocimiento técnico de los agricultores y contribuir al manejo sostenible de los recursos del anexo San Juan de Dios.

Tabla 26

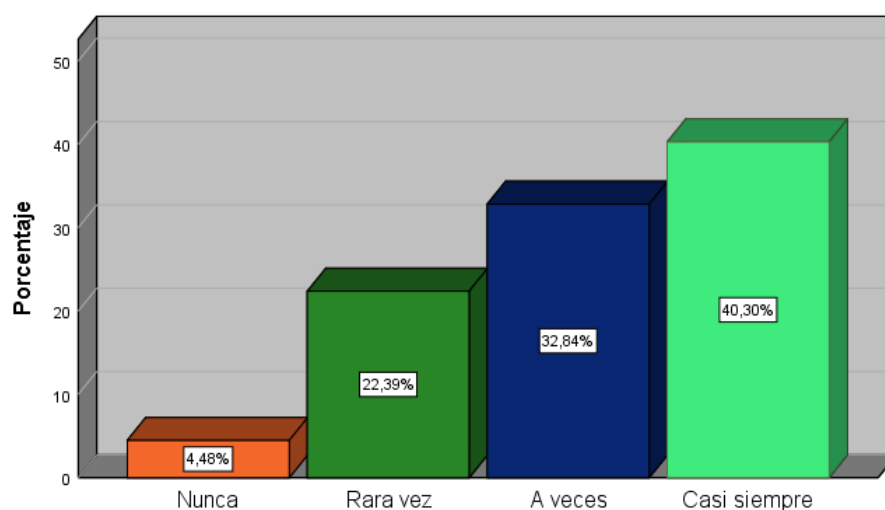
Reconocimiento de la etiqueta de color en los plaguicidas antes de su aplicación en la parcela

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	3	4.5
Rara vez	15	22.4
A veces	22	32.8
Casi siempre	27	40.3
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 19

Reconocimiento de la etiqueta de color en los plaguicidas antes de su aplicación en la parcela



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Aunque el 40.3% de los agricultores reconoce casi siempre las etiquetas de color en los plaguicidas, un 26.9% nunca o rara vez lo hace, lo que los expone a un manejo inadecuado y riesgos considerables. Este descuido se refleja en el uso de productos prohibidos y restringidos como Aldrin, Endosulfán y Paraquat, así como en la aplicación

excesiva de químicos como el Tifón, que se usa hasta 8 veces como herbicida y 6 como acaricida. El Factor de Excedencia (FE) indica que estas prácticas generan un efecto ambiental de moderado a crítico (FE mayor a 1.0), poniendo en peligro la salud de los agricultores, de la comunidad y la calidad del suelo y agua, evidenciando la necesidad urgente de medidas correctivas y de capacitación sobre el uso seguro de plaguicidas.

Tabla 27

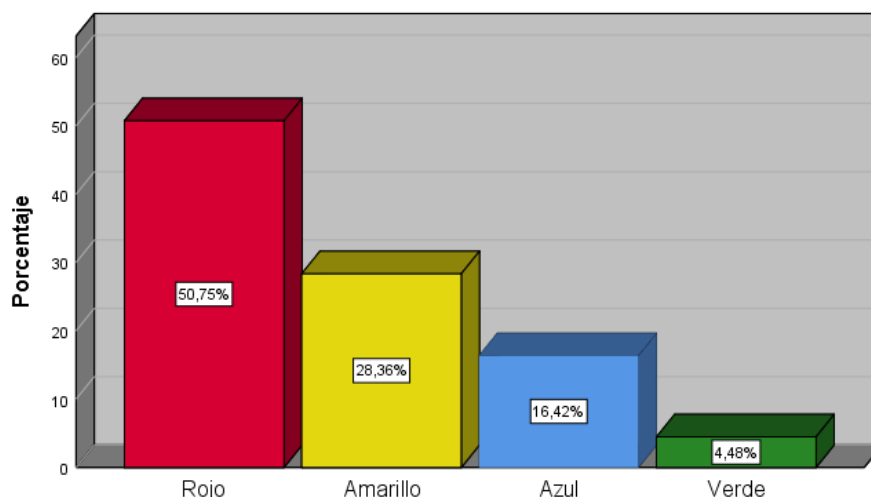
Color de etiqueta de plaguicidas utilizado con mayor frecuencia en la parcela

	Frecuencia	Porcentaje
Rojo (extremadamente tóxico)	34	50.7
Amarillo (altamente tóxico)	19	28.4
Azul (moderadamente tóxico)	11	16.4
Verde (ligeramente tóxico)	3	4.5
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 20

Color de etiqueta de plaguicidas utilizado con mayor frecuencia



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados muestran que el 50.7% de los agricultores utiliza plaguicidas de banda roja, clasificados como extremadamente tóxicos, mientras que un 28.4% emplea productos de banda amarilla, altamente tóxicos, sumando casi el 80% de aplicaciones con máximo riesgo para la salud y el ambiente. En contraste, solo un 16.4% usa plaguicidas

moderadamente tóxicos (banda azul) y apenas 4.5% ligeramente tóxicos (banda verde), lo que evidencia un manejo agrícola altamente riesgoso y desbalanceado, donde predominan sustancias de alta peligrosidad, aumentando la exposición de los agricultores y la contaminación de suelos y aguas en el anexo San Juan de Dios.

Tabla 28

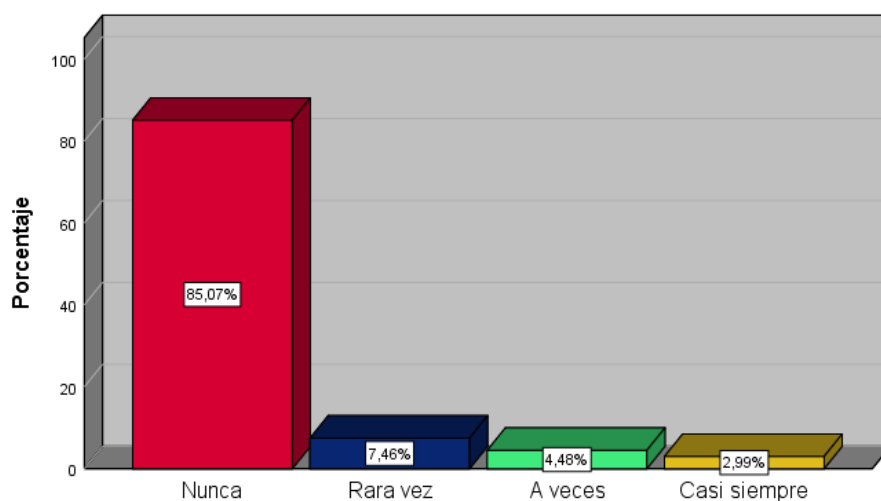
Recepción de asistencia técnica (capacitaciones) sobre el uso y manejo de plaguicidas

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	57	85.1
Rara vez	5	7.5
A veces	3	4.5
Casi siempre	2	3.0
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 21

Recepción de asistencia técnica sobre el uso y manejo de plaguicidas



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados evidencian que el 85.1% de los agricultores nunca ha recibido capacitación sobre el uso seguro de plaguicidas, mientras que solo un 3% recibe formación regularmente, lo que refleja una grave falta de asistencia técnica en el anexo San Juan de Dios. Esta carencia contribuye directamente a las prácticas de alto riesgo previamente observadas, como el uso de plaguicidas extremadamente tóxicos o prohibidos, la desatención

al etiquetado y la aplicación sin medidas de protección adecuadas, aumentando tanto la exposición de los agricultores como la contaminación del suelo y agua, y evidenciando la necesidad urgente de programas de capacitación y asesoramiento técnico.

Tabla 29

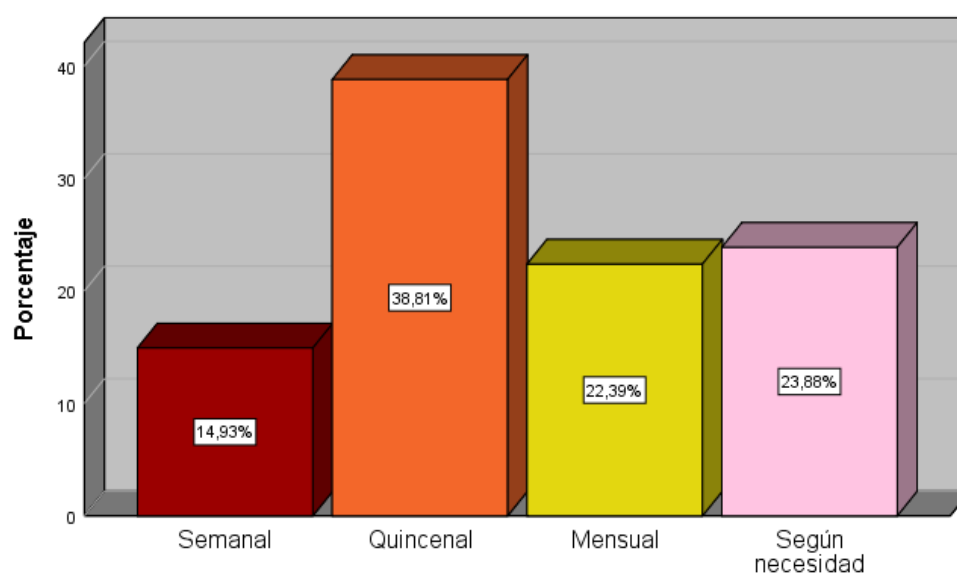
Frecuencia de aplicación de plaguicida

	Frecuencia	Porcentaje
Semanal	10	14.9
Quincenal	26	38.8
Mensual	15	22.4
Según necesidad	16	23.9
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 22

Frecuencia de aplicación de plaguicida



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los datos muestran que el 38.8% de los agricultores aplica plaguicidas quincenalmente y un 14.9% lo hace semanalmente, indicando que más de la mitad de los productores mantiene un uso frecuente de estos productos. Esta práctica, sumada al predominio de plaguicidas extremadamente tóxicos y prohibidos, junto con la falta de capacitación que afecta al 85.1% de los agricultores, configura un escenario de alto riesgo ambiental y sanitario, incrementando la probabilidad de contaminación acumulativa en suelos y aguas, así como la exposición de los agricultores y sus familias a sustancias

peligrosas. Aunque un 23.9% aplica plaguicidas solo según necesidad, estas prácticas más racionales son insuficientes para contrarrestar los efectos generados por la mayoría.

Tabla 30

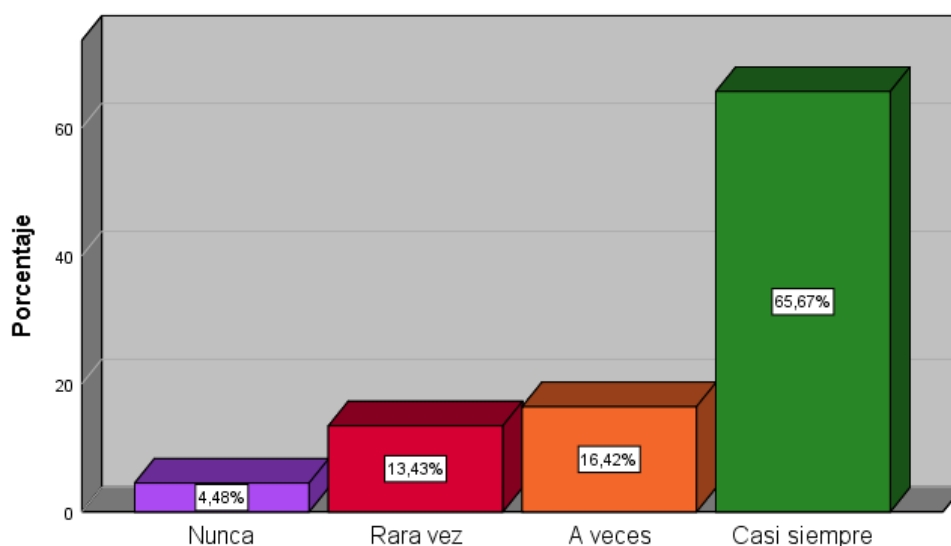
Percepción de la presencia de residuos de plaguicidas en el suelo o fuentes cercanas

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	3	4.5
Rara vez	9	13.4
A veces	11	16.4
Casi siempre	44	65.7
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 23

Presencia percibida de residuos de plaguicidas en el suelo o fuentes cercana



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

En la Figura 24 se muestra la percepción de los agricultores encuestados en cuanto a la presencia de residuos de plaguicidas en el suelo o fuentes cercanas, donde un 65% del total manifestó haber notado, casi siempre, la presencia de residuos, mientras que sólo un 4.5% del total nunca notó residuos y un 13.4% y 16.4% rara vez y a veces notaron estos residuos en el suelo o fuentes cercanas. Esto demuestra que la mayoría de la población

encuestada tiene noción sobre los productos químicos que emplea y puede identificar los residuos de estas sustancias.

Tabla 31

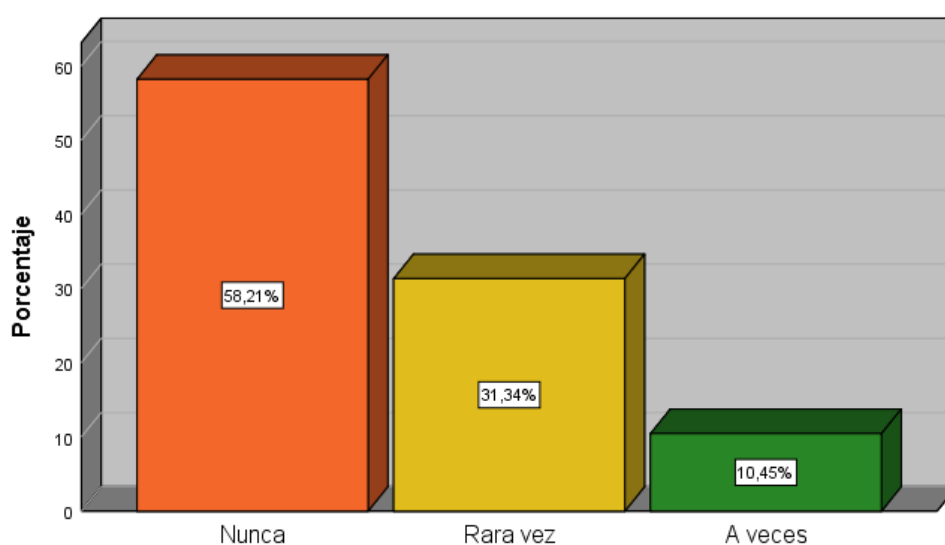
Ocurrencia de problemas de salud posteriores a la aplicación de plaguicidas en el ámbito familiar

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	39	58.2
Rara vez	21	31.3
A veces	7	10.4
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 24

Problemas de salud posteriores a la aplicación de plaguicidas en el ámbito familiar



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados indican que el 41.8% de los agricultores ha sufrido problemas de salud relacionados con plaguicidas, ya sea ocasional o esporádicamente, mientras que el 58.2% no ha presentado afectaciones; esta situación se agrava porque el 85.1% nunca recibió capacitación sobre manejo seguro y el 79.1% usa plaguicidas altamente tóxicos, factores que explican la frecuencia de problemas de salud, lo que exige la implementación urgente de programas de capacitación, protocolos médicos específicos, vigilancia epidemiológica y promoción de alternativas menos tóxicas, además de la necesidad de intervenciones

coordinadas entre los sectores agrícola y sanitario para proteger a los trabajadores y sus familias.

Tabla 32

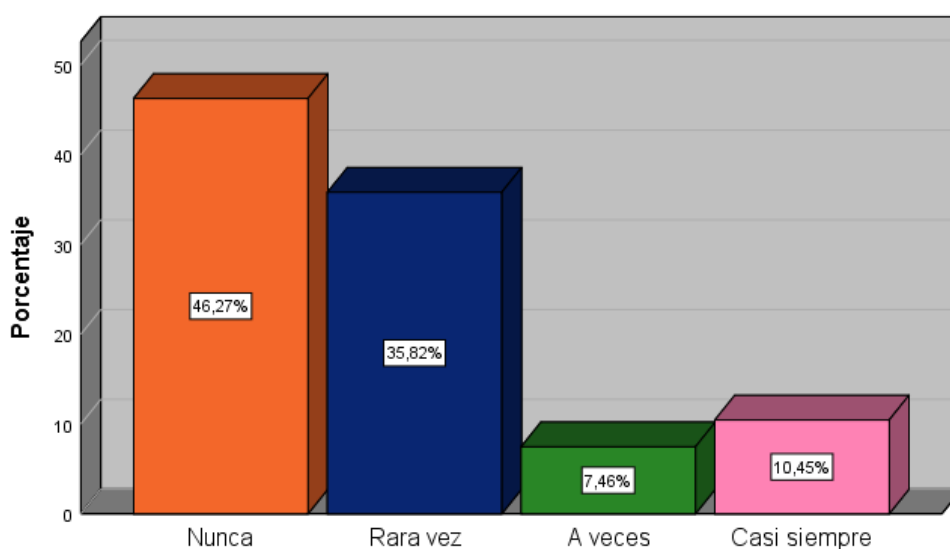
Uso de equipo de protección personal durante la aplicación de plaguicidas

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	31	46.3
Rara vez	24	35.8
A veces	5	7.50
Casi siempre	7	10.4
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 25

Uso de equipo de protección personal en la aplicación de plaguicidas

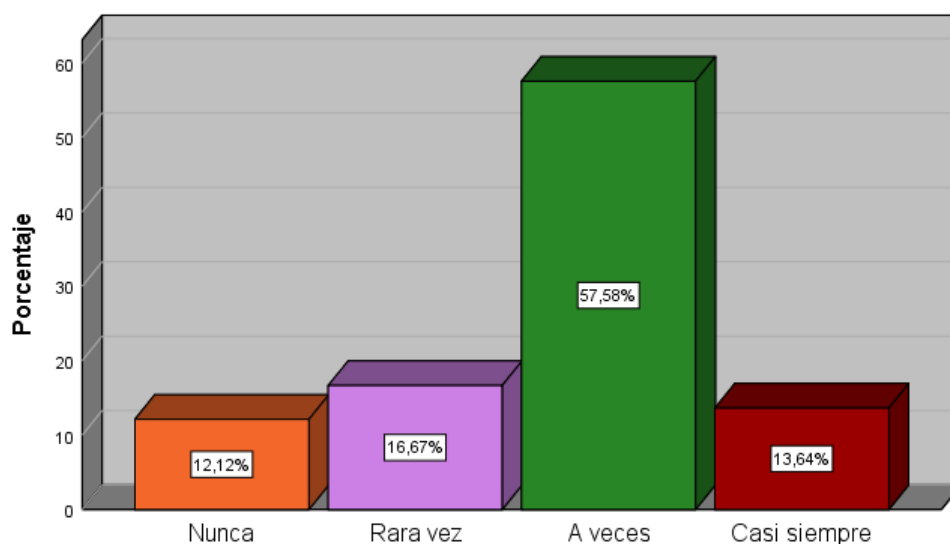


Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados muestran que el 46.3% de los agricultores nunca utiliza equipo de protección y un 35.8% lo hace solo ocasionalmente, lo que implica que más del 82% de los trabajadores está expuesto directamente a plaguicidas tóxicos sin protección adecuada. Solo un 10.4% usa protección casi siempre. Esta situación se agrava por el predominio de plaguicidas extremadamente peligrosos (banda roja y amarilla) y los problemas de salud reportados por los agricultores, evidenciando un riesgo significativo para su integridad y un manejo inadecuado de estos productos.

Tabla 33*Percepción de cambios en el suelo posteriores al uso de plaguicidas*

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	8	11.9
Rara vez	11	16.4
A veces	38	56.7
Casi siempre	9	13.4
Total	66	98.5

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados**Figura 26***Cambios percibidos en el suelo posteriores al uso de plaguicidas**Nota.* Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados revelan que el 56.7% de los agricultores a veces percibe cambios en las características del suelo después de aplicar plaguicidas, mientras que un 13.4% reporta alteraciones que siempre. Por otro lado, un 16.4% manifiesta haber notado modificaciones solo en raras ocasiones y un 11.9% declara no haber observado ningún cambio.

Los testimonios de los productores agrícolas detallan la naturaleza de estas transformaciones: cambios evidentes en la coloración de la tierra (“amarillo verdoso”), pérdida progresiva de fertilidad (“el suelo se va empobreciendo”) y disminución en el rendimiento de los cultivos (“antes obteníamos mejores productos”). Estas observaciones

coinciden con los reportes previos que mostraban la presencia frecuente de residuos químicos en los suelos.

Tabla 34

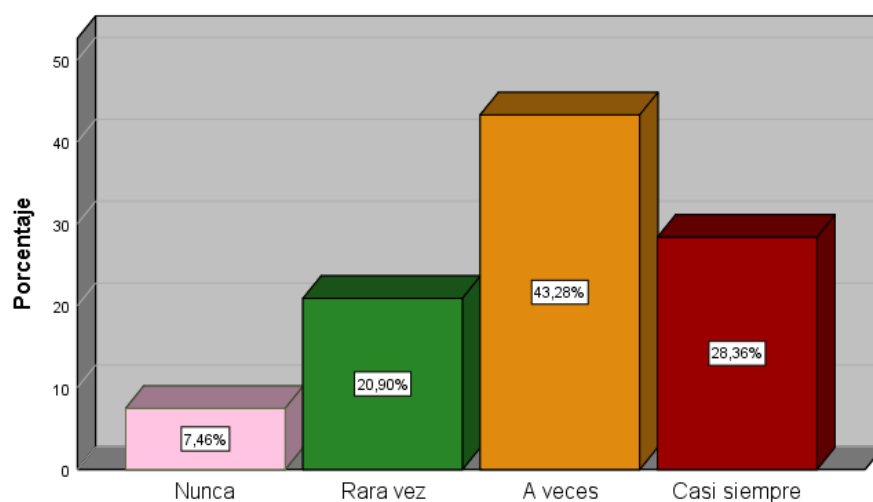
Percepción del efecto del uso de plaguicidas sobre la calidad del suelo en la parcela

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	5	7.5
Rara vez	14	20.9
A veces	29	43.3
Casi siempre	19	28.4
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 27

Efecto percibido del uso de plaguicidas sobre la calidad del suelo en la parcela



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

La mayoría de los agricultores reconoce que los plaguicidas afectan la calidad del suelo en sus parcelas, con un 43.3% que señala efectos ocasionales y un 28.4% que indica afectaciones casi constantes. Los testimonios describen suelos empobrecidos, con cambios de color y pérdida de productividad. Solo un 20.9% percibe daños poco frecuentes y un 7.5% niega cualquier efecto, lo que confirma que la problemática es generalizada. Esta percepción se relaciona directamente con el uso intensivo de plaguicidas altamente tóxicos y prácticas

inadecuadas, que aceleran la degradación del suelo y representan un riesgo ambiental significativo.

Tabla 35

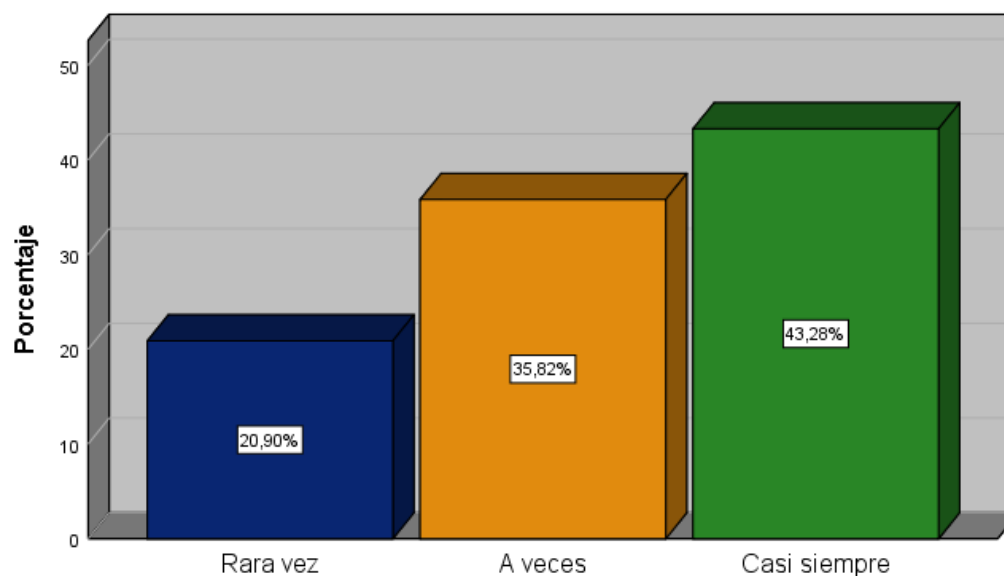
Percepción de cambios en los cultivos posteriores a la aplicación de plaguicidas

	Frecuencia	Porcentaje
Rara vez	14	20.9
A veces	24	35.8
Casi siempre	29	43.3
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 28

Cambios percibidos en los cultivos posteriores a la aplicación de plaguicidas



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

La mayoría de los agricultores ha notado cambios en sus cultivos tras aplicar plaguicidas, con un 43.3% que observa efectos casi siempre y un 35.8% de forma ocasional, sumando un 79% de productores afectados. Solo un 20.9% percibe alteraciones rara vez. Los testimonios describen daños como reducción del tamaño de las plantas, quemaduras foliares y otros perjuicios fisiológicos, ligados principalmente al uso de plaguicidas altamente tóxicos de clase roja y amarilla. Estos hallazgos evidencian la urgencia de implementar

prácticas agrícolas más seguras que disminuyan el efecto negativo en los cultivos y protejan la salud de las plantas.

Tabla 36

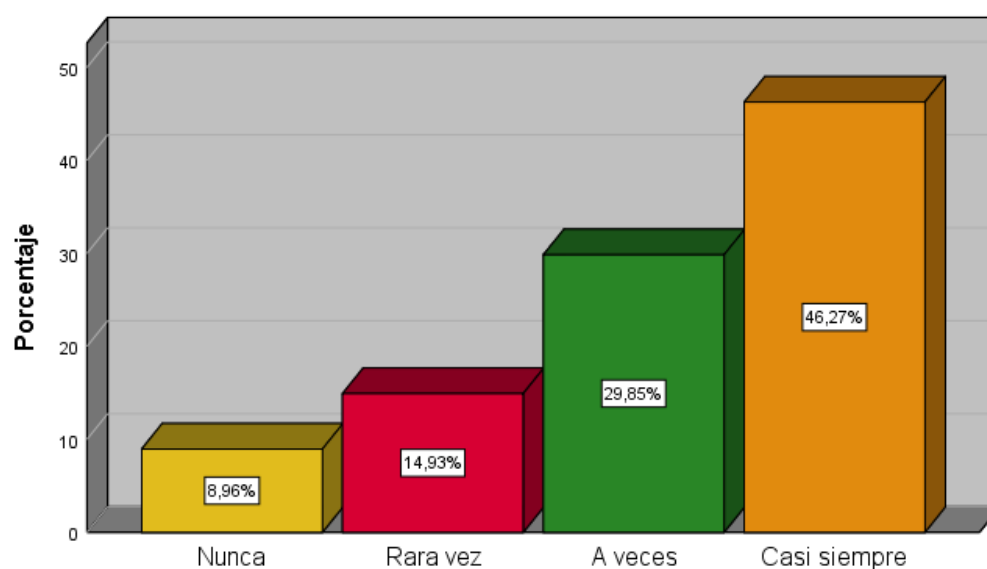
Percepción de la mejora en la calidad de los cultivos asociada al uso de plaguicidas

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	6	8.96
Rara vez	10	14.83
A veces	20	29.85
Casi siempre	31	46.27
Total	67	100.0

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 29

Mejora percibida en la calidad de los cultivos asociada al uso de plaguicidas



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

La percepción de los agricultores sobre los beneficios de los plaguicidas es mayoritaria, ya que un 46.27% considera que mejoran casi siempre la calidad de sus cultivos y un 29.85% lo observa de manera ocasional, respaldando comentarios como “buenos productos” y “mejora la calidad”. Sin embargo, un 23.79% no percibe mejoras significativas, lo que indica que la efectividad depende del tipo de plaguicida, dosis aplicadas y características del cultivo. Estos beneficios deben evaluarse junto con los efectos negativos

documentados, como la degradación del suelo, acumulación de residuos tóxicos y riesgos para la salud de los agricultores.

Tabla 37

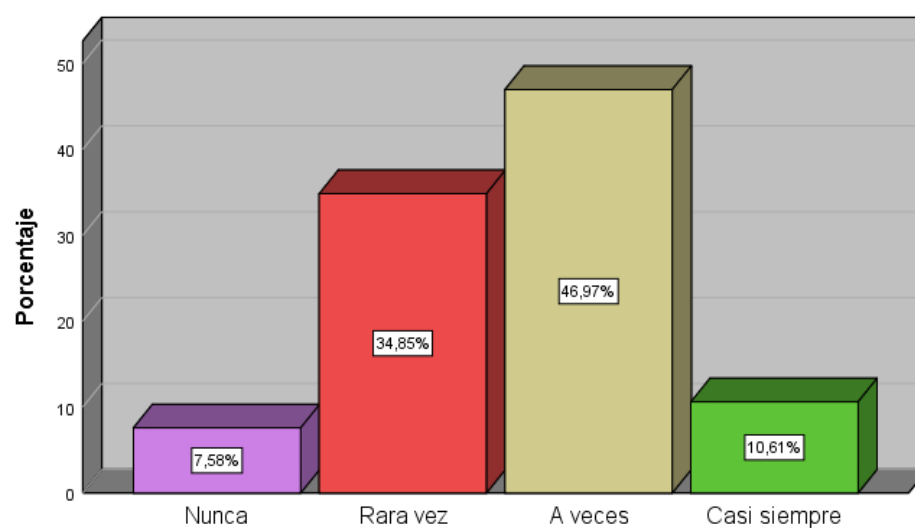
Percepción del efecto negativo del uso de plaguicidas en los cultivos

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	5	7.5
Rara vez	23	34.3
A veces	31	46.3
Casi siempre	7	10.4
Total	66	98.5

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 30

Efecto negativo percibido del uso de plaguicidas en los cultivos



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los resultados evidencian una visión ambivalente entre los agricultores respecto a los efectos de los plaguicidas ya que, mientras un 56.7% reconoce efectos negativos en sus cultivos, un 41.8% percibe pocos o ningún daño, lo cual se refleja en testimonios cualitativos que muestran tanto daños directos como la atribución de problemas al mal uso y la frecuencia de aplicación de estos productos; esta percepción dual contrasta con datos previos que indicaban que el 76% de los agricultores reportaba mejoras en la calidad de sus cultivos, lo que evidencia que si bien valoran los beneficios en el control de plagas, también son conscientes de los riesgos que implica exceder dosis o frecuencias recomendadas, mientras

que declaraciones como “no sé” sugieren limitaciones en el conocimiento técnico necesario para evaluar adecuadamente estos efectos, lo que subraya la importancia de fortalecer la capacitación para promover un manejo más seguro y eficiente.

Tabla 38

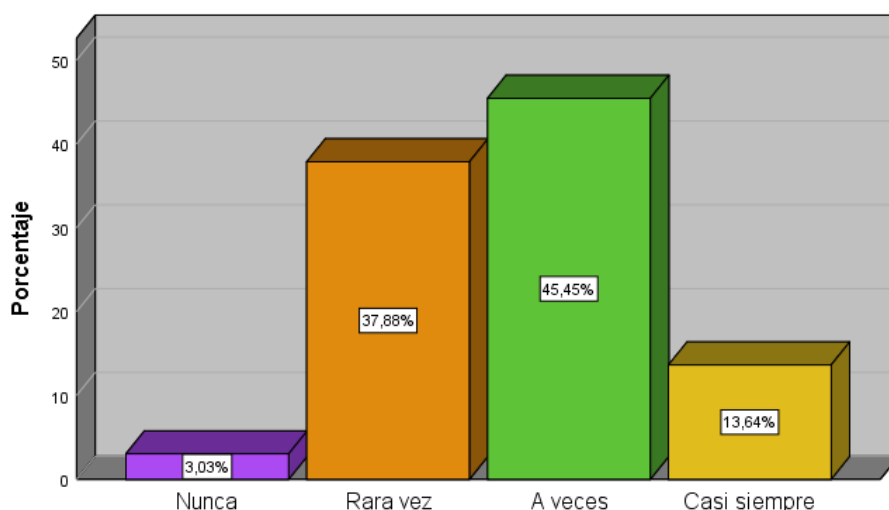
Percepción de los precios de los productos agrícolas en el mercado

	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	2	3.03
Rara vez	25	37.88
A veces	30	45.45
Casi siempre	9	13.64
Total	66	98.5

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 31

Precios percibidos de los productos agrícolas en el mercado



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

La percepción de los agricultores sobre los precios de sus productos en el mercado es moderada y desigual. Un 45.45% considera que a veces obtiene precios favorables, mientras que solo un 13.64% afirma que esto ocurre casi siempre. En contraste, un 37.88% rara vez logra buenos precios y un 3.03% nunca los consigue, lo que evidencia dificultades estructurales en la comercialización. Los testimonios indican que la baja rentabilidad se relaciona con intermediarios que capturan la mayor parte del valor y con problemas de adulteración que afectan la calidad percibida. Sin embargo, también se reconoce que mantener estándares de calidad y diferenciar los productos puede mejorar la rentabilidad,

reflejando la necesidad de mejorar el acceso directo a mercados, la información comercial y el control de calidad.

Tabla 39

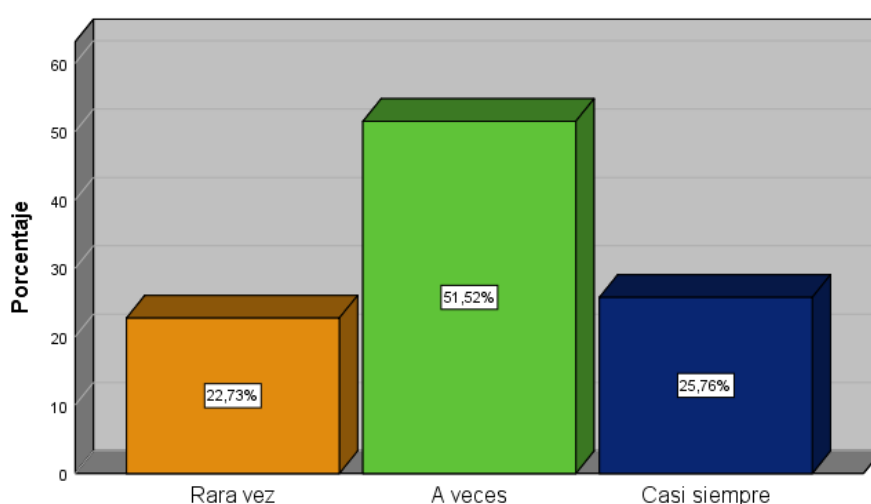
Percepción de los consumidores sobre los productos agrícolas

	Frecuencia	Porcentaje
Rara vez	15	22.73
A veces	34	51.52
Casi siempre	17	25.76
Total	66	98.5

Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Figura 32

Percepción percibida de los consumidores sobre los productos agrícolas



Nota. Elaboración en base a los datos recolectados

Los agricultores tienen percepciones mixtas sobre cómo valoran los consumidores sus productos. Un 51.52% considera que a veces reciben valoración positiva, mientras que un 25.76% cree que esto ocurre casi siempre. En contraste, un 22.73% reconoce que rara vez logra aceptación en el mercado. Los testimonios muestran el dilema que enfrentan: algunos justifican el uso de plaguicidas para obtener cultivos más grandes y atractivos visualmente, mientras que otros manifiestan preocupación por el rechazo creciente relacionado con residuos químicos o cambios en las preferencias hacia productos más naturales. Esta situación evidencia la tensión entre la producción intensiva y la demanda de alimentos más saludables y libres de contaminantes.

5.3. Respuesta para cada Hipótesis

5.3.1. Respuesta para la hipótesis específica 1

Los resultados obtenidos en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi, confirman que la composición química de los plaguicidas influye significativamente en la calidad del suelo, tal como se planteó en el objetivo. La evaluación mediante el Factor de Excedencia (FE) para metales pesados revela niveles muy bajos, con valores de FE para plomo (0.074), cromo (0.09) y níquel (0.43) que, aunque se mantienen por debajo del umbral crítico ($FE \leq 0.5$ en su mayoría), muestran una tendencia preocupante, especialmente para el níquel que se aproxima al límite de riesgo. Además, el Índice Global de Alteración del Suelo (IGAS) promedio de 0.62 confirma que, si bien los suelos se encuentran dentro de los límites permisibles según los Estándares de Calidad Ambiental (DS 011-2017-MINAM), la persistencia de metales asociados a plaguicidas categorizados como banda roja y amarilla —cuyos usos representan el 79.1% reportado en la zona— evidencia un riesgo latente de acumulación progresiva.

Asimismo, las alteraciones fisicoquímicas observadas, como un pH alcalino de 7.85 y conductividad elevada (0.81 mmhos/cm) en la muestra 03, coinciden con las áreas de mayor frecuencia de aplicación de plaguicidas (38.8% quincenal y 14.9% semanal), demostrando que los componentes químicos de estos productos generan cambios medibles en las propiedades del suelo. Aunque los indicadores individuales no superan los niveles críticos, el efecto combinado reflejado en el IGAS y las tendencias detectadas respaldan la necesidad de establecer acciones preventivas y un monitoreo constante.

En conclusión, la correlación entre el uso predominante de plaguicidas altamente tóxicos, la presencia de metales pesados y las variaciones fisicoquímicas valida la hipótesis específica 1, demostrando que la composición química de los plaguicidas está deteriorando progresivamente la calidad del suelo en el área estudiada. Por ello, se recomienda

implementar programas de seguimiento ambiental y adoptar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan estos efectos a largo plazo.

5.3.2. Respuesta para la hipótesis específica 2

Los resultados confirman que la concentración y la frecuencia de aplicación de plaguicidas influyen significativamente en la contaminación progresiva del suelo en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi. Según el análisis basado en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Perú) y el Factor de Excedencia (FE), los valores de plomo (Pb, FE = 0.074), cadmio (Cd, FE = 0.052) y cromo total (Cr, FE = 0.09) se encuentran en la categoría de afectación muy baja, manteniéndose por debajo de los umbrales críticos.

No obstante, la frecuencia elevada de aplicaciones —con un 38.8% de agricultores aplicando plaguicidas quincenalmente y un 14.9% semanalmente—, junto con la acumulación progresiva de estos metales en suelos con alta proporción de arcilla (42% en la muestra 03), constituye un riesgo latente de contaminación a largo plazo. El Índice Global de Alteración del Suelo (IGAS) de 0.62 muestra que, aunque el suelo se mantiene técnicamente dentro de los límites permisibles ($IGAS \leq 1$), se evidencian tendencias de acumulación de metales pesados asociadas al uso intensivo de plaguicidas.

Asimismo, las variaciones fisicoquímicas observadas, como un pH alcalino de 7.85 y una conductividad elevada de 0.81 mmhos/cm en la muestra 03, coinciden con las zonas de aplicación frecuente y confirman la influencia de los plaguicidas sobre las propiedades del suelo. Testimonios cualitativos como “el suelo se va empobreciendo” refuerzan la evidencia de una degradación progresiva relacionada con el uso continuo de estos productos.

En conclusión, la relación entre la aplicación repetida de plaguicidas, la concentración de metales pesados y las alteraciones fisicoquímicas valida la hipótesis de que la concentración y frecuencia de uso son factores determinantes en la contaminación del suelo. Por ello, se recomienda implementar un monitoreo constante, especialmente enfocado

en metales móviles como el cadmio, y realizar análisis de bioaccesibilidad para evaluar el riesgo real de contaminación y sus posibles efectos sobre la salud humana y el ambiente.

5.3.3. Respuesta para la hipótesis específica 3

Los resultados confirman científicamente que los plaguicidas afectan negativamente la calidad del suelo en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi, a través de un análisis integral que considera diversos factores. Primero, los indicadores cuantitativos basados en los Estándares de Calidad Ambiental del Perú (ECA-Perú) y el Factor de Excedencia (FE) muestran que, aunque las concentraciones de plomo (Pb, FE = 0.074), cadmio (Cd, FE = 0.052) y cromo total (Cr, FE = 0.09) se clasifican como de nivel muy bajo y están por debajo de los umbrales críticos, el Índice Global de Alteración del Suelo (IGAS = 0.62) indica que el suelo se mantiene dentro de los límites permisibles, pero con riesgos latentes que requieren atención.

En segundo lugar, los patrones de degradación multifactorial reflejan un deterioro integral del suelo, donde las alteraciones químicas se evidencian en un pH alcalino (7.85) y una conductividad elevada (0.81 mmhos/cm) en áreas con alta frecuencia de aplicación de plaguicidas (53.7% aplica quincenal o semanalmente). El deterioro físico se manifiesta en la compactación elevada (1.525 g/cm³) y la porosidad reducida (24.93%) de suelos arcillosos (42% de arcilla), los cuales presentan mayor capacidad para retener contaminantes. Asimismo, el efecto biológico es notorio, dado que el 71.7% de los agricultores reporta pérdida de fertilidad atribuida a daños en la microbiota del suelo, confirmando una alteración negativa en la dinámica biológica.

Además, la evidencia cualitativa respalda estos hallazgos cuantitativos y físicos, ya que el 65.7% de los agricultores observa residuos visibles en sus tierras como manchas amarillentas y verdosas, mientras que el 56.7% reporta efectos adversos directos en sus cultivos, tales como hojas quemadas.

En conclusión, la hipótesis queda confirmada debido a la relación espacial entre las zonas con alta frecuencia de aplicación de plaguicidas y el deterioro observado en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Asimismo, se evidencia una tendencia acumulativa de metales pesados, ejemplificada por el aumento del plomo en un 344% entre la Muestra 01 y la Muestra 03, junto con la naturaleza arcillosa del suelo y su bajo drenaje, que favorecen la acumulación y persistencia de contaminantes. Estos resultados subrayan la urgente necesidad de establecer un monitoreo permanente y promover prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el uso de plaguicidas tóxicos para prevenir un deterioro irreversible de la calidad del suelo en la zona.

5.3.4. Respuesta para la hipótesis general

Los hallazgos de esta investigación confirman la hipótesis general de que existe una relación significativa entre el uso de plaguicidas y la calidad del suelo en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi. Si bien los análisis de laboratorio muestran que los niveles de metales pesados como plomo ($FE = 0.074$), cadmio ($FE = 0.052$), cromo ($FE = 0.09$) y níquel ($FE = 0.43$) aún se ubican dentro de la categoría de muy bajo nivel y por debajo de los límites establecidos por la normativa ambiental peruana (DS 011-2017-MINAM), los valores también dejan entrever una tendencia acumulativa, especialmente en el caso del níquel, que se aproxima al umbral de riesgo ($FE \geq 0.5$).

El Índice Global de Evaluación del Suelo ($IGIS = 0.62$) indica que, aunque los suelos aún se mantienen dentro de lo “permitido” ($IGIS \leq 1$), existe una señal de alerta: las propiedades químicas del suelo ya muestran alteraciones vinculadas al uso frecuente de plaguicidas, sobre todo en las zonas donde el 38.8% de agricultores aplica quincenalmente y un 14.9% semanalmente. Esto se refleja en un pH más alcalino (7.85 en la muestra 03) y en una conductividad eléctrica elevada (0.81 mmhos/cm), indicadores que revelan cómo la tierra está cambiando gradualmente debido a la acción de los compuestos químicos.

No se trata solo de datos de laboratorio: los propios agricultores perciben estas transformaciones. Más del 71.7% señala que sus tierras están perdiendo fertilidad, mientras que un 65.7% observa residuos visibles en el suelo, como manchas amarillentas y verdosas después de las aplicaciones. A ello se suma que el 56.7% reporta daños en sus cultivos, como hojas quemadas o debilitadas, lo que se relaciona directamente con los efectos químicos y físicos detectados en las muestras analizadas.

En cuanto a las propiedades físicas, la compactación (1.525 g/cm^3) y la baja porosidad (24.93%) de los suelos arcillosos (42% de arcilla en la muestra 03) favorecen la retención de contaminantes y dificultan la regeneración natural del suelo. Esto confirma que el problema no es solo químico, sino también físico y biológico, ya que las alteraciones en la microbiota reducen la capacidad del suelo para sostener la vida vegetal.

En conclusión, los resultados estadísticos y la percepción de los agricultores validan la hipótesis general: el uso intensivo y repetido de plaguicidas guarda una relación directa con el deterioro progresivo de la calidad del suelo, evidenciada en cambios medibles de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Aunque los indicadores aún se mantengan dentro de los límites establecidos, la evidencia científica y empírica revela un riesgo latente de acumulación y degradación que, de no atenderse, podría volverse irreversible en el futuro. Por ello, es urgente promover prácticas agrícolas más sostenibles, fortalecer el monitoreo ambiental y reducir el uso de plaguicidas altamente tóxicos en la zona.

5.4. Discusión

Los resultados obtenidos en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi, evidenciaron valores bajos de metales pesados, con factores de excedencia (FE) de plomo (0.074), cadmio (0.052), cromo (0.09) y níquel (0.43), además de un índice global de efecto en suelo (IGIS) de 0.62 que, aunque se encuentra dentro de los límites permitidos por el D.S. N.º 011-2017-MINAM, sugiere un riesgo latente de acumulación progresiva. Esta situación guarda

relación con lo expuesto por Rangel et al. (2023) en México, quienes observaron que, aun cuando muchos agricultores aplicaban las dosis recomendadas de plaguicidas, el 48% manifestó síntomas de intoxicación aguda y el 98% solo utilizaba protecciones básicas, lo que demuestra que la exposición constante, incluso dentro de los márgenes considerados seguros, genera efectos acumulativos e invisibles. Algo similar se percibe en Curahuasi, donde, pese a que las concentraciones de contaminantes no superan los límites normativos, el 65.7% de los agricultores afirmó notar residuos visibles tras las fumigaciones, reflejando que la acumulación ya es una realidad en los suelos agrícolas locales.

De manera complementaria, los hallazgos también se asemejan a los reportados por Jáquez et al. (2022) en Durango, México, quienes concluyeron que los plaguicidas empleados en cultivos de maíz y alfalfa ocasionaban pérdidas ambientales y económicas superiores a los 24 millones de pesos al año, como consecuencia del uso intensivo de agroquímicos. En el caso de Curahuasi, aunque no se dispone de un cálculo económico, los patrones de uso son similares, ya que el 38.8% de los agricultores aplica plaguicidas quincenalmente y un 14.9% lo hace semanalmente, lo cual coincide con las alteraciones registradas en el análisis fisicoquímico del suelo. En efecto, la muestra 03 presentó un pH alcalino de 7.85 y una conductividad eléctrica de 0.81 mmhos/cm, condiciones que, si bien aún se mantienen dentro de los rangos aceptables, revelan un proceso gradual de alcalinización y aumento de sales disueltas que puede comprometer la estabilidad química y la productividad del suelo con el tiempo.

En el contexto nacional, Lima (2024) reportó en la comunidad de Villa Sicata de Ilave valores de materia orgánica inferiores al 2% y un alto nivel de contaminación por agroquímicos, evidenciando suelos empobrecidos y degradados. En contraste, los resultados obtenidos en Curahuasi mostraron porcentajes más elevados, que oscilaron entre 6.30% y 12.80%, aunque todos fueron menores al registrado en la muestra blanco, correspondiente

al suelo sin actividad agrícola, que alcanzó un 13.20%. Esta diferencia revela que, aunque la fertilidad del suelo aún es aceptable, existe una tendencia descendente que sugiere una pérdida paulatina de materia orgánica como consecuencia del uso constante de plaguicidas. A ello se suma una porosidad de 24.93% y una densidad aparente de 1.525 g/cm³, valores que indican una compactación considerable y menor aireación, condiciones que dificultan la infiltración del agua y la regeneración natural del suelo, generando un entorno menos favorable para la actividad biológica y el crecimiento vegetal.

Por otro lado, Alvarado (2022) en Ica comprobó que el uso excesivo de plaguicidas organofosforados altera de manera significativa las propiedades químicas del suelo, llegando incluso a superar los límites establecidos por la normativa ambiental. En Curahuasi se observa un comportamiento similar, ya que, aunque los indicadores de FE e IGIS aún se ubican dentro de la categoría de efecto muy bajo, los cambios químicos son evidentes. En particular, la muestra 03 registró un 1.12% de carbonato de calcio, lo que explica el aumento del pH y la ligera alcalinidad detectada. Esta alteración coincide con la percepción de los agricultores, pues el 71.7% manifestó que sus tierras están perdiendo fertilidad, lo que confirma que el uso reiterado de plaguicidas no solo afecta la composición química del suelo, sino también su productividad agrícola y su capacidad de regeneración natural.

Asimismo, los resultados se relacionan con el estudio regional de Mendoza y Yupanqui (2023) realizado en Sucaraylla, Andahuaylas, donde se detectaron residuos de carbofurán en concentraciones de 0.1 mg/kg, superando diez veces los límites máximos permitidos y presentando correlaciones directas con el contenido de arcilla y materia orgánica. Este comportamiento también se observa en Curahuasi, ya que la muestra 03, con un 42% de arcilla, fue la que presentó las mayores alteraciones fisicoquímicas y las concentraciones más elevadas de metales pesados, confirmando que los suelos con textura

arcillosa tienen una mayor capacidad para retener plaguicidas y metales, lo que incrementa su persistencia y prolonga los efectos de contaminación a largo plazo.

En conjunto, los resultados de esta investigación revelan que, si bien los niveles actuales de metales pesados aún se mantienen por debajo de los límites establecidos por el ECA, las condiciones locales, la textura del suelo, la frecuencia de aplicación de plaguicidas y la ausencia de asistencia técnica, ya que el 85.1% de los agricultores nunca recibió capacitación sobre su uso seguro, están favoreciendo un proceso silencioso de acumulación y degradación del suelo agrícola. Esta situación, además de afectar la fertilidad y la productividad, pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y la salud de los trabajadores rurales.

En síntesis, los diferentes estudios revisados y los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que el uso de plaguicidas genera efectos negativos progresivos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El valor principal de este trabajo radica en que constituye el primer estudio realizado en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi, aportando evidencia científica y contextualizada sobre cómo el uso intensivo de plaguicidas está alterando parámetros como el pH, la materia orgánica, la densidad y la biodiversidad edáfica. De este modo, la investigación no solo aporta información fundamental para la gestión sostenible de los suelos agrícolas en la región de Apurímac, sino que también ofrece una base sólida para el desarrollo de futuras investigaciones y la formulación de políticas orientadas a reducir el efecto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas agrícolas andinos.

VI. Conclusiones

- Los resultados obtenidos confirman que el uso de plaguicidas está afectando de manera significativa la calidad del suelo en el anexo San Juan de Dios, Curahuasi. Aunque los niveles de metales pesados se mantienen por debajo de los límites establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas como el arsénico (3.36 mg/kg frente al límite de 50 mg/kg) y el plomo (5.186 mg/kg frente al límite de 70 mg/kg), se evidencia una tendencia acumulativa que refleja un riesgo progresivo de contaminación. Esta situación se ve reforzada por las alteraciones físicoquímicas observadas, entre ellas un pH alcalino (7.85), conductividad eléctrica elevada (0.81 mmhos/cm) y densidad aparente alta (1.525 g/cm³), valores que, si bien aún son aceptables, indican cambios graduales en la estructura y equilibrio del suelo.
- Se comprobó que los plaguicidas de banda roja y amarilla, que representan el 79.1% de los productos utilizados, tienen un efecto directo sobre la calidad del suelo, provocando modificaciones en su composición y textura, particularmente en los suelos con mayor contenido de arcilla (42% en la muestra 03). Asimismo, se evidenció una reducción en la materia orgánica (6.30% a 12.80%) respecto al suelo sin actividad agrícola (13.20%), lo que confirma una pérdida paulatina de fertilidad. Si bien las concentraciones de cadmio (0.073 mg/kg) y cromo (35.9 mg/kg) aún se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles de los ECA (1.4 mg/kg y 400 mg/kg, respectivamente), la tendencia al aumento sostenido sugiere un proceso de acumulación silenciosa que podría intensificarse con el uso continuo.
- El estudio permitió establecer que las zonas con mayor frecuencia de aplicación de plaguicidas particularmente aquellas con aplicaciones quincenales (38.8%) y semanales (14.9%) presentan las alteraciones más notorias en los parámetros

analizados, destacando el incremento del arsénico (3.05 mg/kg) y de la conductividad eléctrica (0.81 mmhos/cm). Estos resultados se correlacionan con los rangos de efecto moderado descritos en los estándares ambientales, lo que confirma que la repetición constante en el uso de agroquímicos favorece procesos acumulativos y deteriora gradualmente la calidad del suelo, incluso cuando los valores individuales se mantienen dentro de lo permitido.

- Se determinó que el efecto negativo de los plaguicidas trasciende los análisis de laboratorio y es percibido directamente por los agricultores, ya que el 71.7% manifestó que sus tierras están perdiendo fertilidad y el 65.7% observa residuos visibles tras las fumigaciones. Este deterioro se sustenta en los indicadores técnicos de compactación elevada (1.525 g/cm³), porosidad reducida (24.93%) y acumulación de metales como cromo (35.9 mg/kg) y níquel (21.7 mg/kg), cuyos valores, aunque no superan los límites del ECA, reflejan una tendencia preocupante hacia la degradación y contaminación progresiva del suelo. En conjunto, estos hallazgos demuestran que el uso intensivo de plaguicidas está transformando las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, comprometiendo su sostenibilidad y la salud de los ecosistemas agrícolas de Curahuasi.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Curahuasi, en coordinación con la Dirección Regional de Agricultura de Apurímac, implementar un programa permanente de monitoreo del suelo agrícola que permita evaluar de manera periódica los niveles de metales pesados (As, Pb, Cd, Cr) y los principales parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y densidad aparente). Este programa debe tomar como referencia los límites máximos permisibles de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Perú) y aplicar indicadores como el Factor de Excedencia (FE) y el Índice Global de Impacto en Suelo (IGIS), a fin de identificar tempranamente las zonas más vulnerables y priorizar acciones preventivas de restauración o mitigación ambiental.
- Se recomienda al Ministerio de Agricultura y Riego (MIDAGRI) promover la sustitución progresiva de plaguicidas de clase roja y amarilla por productos menos tóxicos (clases azul y verde), de acuerdo con la clasificación de la OMS. Esta medida debe complementarse con capacitaciones técnicas continuas dirigidas a los agricultores en el uso responsable de agroquímicos y en prácticas sostenibles como el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Asimismo, se sugiere la implementación de parcelas demostrativas en las comunidades del distrito de Curahuasi, que sirvan como espacios educativos donde se evidencien los beneficios económicos y ambientales de reducir el uso de plaguicidas altamente peligrosos.
- Se recomienda a las autoridades locales y asociaciones de agricultores establecer normativas y acuerdos comunales que regulen la frecuencia de aplicación de plaguicidas, considerando el tipo de cultivo, las condiciones del suelo y la toxicidad del producto utilizado. Del mismo modo, se debe promover la creación de un registro de aplicaciones por parcela, ya sea físico o digital, que permita llevar un control

transparente sobre los productos aplicados, las dosis utilizadas y los periodos de carencia respetados. Estas acciones contribuirán a reducir la exposición continua, minimizar la acumulación de contaminantes y fomentar un uso más racional y seguro de los plaguicidas.

- Se recomienda a la Dirección Regional de Agricultura de Apurímac ejecutar un plan de recuperación y manejo sostenible del suelo agrícola, priorizando las zonas con mayor impacto químico y físico. Este plan debe contemplar la aplicación de enmiendas orgánicas como compost, humus y biochar en las áreas donde el Factor de Excedencia (FE) supere 0.5, además de la implementación de cultivos de cobertura que mejoren la porosidad del suelo (>35%) y la rotación de cultivos en parcelas con densidad aparente superior a 1.5 g/cm³. Dichas estrategias permitirán mejorar la estructura del suelo, reducir la acumulación de metales pesados y recuperar la fertilidad natural de los suelos agrícolas de Curahuasi.

VIII. Referencias

- Adam Sigler, W. &. (2012). *Nitrato y nitrito*. Universidad Estatal de Montana, Programa de Extensión en Calidad del Agua, Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales.
- https://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Nitrate%202012-11-15-SP.pdf
- Alvarado, E. (2022). *Impacto ambiental por efecto del uso de los plaguicidas organofosforados en los suelos agrícolas, provincia de Ica-2020*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
- <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0357b206-b7ec-4264-a503-c50e269967ee/content>
- Alvarez, V. (2010). Protocolo de vigilancia y control de intoxicacione. *Subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública*, 46.
- Álvaro, R., & M, C. (2020). *Uso de agroquímicos en la producción de papa y su impacto en el suelo, en el Perú: Revisión Sistemática*. Universidad cesar Vallejo.
- <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61365>
- Atkinson, R., Horna, D., Barrenechea, J., Flores, M., Ramírez, M., Sánchez, R., Arbizu, C., & Maurer, A. (2023). *Análisis y Recomendaciones sobre el Hallazgo de Excesivos Residuos de Plaguicidas en Productos Agrícolas en el Perú*.
- Azañero, L., Ñique, M., & Florida, N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Rev. Tayacaja*, 3(1), 112-125.
- <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>
- Bedmar, F. (2011). ¿Queson los plaguicidas? *Universidad Nacional de Mar del Plata*, 21(122).
- <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Usotierra/CH%20Plaguicidas%20fin.PDF>

- Bembibre, C. (febrero de 2011). *Definición de Suelo Agrícola*. [http://significado.com/:
https://significado.com/suelo-agricola/](http://significado.com/:https://significado.com/suelo-agricola/)
- Broca, E. (12 de junio de 2020). *Diagrama para la determinación de las fuentes de peligros*. Docsity: <https://www.docsity.com/es/docs/diagrama-para-la-determinacion-de-las-fuente-de-peligros/5651644/>
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos. <https://es.scribd.com/document/575484795/CARRASCO-DIAZ-S-Metodologia-de-La-Investigacion-Cientifica-OCR-Por-Ganz1912>
- Castillo, B., Ruiz, J., Manrique, M., & Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Revista espacios*, 41(10), 11. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/20411011.html>
- Castro, A., Delgado, D., & Gonzáles, R. (2022). La degradación del suelo, impactos y contexto normativo. *Sello Editorial Esmic*, 11-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.21830/9786289544626.01>
- Chi, T. (2016). *Plaguicidas organoclorados y anticolinérgicos en roedores de Laguna de Términos, Campeche*. El Colegio de la Frontera Sur. http://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1559/1/100000057701_documento.pdf
- Concha, C. (2021). *Estudio del comportamiento ambiental de plaguicidas en Chile mediante estimaciones computacionales*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/181948/Estudio-del-comportamiento-ambiental-de-plaguicidas.pdf>
- Costeau, J. (2008). Impacto ambiental. Em J. Costeau, *Impacto ambiental* (pp. 132-162). <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448167155.pdf>

- Cremona, M., & Enriquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*, 73, 5-8.
<https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>
- Cruz, A. (2017). *Situación actual del consumo de pesticidas en el Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2976/E71-C7-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Decreto Legislativo N° 1059. (2015). *Ley general de sanidad agraria*. Diario Oficial El Peruano.
https://www.mef.gob.pe/contenidos/servicios_web/conectamef_quechua/pdf/normas_legales_2012/NL20150129.pdf
- Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. (diciembre de 02 de 2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. El Peruano:
https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/011-2017-minam_0.pdf
- Del Puerto, A., Suárez, S., & Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Redalyc*, 52(3), pp. 372-387.
<https://www.redalyc.org/pdf/2232/223240764010.pdf>
- Delgado, J., Alvarez, A., & Yáñez, J. (2018). Uso indiscriminado de pesticidas y ausencia de control sanitario para el mercado interno en Perú. *Rev Panam Salud Publica*, 42(3), 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.3>
- Díaz, G. (2019). *Evaluación de residuos de plaguicidas en cultivos hortícolas en el valle Chillón*. Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Díaz, J. (2020). Identificación y cuantificación de residuos de plaguicidas en hortalizas de alto consumo comercializadas en mercados y supermercados de Managua. *Revista*

<https://doi.org/https://doi.org/10.5377/torreon.v8i23.9532>

Díaz, J., Barraza, A., Yáñez, L., & Hernández, L. (2023). Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México. *Scielo*, 63(4).
<https://doi.org/https://doi.org/10.21149/12297>

Diez, C., Barra, R., & Vidal, G. (21 de 09 de 2021). *Dos caras de los plaguicidas*.
<https://www.ciperchile.cl/2021/09/21/dos-caras-de-los-plaguicidas/>

Elias, D. (2022). Impacto de la toxicidad de los residuos sólidos generados por plaguicidas.
Revista Kawsaypacha(9), pp. 124-139.
<https://doi.org/https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202201.006>

Espinel, C. (2024). *Memorias del Simposio Internacional de Bioinsumos para una Agricultura Sustentable*. UDLA-INIAP. Quito-Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Estrada, R., Hidalgo, C., Guzman, R., Almaraz, J., Navarro, H., & Etchevers, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*.

ETO. (1974). *Organophosphorus pesticides*. Organic and Biological chemistry.

FAO. (2022). *Evaluación mundial de la contaminación del suelo*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://doi.org/10.4060/cb4827es>

FAO. (16 de mayo de 2025). *¿Qué es el suelo?* Food and Agriculture Organization of the United Nations: <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

Felipe, C. (2015). Los suelos en el Perú. *La Revista Agraria*.
<https://doi.org/https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/suelos-peru.pdf>

- Fernandez, D., Mancipe, L., & Fernandez, D. (2010). INTOXICACIÓN POR ORGANOFOSFORADOS. *Scielo*, 18(1), 84-92.
<http://www.scielo.org.co/pdf/med/v18n1/v18n1a09.pdf>
- Fertilab. (2019). *ota técnica Fertilab 19-025: La salinidad del suelo y su fertilidad*. Fertilab.
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-025-La-salinidad-del-suelo-y-su-fertilidad.pdf>
- FRAC España. (2019). *Clasificación de fungicidas y bactericidas según el modo de acción*. FMC Agro.
https://fmcagro.es/img/folleto_Clasificaci%C3%B3n%20de%20fungicidas%20y%20bactericidas%20seg%C3%BAn%20el%20modo%20de%20acci%C3%B3n.pdf
- Franco, P. (2016). *Rodenticidas: Clasificación, mecanismo de acción, autorización y registro*. España: AGQ Labs España. <https://agqlabs.es/wp-content/uploads/Rodenticidas.pdf>
- Frías, D. (2022). *Apuntes de estimación de la fiabilidad de consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida*. España: Universidad de Valencia.
<https://www.uv.es/friasnav/AlfaCronbach.pdf>
- Gomero, L. (2020). Plaguicidas y su impacto en la agricultura y la salud:Hacia un enfoque agroecologico. *Red de accion en agricultura aalternativa(RAAA)*.
- Gomez, B. (2023). Impacto ambiental por uso y manejo de plaguicidas químicos en cultivo de manzanas variedad San Antonio – Antioquía. *Cátedra Villarreal Posgrado* , 2(2), pp. 77-92. <https://doi.org/https://doi.org/10.24039/rcvp2023221696>
- Gonzales, P. (2019). Efecto de los plaguicidas sobre la salud.
- González, P. (2019). *Plaguicidas*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26830/1/Plaguicidas_Antecedentes_generales.pdf

- Gutiérrez, R., & Morales, G. (31 de mayo de 2021). *Opciones para sustituir plaguicidas altamente peligrosos*. <https://idp.cimmyt.org/opciones-para-sustituir-plaguicidas-altamente-peligrosos/>
- Henao, S., & Nieto, O. (s. f.). *Diagnóstico, Tratamiento y Prevención de Intoxicaciones Agudas Causadas por Plaguicidas*.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGrawHill. <https://bellasartes.upn.edu.co/wp-content/uploads/2024/11/METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-Sampieri-Mendoza-2018.pdf>
- Hilal, E., & Baskut, T. (09 de marzo de 2017). *Los plaguicidas provocan 200.000 muertes al año*. Lavanguardia: <https://www.lavanguardia.com/natural/20170309/42701670609/plaguicidas-herbicidas-insecticidas-muertes-intoxicacion-onu.html>
- Huaranga., e. a. (2021). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992021000100149&script=sci_arttext
- Idrogo, G. (2019). *Efecto del NPK del suelo y el piso altitudinal en la acidez del mucílago del cacao criollo (Theobroma cacao L.) en el distrito de Copallín, Bagua, Amazonas*. Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (7 de abril de 2025). *Compendio Estadístico, Apurímac 2024*. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/6643943-compendio-estadistico-apurimac-2024>
- Instituto Nacional de Salud. (2015). *Perfil de Riesgo, Residuos de Plaguicidas Organoclorados en Matrices de Carne y Leche de Origen Bovino*. www.ins.gov.co

- Instituto Nacional de Salud Pública. (26 de agosto de 2020). *Los insecticidas*. Gobierno de México: <https://www.insp.mx/avisos/4736-insecticidas.html>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2025). *Plaguicidas: Clasificación, toxicología de los plaguicidas: absorción, transporte, biotransformación y eliminación, daños a la salud. Plaguicidas cancerígenos*. INSST. <https://www.insst.es/documents/94886/4155697/Tema+15.+Plaguicidas.pdf>
- Jáquez, S., Pérez, G., Márquez, M., & Pérez, G. (2022). Impactos económicos y ambientales de los plaguicidas en cultivos de maíz, alfalfa, y nogal en Durango, México. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 220-233. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/RICA.54194>
- Jiménez, C. (2022). *Uso de agroquímicos en el cultivo de papa y la contaminación del suelo agrícola en el distrito de Chinchero, Cusco, Perú*. Cusco: Universidad Inca Garcilaso de la Vega. <https://repositorio.uigv.edu.pe/item/4a4d1a18-8801-4ad7-9c41-ee6457dd0d18>
- Jiménez, R., & Gonzáles, V. (2006). La calidad de suelos como medida para su conservación. *Edafología*, 13(3). <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo13c/articulo125.pdf>
- Karam, M., Ramírez, G., Bustamante, P., & Galván, J. (2004). Plaguicidas y salud de la población. *redalyc*, 11(3), pp. 246-254. <https://www.redalyc.org/pdf/104/10411304.pdf>
- Kreuser, B. (2015). *Simplifying Soil Test Interpretations for Turf Professionals*. NebGuide. https://turf.unl.edu/sites/unl.edu/ianr.agronomy-horticulture.turf/files/media/file/Simplifying-Soil-Test-Interpretations-g2265.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Lal, R. (2020). Contenido de materia orgánica del suelo y rendimiento de los cultivos. *Taylor y Francis*, 75(2). <https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A>

- Lima, G. (2024). *Contaminación del suelo agrícola por agroquímicos industriales de la comunidad de Villa Sicata del distrito de Ilave - 2023*. Universidad Privada San Carlos.
https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/787/Gaby_Maritza_LIMA_LIMA.pdf;jsessionid=634A1EF346CF24291B01804501CEE8AC?sequence=1
- Mendoza, L., & Yupanqui, L. (2023). *Determinación del grado de contaminación por presencia de plaguicidas en suelos de cultivo de papa en la localidad de Sucaraylla, Andahuaylas*. Universidad San Ignacio de Loyola.
<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fbfac1a6-77aa-4e56-99cb-9cd1fa294957/content>
- Menta, C., Consti, F., Pinto, S., & Bodini, A. (2017). Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Elsevier*.
- Michigan State University Extension. (2018). Soil Test Interpretation Guide. *Oregon State University Extension Service*.
https://www.canr.msu.edu/foodsystems/uploads/files/soil_test_interpretation.pdf
- Milla, O., & Palomino, W. (2022). *Niveles de Colinesterasa Sérica en Agricultores de la Localidad de Carapongo (Perú) y Determianción de Residuos de Plaguicidas Inhibidores de la Acetilcolinesterasa en Frutas y Hortalizas Cultivadas*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *Manual de tratamientos fitosanitarios*. Ecuador: AGROCALIDAD.
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu167372anx.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Pesca. (s.f.). *Capítulo 2: Plaguicidas químicos, composición y formulaciones, etiquetado, clasificación toxicológica, residuos y métodos de aplicación*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

<https://www.manualfitosanitario.com/InfoNews/INTA%20Aplicacion%20eficiente%20de%20fitosanitarios%20Cap%202.%20%20Formulaciones.pdf>

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2015). *Reglamento del Sistema Nacional de Plaguicidas de Uso Agrícola*. Decreto Supremo N° 001-2015-MINAGRI.
<https://sinia.minam.gob.pe/novedades/minagri-aprueba-reglamento-sistema-nacional-plaguicidas-uso-agricola>

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego. (2025). *Manual técnico: interpretación de análisis de suelos, cálculos de encalado y fertilización para los cultivos de café y cacao*. Lima: Ministro de Desarrollo Agrario y Riego.

Molina, G., Orlando, N., & Lima, R. (2020). Evaluación del impacto ambiental de los desechos producidos en talleres mecánicos de Jipijapa. *Revista Sinapsis*, 3(8).
<https://www.itsup.edu.ec/sinapsis>

Montes, A., Minaya, D., & Lannacone, J. (2023). Impacto de los plaguicidas sobre la artopofauna asociada al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en Cusco-Perú. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 82(4).
<https://www.redalyc.org/journal/3220/322075878007/html/>

(2016). *Norma Sanitaria sobre limites maximos de residuos*. Diario oficial El Peruano.
<https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2014/11/RM-1006-2016-MINSA-con-NTS-128-MINSA-2016-DIGESA-LMR-Plaguicidas.pdf>

OMS. (15 de septiembre de 2022). *Residuos de plaguicidas en los alimentos*. Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>

OPS. (27 de mayo de 2022). *ONU alerta a Costa Rica sobre alto costo del uso plaguicidas en la salud*. Orhanización Panamericana de la Salud:

<https://www.paho.org/es/noticias/27-5-2022-onu-alerta-costa-rica-sobre-alto-costo-uso-plaguicidas-salud>

Pérez, W., & Forbes, G. (s.f.). *Manejo integrado del tizón tardío: ¿Qué es un fungicida?*

Centro Internacional de la Papa. <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/003862.pdf>

Pinto, L. (2017). *Alternativas para el tratamiento de aguas contaminadas por plaguicidas*

utilizadas en los cultivos de arroz en Colombia. Pamplona: Universidad Nacional

Abierta y a Distancia.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21639/1094266482.pdf;jsessionid=390A21366A5F2D91DFC01551A5B84431?sequence=1>

Proyecto Monitoreo de la Amazonía Andina. (2022). Pesticide Toxicity and Hazard.

Obtenido de ministry of agriculture food.

Ramírez, J., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición

de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*, 4(2), 67-75.

https://archivosdeprevencion.eu/view_document.php?tpd=2&i=1270

Rangel, E., Landa, O., Páramo, J., & Camarena, D. (2023). Prácticas de manejo de

plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios

de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México. *Acta Universitaria*, 33, 1-26.

<https://doi.org/http://doi.org/10.15174.au.2023.3749>

Rivero, M., Meneses, P., García, J., Anibal, R., & Zevallos, E. (2021). *Metodología de la*

investigación (Primera edición ed.). (M. Rivero, Ed.) Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Rojas, J., Benítez, P., Rivas, E., & Miranda, L. (2020). Residuos de plaguicidas en suelos de

uso agrícola y riesgo de exposición en la microcuenca Los Zarzales, municipio Rivas

- Dávila, Estado Mérida, Venezuela. *Scielo*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.04>
- Rojas, M., & Gámez, H. (2002).
http://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/1559/1/100000057701_documento.pdf. *redalyc*, 5(2).
<https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/402/40250204.pdf>
- Rucks, L., Garcia, F., Kaplan, A., Ponde de Leon, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. *Universidad de la Republica*.
- Schaaf, A. (2013). Uso de pesticidas y toxicidad: relevamiento en la zona agrícola de San Vicente, Santa Fe, Argentina*. *Scielo*, 4(2).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000200012
- Silveira, M., Aldana, M., Piri, J., Valenzuela, A., Jasa, G., & Rodríguez, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Scielo*, 34(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.01>
- Suarez, T., Palacios, D., & Del Puerto, A. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.
<https://doi.org/http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig10314.pdf>
- Trinidad, A., & Velasco, J. (2018). Importancia de la materia orgánica en la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1457-1467.
<https://doi.org/https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>
- USDA Natural Resources Conservation Service. (2020). *Calidad del suelo – Introducción*. Washington State University. <https://s3-us-west->

2.amazonaws.com/treefruit.wsu.edu/wp-content/uploads/2020/03/Calidad-del-Suelo_2-17-20.pdf

Varela, M. (23 de enero de 2020). *Pesticidas y medio ambiente*. ecoVidrio: <https://hablandoenvidrio.com/pesticidas-medio-ambiente/>

Warncke, D. (2016). *Understanding the MSU Soil Test Report*. Bulletin E0015. https://www.canr.msu.edu/resources/understanding_the_msu_soil_test_report_e0015?utm_source=chatgpt.com

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes