UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Tesis

Impacto ambiental generado por el uso de productos agroquímicos en el suelo agrícola de la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi 2024

Asesor:

Mag. Arrieta Concha, Cynthia Cecilia

Autor:

Chavez Rodriguez, Ruel

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Cusco – Cusco – Perú

2026

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y RECURSOS NATURALES

Acta N°: 017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 07 días del mes de octubre del 2026, siendo las 10:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 024-2026-UTEA-FC-EPIARN de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería Ambiental:

Presidente	:	Dra. Farfan Rodriguez, Jessika
Dictaminante	:	Mg. Mattos Yallico, Cesar Antonio
Replicante	:	Mg. Mendoza Nina, Renato Hector

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: "Impacto ambiental generado por el uso de productos agroquímicos en el suelo agrícola de la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi 2024"

Desarrollado por el Bachiller:

Br.: CHAVEZ RODRIGUEZ, RUEL

Para optar el Tituló Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fueron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐:

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Nota	Detalle (**)
Br. CHAVEZ RODRIGUEZ, RUEL	13	TRECE

Siendo las 11:40 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dra. Farfan Rodriguez, Jessika (Firma)

Dictaminante: Mg. Mattos Yallico, Cesar Antonio (Firma)

Replicante: Mg. Mendoza Nina, Renato Hector (Firma)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

16% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
12% 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 permitirían 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	:	Chavez Rodriguez, Ruel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	78198918
URL ORCID	:	
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mag. Arrieta Concha, Cynthia Cecilia
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de identidad	:	42221546
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-1843-1064
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Enero- octubre del 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	16%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Alipio Chavez y Antonia Rodríguez, a mis hermanos Wilson Chávez y Ronald Chávez; quienes han sido mi pilar fundamental en mi formación académica y profesional, por brindarme todo su apoyo incondicional, por sus enseñanzas y consejos; y por ser mi fuente de inspiración diaria y motivo principal para seguir superándome.

Agradecimiento

A Dios, por ser fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme y permitirme culminar este trabajo.

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Tecnológica de los Andes, por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias para desarrollarme a nivel académico y profesionalmente.

A mi asesor de tesis, por guiarme y brindarme todos los aportes técnicos que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

A los agricultores de la Comunidad de Occoruro, por su tiempo, y por compartir sus conocimientos para que pudiera comprender la realidad ambiental de la zona.

Finalmente, expreso mi reconocimiento y gratitud a todas las personas que contribuyeron a la culminación de este trabajo.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto ambiental generado por el uso de agroquímicos en el suelo agrícola de la Comunidad de Occoruro, Distrito de Curahuasi, Provincia de Abancay, Región Apurímac durante el año 2024. Se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, nivel descriptivo - explicativo y diseño no experimental y transversal. La población estuvo conformada por los agricultores del sector, y las unidades de análisis fueron las parcelas agrícolas donde se aplican agroquímicos de uso común. Se emplearon técnicas de entrevista estructurada, observación directa y análisis físico - químico de muestras de suelo. Los resultados evidenciaron que los suelos sometidos a manejo químico presentaron bajos niveles de materia orgánica, pH ácido, alta conductividad eléctrica y deficiencia de nutrientes esenciales, lo que demostró un proceso de degradación edáfica progresiva. Asimismo, el 51.4 % de los agricultores reconoció que el uso constante de plaguicidas y fertilizantes químicos ha disminuido la fertilidad del suelo, situación que favorece una mayor dependencia de insumos externos. Los resultados permitieron determinar que, el uso intensivo e inadecuado de agroquímicos genero impactos ambientales negativos que comprometieron la sostenibilidad del agroecosistema local. Finalmente, se propuso estrategias de mitigación basadas en el manejo integrado de plagas, el uso de abonos orgánicos y la rotación de cultivos, orientadas a restaurar la fertilidad del suelo y promover una agricultura sostenible en la Comunidad de Occoruro.

Palabras clave: Agroquímicos, suelo agrícola, contaminación del suelo, materia orgánica, conductividad eléctrica.

Abstract

The present research aimed to evaluate the environmental impact generated by the use of agrochemicals in the agricultural soil of the Community of Occoruro, Curahuas District, Abancay, Apurímac Region during the year 2024. The study followed a quantitative approach, with an applied type, descriptive–explanatory level, and a non-experimental, cross-sectional design. The population consisted of local farmers, and the units of analysis were agricultural plots where agrochemicals are commonly applied. Data collection techniques included structured interviews, direct observation, and physicochemical analysis of soil samples. The results showed that soils under chemical management exhibited low levels of organic matter, acidic pH, high electrical conductivity, and nutrient deficiencies, indicating a progressive process of soil degradation. Likewise, 51.4% of farmers recognized that the constant use of pesticides and chemical fertilizers has decreased soil fertility and consequently there is a dependence on external inputs. It was concluded that the intensive and inadequate use of agrochemicals produces negative environmental impacts that compromise the sustainability of the local agroecosystem. Finally, mitigation strategies were proposed based on integrated pest management, the use of organic fertilizers, and crop rotation, aimed at restoring soil fertility and promote sustainable agriculture in the Community of Occoruro.

Keywords: agrochemicals, agricultural soil, soil contamination, organic matter, electrical conductivity.

Índice

Portada i

Acta de sustentación ii

Reporte de similitud iii

Metadatos iv

Dedicatoria v

Agradecimiento vi

Resumen vii

Abstract viii

Índice ix

Índice de tablas xi

Índice de figuras xiii

Índice de anexos xiv

I. Introducción 15

II. Planteamiento del problema 17

2.1. Descripción y formulación del problema 17

2.2. Objetivos 20

2.2.1. Objetivo general 20

2.2.2. Objetivos específicos 20

2.3. Justificación e importancia 21

2.4. Hipótesis 23

2.5. Variables 24

III. Marco teórico 26

3.1. Antecedentes 26
3.2. Bases teóricas....36
3.3. Definición de términos....52
IV. Metodología 55
4.1. Tipo y nivel de investigación....55
4.2. Ámbito temporal y espacial....56
4.3. Población y muestra....57
4.4. Instrumentos 61
4.5. Procedimientos....62
4.6. Análisis de datos 63
4.7. Consideraciones éticas 64
V. Resultados y discusión....66
VI. Conclusiones 103
VII. Recomendaciones 106
VIII. Referencias 108
IX. Anexos 111

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables 24

Tabla 2 Clasificación de los principales plaguicidas.....43

Tabla 3 Coordenadas de los puntos de muestreo.....60

Tabla 4 Tipos de agroquímicos utilizados por los agricultores de la comunidad de Occoruro 66

Tabla 5 Frecuencia de aplicación de agroquímicos en la comunidad de Occoruro 67

Tabla 6 Caracterización físico- química del suelo agrícola con manejo orgánico.....68

Tabla 7 Caracterización físico-química del suelo con uso intensivo de agroquímicos.....69

Tabla 8 Comparación de la caracterización fisicoquímica del suelo con y sin cultivo.....70

Tabla 9 Parámetros microbiológicos del suelo con manejo orgánico 71

Tabla 10 Parámetros microbiológicos del suelo con uso intensivo de agroquímicos.....72

Tabla 11 Comparación descriptiva de los parámetros microbiológicos del suelo con manejo orgánico y suelo con uso intensivo de agroquímicos 73

Tabla 12 Edad de los entrevistados.....74

Tabla 13 Tiempo de experiencia en agricultura.....75

Tabla 14 Tipo de cultivo principal.....75

Tabla 15 Uso de agroquímicos 76

Tabla 16 ¿Cómo determina la cantidad de agroquímicos a aplicar?.....77

Tabla 17 ¿Ha recibido capacitación sobre el uso adecuado de agroquímicos? 78

Tabla 18 ¿Recibe asistencia técnica por parte de las autoridades del distrito o alguna institución?.....78

Tabla 19 ¿Utiliza equipos de protección personal durante la aplicación de agroquímicos? 79

Tabla 20 ¿Ha notado algún cambio en la calidad del suelo? 80

Tabla 21 ¿Qué cambios ha notado en el suelo?.....81

Tabla 22 ¿Ha observado cambios en la producción de sus cultivos? 81

Tabla 23 ¿Cree que el uso de agroquímicos ha afectado la calidad del suelo a largo plazo? 82

Tabla 24 ¿Sabe si los agroquímicos pueden afectar su salud? 83

Tabla 25 ¿Ha experimentado algún problema de salud que asocie con el uso de agroquímicos? 84

Tabla 26 ¿Qué tipo de problemas de salud ha tenido? 85

Tabla 27 ¿Ha considerado el uso de fertilizantes orgánicos o abonos naturales? 86

Tabla 28 ¿Cree que los agricultores de su comunidad estarían dispuestos a reducir el uso de agroquímicos si se les ofrecieran alternativas viables? 87

Tabla 29 ¿Qué apoyo cree que necesitaría para adoptar prácticas agrícolas más sostenibles? 88

Tabla 30 Prueba de asociación entre el tipo de agroquímico utilizado y la frecuencia de aplicación 94

Tabla 31 Prueba t de Student para la comparación de las propiedades físico-químicas del suelo 95

Tabla 32 Prueba t de Student para la comparación de las propiedades microbiológicas del suelo 95

Tabla 33 Resultado estadístico: Usa_agroquímicos × Afecto_suelo 96

Tabla 34 Resultado estadístico: Usa_agroquímicos × Cambio_suelo 97

Tabla 35 Análisis de la causa: falta de alternativas técnicas y económicas 97

Índice de figuras

Figura 1 Suelo agrícola como sistema tridimensional.....37

Figura 2 Mapa de ubicación geográfica del distrito de Curahuasi - Occoruro.....57

Figura 3 Ubicación del área de estudio - terreno agrícola de Occoruro.....61

Figura 4 Frecuencia de aplicación de agroquímicos en la comunidad de Occoruro 67

Figura 5 Edad de los entrevistados.....74

Figura 6 Tiempo de experiencia en agricultura.....75

Figura 10 Tipo de cultivo principal.....76

Figura 8 Uso de agroquímicos 76

Figura 9 ¿Cómo determina la cantidad de agroquímicos a aplicar?.....77

Figura 10 ¿Ha recibido capacitación sobre el uso adecuado de agroquímicos? 78

Figura 11 ¿Recibe asistencia técnica por parte de las autoridades del distrito o alguna institución?.....79

Figura 12 ¿Utiliza equipos de protección personal?.....79

Figura 13 ¿Ha notado algún cambio en la calidad del suelo?.....80

Figura 14 ¿Qué cambios ha notado en el suelo?.....81

Figura 15 ¿Ha observado cambios en la producción de sus cultivos? 82

Figura 16 ¿Cree que el uso de agroquímicos ha afectado la calidad del suelo a largo plazo?.....83

Figura 17 ¿Sabe si los agroquímicos pueden afectar su salud? 84

Figura 18 ¿Ha experimentado algún problema de salud que asocie con el uso de agroquímicos?.....85

Figura 19 ¿Qué tipo de problemas ha tenido? 86

Figura 20 ¿Ha considerado el uso de fertilizantes orgánicos o abonos naturales? 87

Figura 21 ¿Cree que los agricultores de su comunidad estarían dispuestos a reducir el uso de agroquímicos si se les ofrecieran alternativas viables? 87

Figura 22 ¿Qué apoyo cree que necesitaría para adoptar prácticas agrícolas más sostenibles?.....88

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia 112

Anexo 2 Instrumento de investigación – Guía de entrevista 114

Anexo 3 Validación del Instrumento de investigación 122

Anexo 4 Informes de los análisis de las muestras de suelo 124

Anexo 3 Panel fotográfico 132

I. Introducción

La agricultura constituye una actividad fundamental para la subsistencia económica y alimentaria de las comunidades altoandinas del Perú, donde el suelo agrícola representa un recurso clave para el desarrollo productivo local. En este contexto, el uso de productos agroquímicos como fertilizantes sintéticos, herbicidas, insecticidas y fungicidas se ha incrementado progresivamente como una estrategia para mejorar los rendimientos y enfrentar problemas fitosanitarios. No obstante, el uso frecuente de estos insumos, en muchos casos sin un adecuado manejo técnico puede generar alteraciones en las propiedades del suelo y afectar su calidad y capacidad productiva.

El interés por desarrollar la presente investigación surge a partir de la observación directa de prácticas agrícolas en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi, donde los agricultores han incorporado de manera habitual el uso de agroquímicos en sus labores agrícolas. Esta situación ha coincidido con percepciones locales sobre la disminución de la fertilidad del suelo, la reducción de la materia orgánica, la menor presencia de organismos edáficos y variaciones en la productividad de los cultivos tradicionales, lo que plantea la necesidad de comprender de manera sistemática cómo el uso de estos productos se relaciona con la calidad del suelo agrícola.

El desarrollo del presente trabajo se justifica por la escasez de estudios locales que integren información técnica de laboratorio con el conocimiento y la experiencia de los propios agricultores. Contar con información específica para la comunidad de Occoruro permitirá aportar evidencia útil para la toma de decisiones, el fortalecimiento del manejo agrícola y la promoción de prácticas más sostenibles, adaptadas a la realidad agroecológica del distrito de Curahuasi.

La finalidad de la investigación es analizar la influencia del uso de productos agroquímicos en la calidad del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro durante el año 2024, considerando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como la percepción de los agricultores sobre los cambios observados en sus parcelas. A partir de estos resultados, se busca generar propuestas orientadas a mejorar el manejo del suelo y contribuir a la sostenibilidad de la actividad agrícola local.

Para alcanzar estos objetivos, el estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo, con un diseño no experimental y de corte transversal. Se emplearon como métodos principales el análisis físico-químico y microbiológico de muestras de suelo, entrevistas estructuradas a agricultores y observación directa en campo, lo que permitió integrar información técnica y social para una comprensión más completa del fenómeno estudiado.

La tesis se estructura en cinco capítulos:

El Capitulo I corresponde a la introducción, donde se presenta el contexto general de la investigación.

El Capítulo II aborda el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del estudio.

El Capítulo III desarrolla el marco teórico, incluyendo antecedentes y fundamentos conceptuales relacionados con el suelo agrícola y el uso de agroquímicos.

El Capítulo IV describe la metodología aplicada, detallando el diseño de investigación, las técnicas e instrumentos utilizados.

En el Capítulo V se presentan y analizan los resultados obtenidos, tanto de laboratorio como de las entrevistas a agricultores.

El Capítulo VI contiene las conclusiones de la investigación, mientras el capitulo VII presenta las recomendaciones.

Finalmente, el Capítulo VIII comprende las referencias bibliográficas y el Capitulo IX contiene los anexos que sustentan el desarrollo del estudio.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En diversos sistemas agrícolas a escala global, el uso intensivo y prolongado de productos agroquímicos ha sido identificado como uno de los principales factores asociados a la degradación progresiva del suelo agrícola. Estudios desarrollados por organismos especializados señalan que la aplicación reiterada de fertilizantes sintéticos y plaguicidas altera las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, provocando procesos de acidificación, reducción de la materia orgánica, disminución de la actividad microbiana y acumulación de sales y residuos químicos persistentes. Estas alteraciones afectan la capacidad del suelo para sostener la productividad agrícola en el mediano y largo plazo, especialmente en sistemas de pequeña escala donde la reposición natural de nutrientes es limitada (FAO & ITPS, 2015; Burgess & Pimentel, 2014; UNEP, 2022). Asimismo, se advierte que la falta de manejo integrado y de prácticas conservacionistas incrementa la vulnerabilidad de los agroecosistemas y compromete su sostenibilidad ambiental (FAO, 2021; Lal, 2015).

En el contexto peruano, la intensificación de la agricultura familiar ha venido acompañada de un incremento sostenido en el uso de agroquímicos como respuesta a la presión productiva, las plagas recurrentes y la variabilidad climática. Informes sectoriales indican que una proporción significativa de productores emplea fertilizantes e insecticidas sin asistencia técnica permanente, lo que conlleva aplicaciones inadecuadas en cuanto a dosis, frecuencia y manejo (MIDAGRI, 2023). Investigaciones desarrolladas en zonas

altoandinas del país han evidenciado que estas prácticas contribuyen a la pérdida de fertilidad del suelo, reducción de la materia orgánica, compactación y alteración de la microbiota edáfica, afectando la productividad de cultivos tradicionales como papa y maíz (Catalán et al., 2023; Jiménez, 2022). Esta situación pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas locales y refuerza la necesidad de estudios que analicen de manera específica la influencia del uso de agroquímicos sobre la calidad del suelo.

En Apurímac, los sistemas productivos se desarrollan mayoritariamente en suelos de origen andino, caracterizados por pendientes pronunciadas, textura variable y limitada fertilidad natural. Estas condiciones hacen que los suelos sean particularmente sensibles a prácticas agrícolas intensivas. Estudios recientes han reportado que el uso recurrente de agroquímicos en la región contribuye a la compactación del suelo, disminución de la actividad microbiana y reducción de la capacidad de retención de nutrientes, afectando la productividad a mediano plazo (Catalán et al., 2023; Jiménez, 2022).

En el ámbito local, la Comunidad Campesina de Occoruro, ubicada en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, se caracteriza por una economía predominantemente agropecuaria. La comunidad se organiza en sectores agrícolas donde se cultivan principalmente papa, maíz, haba, avena y hortalizas, destinados tanto al autoconsumo como al mercado local. Los suelos de Occoruro presentan una textura mayormente franco arenosa a franco arcillosa, con bajo contenido de materia orgánica y limitada capacidad de retención de nutrientes, lo que condiciona el manejo agrícola. Frente a estas limitaciones, los agricultores han incorporado de manera sistemática el uso de fertilizantes químicos, insecticidas y herbicidas para sostener la producción, muchas veces sin un manejo técnico adecuado ni prácticas complementarias de conservación del suelo.

De mantenerse el uso continuo de agroquímicos sin criterios técnicos ni prácticas de manejo sostenible, es previsible que los suelos agrícolas de la Comunidad de Occoruro experimenten un deterioro progresivo de su calidad. Entre las principales consecuencias se encuentran la acidez creciente del suelo, la disminución de la materia orgánica, la alteración de la microbiota edáfica y la acumulación de sales, lo que podría traducirse en

una menor productividad agrícola, mayor dependencia de insumos externos y pérdida de la capacidad productiva del suelo a largo plazo. Asimismo, estas condiciones incrementan la vulnerabilidad de los agroecosistemas frente al cambio climático y ponen en riesgo la seguridad alimentaria local (FAO, 2022).

Para evitar la profundización de estas consecuencias, resulta necesario contar con información técnica local que permita comprender cómo el uso de agroquímicos influye en la calidad del suelo agrícola y cuáles son los principales cambios que se están produciendo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El diagnóstico adecuado del estado del suelo constituye un paso fundamental para orientar la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles, como el uso racional de insumos, la incorporación de materia orgánica, la rotación de cultivos y el manejo integrado de plagas, adaptadas a la realidad de la comunidad.

En este contexto, la presente investigación se orienta a generar información sistematizada y específica sobre la influencia del uso de productos agroquímicos en la calidad del suelo agrícola de la Comunidad de Occoruro durante el año 2024. Mediante el análisis de laboratorio de muestras de suelo, entrevistas a agricultores y observación de campo, el estudio busca identificar los principales cambios asociados al manejo agrícola actual. La información obtenida constituirá un insumo técnico relevante para agricultores, autoridades locales e instituciones agrarias, orientado a fortalecer la gestión del suelo y promover prácticas agrícolas sostenibles que contribuyan a la conservación del recurso suelo y al desarrollo productivo de la comunidad.

2.1.1. Problema general

¿Cómo influye el uso de productos agroquímicos en la calidad del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi – 2024?

2.1.2. Problemas específicos

1. ¿Qué tipos de agroquímico son los más utilizados en la comunidad de Occoruro y con qué frecuencia se aplican en las tierras agrícolas?

2. ¿Cómo influye el uso de agroquímicos en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo agrícola en la Comunidad de Occoruro, Distrito de Curahuasi, en el año 2024?
3. ¿Cuál es la percepción de los agricultores locales de la comunidad de Occoruro sobre el uso de agroquímicos y sus efectos en la calidad del suelo agrícola a largo plazo?
4. ¿Qué estrategias de manejo agrícola sostenible podrían implementarse para mejorar la calidad del suelo agrícola frente al uso de agroquímicos en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi – 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Analizar la influencia del uso de productos agroquímicos en la calidad del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi – 2024, con el fin de proponer estrategias de manejo agrícola sostenible.

2.2.2. Objetivos específicos

1. Identificar los tipos de agroquímicos más utilizados en la comunidad y su frecuencia de aplicación en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi 2024.
2. Analizar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo agrícola y su relación con el uso de agroquímicos en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi – 2024.
3. Evaluar la percepción de los agricultores sobre el uso de agroquímicos y sus efectos en la calidad del suelo agrícola en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi – 2024.
4. Proponer estrategias de manejo agrícola sostenible orientadas a mejorar la calidad del suelo agrícola frente al uso de agroquímicos en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi – 2024.

2.3. Justificación e importancia

El presente estudio se justifica por la creciente preocupación en torno al uso intensivo de productos agroquímicos en los sistemas agrícolas y sus posibles efectos sobre la calidad del suelo, recurso fundamental para la sostenibilidad de la producción agrícola y el equilibrio ambiental. En el contexto de la agricultura familiar, especialmente en zonas altoandinas, el manejo del suelo suele realizarse sin una adecuada asistencia técnica, lo que incrementa el riesgo de degradación progresiva de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

La elección del tema responde a la necesidad de generar información técnica local que permita comprender cómo el uso de agroquímicos influye en la calidad del suelo agrícola en la Comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi. A pesar de la importancia de la actividad agrícola en esta zona, no se dispone de estudios sistemáticos que evalúen esta relación de manera integral, lo que limita la toma de decisiones orientadas a un manejo sostenible del suelo.

Desde el enfoque de la ingeniería ambiental, esta investigación se desarrolla bajo un modelo de investigación aplicada, con un diseño no experimental y enfoque cuantitativo, orientado a la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo. Su finalidad es aportar evidencia técnica que contribuya a la gestión ambiental del recurso suelo y a la prevención de procesos de degradación asociados a prácticas agrícolas inadecuadas.

2.3.1. Relevancia social

La investigación presenta relevancia social porque se orienta a una problemática que afecta directamente a los agricultores de la Comunidad de Occoruro, quienes dependen del suelo como principal medio de producción y sustento económico. El deterioro de la calidad del suelo puede comprometer la productividad agrícola, incrementar la dependencia de insumos externos y afectar la seguridad alimentaria local.

Los resultados que se obtengan permitirán contar con información objetiva sobre el estado del suelo agrícola, lo cual podrá contribuir a sensibilizar a los productores respecto a la importancia del manejo responsable de los agroquímicos y al cuidado del recurso suelo como base del bienestar presente y futuro de la comunidad.

2.3.2. Implicancia práctica

Desde el punto de vista práctico, la investigación generará información técnica que podrá ser utilizada por instituciones locales y regionales vinculadas al sector agrario y ambiental, como municipalidades, agencias agrarias y organismos de supervisión. El diagnóstico de la calidad del suelo permitirá orientar acciones de capacitación, manejo racional de agroquímicos y promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Asimismo, los resultados servirán como referencia para la implementación de estrategias de manejo del suelo que contribuyan a reducir riesgos ambientales y mejorar la eficiencia productiva, favoreciendo una agricultura más sostenible en la zona de estudio.

2.3.3. Valor teórico

El valor teórico de la investigación radica en la generación de conocimiento específico sobre la relación entre el uso de agroquímicos y la calidad del suelo agrícola en un contexto altoandino, caracterizado por suelos frágiles y condiciones ambientales particulares. La información obtenida permitirá ampliar la base teórica existente y contrastar resultados con estudios realizados en otras regiones, fortaleciendo el entendimiento de los procesos de degradación del suelo a escala local. Este aporte resulta relevante para el desarrollo de futuras investigaciones en el ámbito de la gestión ambiental del suelo y la sostenibilidad agrícola.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El uso continuo de productos agroquímicos en Occoruro deteriora significativamente la calidad del suelo agrícola, afectando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y su capacidad productiva.

2.4.2. Hipótesis especificas

1. Los insecticidas constituyen el tipo de agroquímico más utilizado y se aplican con mayor frecuencia en los sistemas agrícolas de la comunidad de Occoruro.
2. El uso de agroquímicos altera las propiedades químicas y biológicas del suelo agrícola, evidenciándose en la disminución de la materia orgánica, alteración del pH y reducción de la actividad microbiana.
3. Los agricultores que reconocen que el uso de agroquímicos afecta la calidad del suelo continúan utilizándolos debido a la falta de alternativas técnicas y económicas viables.
4. No aplica (objetivo propositivo).

2.5. Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad / Escala	Técnica / Instrumento
Variable Independiente: Uso de productos agroquímicos	Conjunto de insumos químicos como fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas aplicados en la producción agrícola para el control de plagas y mejora del rendimiento de los cultivos.	Se evaluó mediante información proporcionada por los agricultores sobre tipo, frecuencia, forma de aplicación y manejo de agroquímicos, obtenida a través de entrevistas y observación de campo.	Tipo de agroquímico utilizado	Fertilizantes, insecticidas, herbicidas, fungicidas	Nominal	Entrevista semiestructurada
			Frecuencia de aplicación	Semanal, quincenal, mensual, ocasional	Ordinal	Entrevista semiestructurada
			Manejo del agroquímico	Uso de dosis recomendada, lectura de etiquetas, criterio de aplicación	Ordinal	Entrevista semiestructurada
			Capacitación y asistencia técnica	Capacitación recibida, asistencia técnica	Nominal	Entrevista semiestructurada
			Uso de equipos de protección personal	Uso permanente, ocasional, no uso	Ordinal	Entrevista semiestructurada

Variable Dependiente: Calidad del suelo agrícola	Capacidad del suelo para cumplir funciones productivas, ambientales y biológicas, manteniendo su fertilidad, estructura y actividad biológica.	Se determinó mediante análisis físico-químico y microbiológico del suelo y la percepción de los agricultores sobre cambios en la fertilidad y productividad del suelo.	Propiedades químicas	pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad eléctrica	Razón (pH, %, cmol/kg, dS/m o µS/cm)	Análisis de laboratorio
			Propiedades físicas	Textura, compactación, drenaje	Razón / nominal (%; clases texturales)	Análisis de laboratorio / Observación
			Propiedades biológicas	Bacterias totales, hongos, actividad microbiana	Razón	Análisis microbiológico
			Degradación visible del suelo	Erosión, compactación superficial, salinización	Ordinal (leve/moderado/alto)	Observación de campo
			Percepción del agricultor sobre fertilidad	Cambios en fertilidad, productividad, presencia de organismos	Ordinal	Entrevista semiestructurada

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes internacionales

Andrade & Baque (2024) desarrollaron una investigación con el objetivo de identificar los impactos ambientales generados por el uso de agroquímicos en los suelos agrícolas de la comunidad El Chial, Ecuador. Para ello, recolectaron muestras de suelo en tres fincas, las cuales fueron analizadas en los laboratorios del INIAP y LASA para evaluar sus propiedades físico-químicas y detectar la presencia de metales pesados y residuos de agroquímicos. Los resultados evidenciaron altas concentraciones de fósforo (35 ppm), potasio (1,26 meq/100 ml) y magnesio (6,9 meq/100 ml), además de la presencia de compuestos como diazinón, malatión, forato y terbufos. Los valores obtenidos se compararon con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente y, posteriormente, se aplicó la matriz de evaluación de impactos ambientales de Vicente Conesa para determinar el nivel de afectación causado por el uso de agroquímicos en los suelos agrícolas.

Beaumelle et al. (2023) desarrollaron un estudio de enfoque cuantitativo mediante un metaanálisis, cuyo objetivo fue evaluar los efectos del uso de pesticidas sobre las comunidades de fauna del suelo en distintos contextos ambientales. La investigación integró información procedente de 54 estudios científicos, que en conjunto aportaron un total de 294 observaciones experimentales. Para el análisis, se consideraron indicadores ecológicos clave de la fauna edáfica, tales como abundancia, biomasa, riqueza de especies

y diversidad, permitiendo una evaluación integral de las respuestas biológicas del suelo frente a la aplicación de pesticidas. Asimismo, el estudio examinó el impacto de diferentes tipos de pesticidas, incluyendo herbicidas, fungicidas, insecticidas, sustancias de amplio espectro y combinaciones de múltiples compuestos, así como variaciones en las tasas de aplicación y en la duración temporal de los estudios (corto y largo plazo). Los resultados evidenciaron una disminución estadísticamente significativa en la abundancia y diversidad de las comunidades de fauna del suelo, observándose efectos más pronunciados en los casos donde se emplearon mezclas de pesticidas y sustancias de amplio espectro. Adicionalmente, el análisis mostró que los efectos negativos no presentaron una atenuación significativa con el tiempo, ya que se registraron impactos similares tanto en evaluaciones de corto como de largo plazo.

Silva et al. (2019) desarrollaron un estudio de alcance internacional en el marco del programa Land Use/Cover Area frame Survey, con el objetivo de evaluar la presencia y distribución de residuos de plaguicidas en suelos agrícolas de la Unión Europea. La investigación analizó un total de 317 muestras de suelo recolectadas en 11 países europeos, en las cuales se determinó la presencia de 76 compuestos pesticidas diferentes mediante análisis de laboratorio especializados. Los resultados indicaron que más del 80 % de los suelos evaluados contenían al menos un residuo de plaguicida, mientras que en aproximadamente el 58 % de las muestras se detectaron mezclas de dos o más pesticidas. Entre los compuestos identificados con mayor frecuencia se encontraron el glifosato y su metabolito ácido aminometilfosfónico (AMPA), así como pesticidas organoclorados persistentes, entre ellos los DDTs, y fungicidas de uso extendido como boscalid, epoxiconazol y tebuconazol. En algunos casos, las concentraciones alcanzaron valores de hasta 2,87 mg/kg de suelo. El estudio también evidenció que la coexistencia de múltiples residuos químicos en un mismo suelo agrícola es una condición frecuente, lo que plantea desafíos metodológicos para los sistemas de monitoreo y evaluación de la calidad del suelo.

Rodríguez (2021) desarrolló la tesis titulada Impactos ambientales del sector agrícola y los agroquímicos en Casanare en el periodo 2015–2020, con el objetivo de analizar los efectos ambientales asociados al uso de agroquímicos en las actividades agrícolas del departamento de Casanare, Colombia. El estudio se contextualizó en una región con tradición agrícola y ganadera, que en las últimas décadas ha experimentado procesos de intensificación productiva y diversificación económica, acompañados por un uso creciente de insumos químicos. Empleó un enfoque metodológico mixto, combinando análisis físico-químicos de suelos y recursos hídricos con entrevistas a productores agrícolas y observaciones de campo. A partir del análisis de la información recopilada, se identificaron procesos de degradación del suelo asociados a prácticas agrícolas intensivas, así como evidencias de contaminación de cuerpos de agua vinculadas a la lixiviación de nitratos y residuos de pesticidas. Asimismo, el estudio documentó alteraciones en la biodiversidad local y riesgos potenciales para la salud humana derivados de la exposición recurrente a agroquímicos durante las labores agrícolas. El trabajo también evidenció que la ausencia de medidas de control ambiental constantes y de una supervisión técnica adecuada contribuyó a la persistencia de estos impactos durante el periodo analizado.

Mansilla (2017) desarrolló la tesis titulada Impacto ambiental de la aplicación de plaguicidas en siete modelos socioproductivos hortícolas del Cinturón Verde de Mendoza, con el objetivo de evaluar los efectos ambientales asociados al uso de plaguicidas en distintos sistemas hortícolas de la provincia de Mendoza, Argentina. La investigación analizó siete modelos socioproductivos representativos, considerando las prácticas de manejo agrícola, los tipos de plaguicidas utilizados, la frecuencia de aplicación y los métodos empleados durante el proceso productivo. El estudio adoptó un enfoque descriptivo–analítico, basado en el levantamiento de información de campo, entrevistas a productores y revisión de registros agrícolas. Se evaluaron variables relacionadas con la calidad del suelo, el riesgo de contaminación de recursos hídricos, la afectación de la biodiversidad y los posibles efectos ambientales derivados del uso continuado de plaguicidas. Los resultados evidenciaron que la intensidad y el manejo de estos insumos

generaron impactos ambientales diferenciados según el modelo productivo, identificándose riesgos de degradación del suelo, acumulación de residuos químicos y alteraciones en los ecosistemas agrícolas del Cinturón Verde de Mendoza. La investigación permitió caracterizar las prácticas predominantes de aplicación de plaguicidas y evidenciar la necesidad de un manejo más adecuado de estos insumos en sistemas hortícolas intensivos.

Izquierdo (2017) desarrolló la tesis titulada “Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín”, con el objetivo de evaluar el grado de contaminación de los suelos agrícolas asociado a la aplicación de agroquímicos en una zona rural dedicada principalmente a la actividad agrícola. La investigación adoptó un enfoque descriptivo y analítico, centrado en la identificación de los principales insumos químicos utilizados, la frecuencia de su aplicación y las prácticas agrícolas predominantes en la parroquia. El estudio incluyó la recolección de muestras de suelo y la realización de análisis químicos para detectar residuos de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, a fin de determinar el nivel de contaminación presente. Asimismo, se analizó el efecto de estos compuestos sobre la estructura y composición del suelo, considerando su persistencia y posible transferencia a los cultivos agrícolas. Los resultados evidenciaron una acumulación significativa de residuos químicos en los suelos evaluados, asociada al uso excesivo e inadecuado de agroquímicos. La investigación concluyó que esta situación compromete la sostenibilidad de la actividad agrícola y representa un riesgo para la calidad del suelo y la producción agrícola, planteando como alternativas el uso controlado de insumos químicos y la adopción de prácticas agrícolas orientadas a una gestión más sostenible del recurso suelo.

3.1.2. Antecedentes nacionales

Jara & Villegas (2024) desarrollaron la tesis titulada Determinación de la contaminación por metales pesados por el uso de agroquímicos en parcelas de arroz, distrito de San Hilarión – 2020, cuyo objetivo fue evaluar la presencia y concentración de

metales pesados asociados al uso de agroquímicos en suelos agrícolas destinados al cultivo de arroz. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño descriptivo transeccional. La población de estudio correspondió a aproximadamente 4000 hectáreas cultivadas, de las cuales se seleccionó una muestra representativa de una hectárea mediante muestreo de identificación. Se analizaron concentraciones de cadmio, arsénico y plomo en tres momentos de monitoreo, comparando los resultados con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente. Los hallazgos evidenciaron niveles de contaminación clasificados como moderados; sin embargo, en el tercer monitoreo se registraron concentraciones elevadas de cadmio (1,12 ppm) y arsénico (28,23 ppm), con potencial riesgo de bioacumulación en el cultivo. Asimismo, mediante una matriz de impactos ambientales se identificaron efectos significativos sobre el suelo, como compactación, erosión y deterioro del paisaje agrícola.

Longa & Rodríguez (2021) desarrollaron la tesis titulada Evaluación del efecto de los fertilizantes químicos y abonos orgánicos en suelos agrícolas con cultivo de papa – Distrito de Sorochuco, 2020, cuyo objetivo fue comparar los efectos de fertilizantes químicos y abonos orgánicos sobre las propiedades del suelo agrícola destinado al cultivo de papa en Sorochuco, Cajamarca. La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con un diseño cuasi experimental y de carácter longitudinal. Se evaluaron variables químicas y físicas del suelo, tales como fósforo, nitrógeno, potasio, pH, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico y contenido de materia orgánica. Los resultados evidenciaron que el uso de fertilizantes químicos incrementó las concentraciones de fósforo (1,8 %), nitrógeno (2,17 %) y potasio (3,8 %), pero también generó efectos negativos sobre el suelo, como acidificación e infertilidad edáfica al finalizar el ciclo del cultivo. En contraste, el uso de abonos orgánicos mostró mayores concentraciones de fósforo (7,1 %), nitrógeno (6,7 %) y potasio (3,91 %), junto con mejores condiciones físicas y químicas del suelo. El estudio concluye que los abonos orgánicos presentan un comportamiento más favorable para la conservación de la calidad del suelo agrícola frente a los fertilizantes químicos.

Lima (2024) desarrolló la tesis titulada “Contaminación del suelo agrícola por agroquímicos industriales de la comunidad de Villa Sicata del distrito de Llave – 2023”, cuyo objetivo fue evaluar el nivel de contaminación del suelo agrícola ocasionado por el uso de agroquímicos industriales en dicha comunidad. La investigación fue de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y método deductivo. El estudio se realizó en cinco parcelas agrícolas seleccionadas, donde se aplicó un muestreo sistemático siguiendo las directrices de la Guía para el Muestreo de Suelos Contaminados establecida en el D.S. N.° 002-2013-MINAM. Se analizaron parámetros fisicoquímicos del suelo, entre ellos pH, conductividad eléctrica, contenido de carbonato de calcio, materia orgánica, fósforo, potasio y saturación alcalina. Los resultados evidenciaron que el contenido de materia orgánica fue inferior al 2 %, lo que indica un estado de deterioro del suelo. Asimismo, los valores obtenidos reflejaron un nivel elevado de contaminación por agroquímicos industriales, afectando la calidad del suelo y representando un riesgo potencial para la salud humana y el ambiente. El estudio concluye que el uso intensivo de agroquímicos industriales ha contribuido de manera significativa a la degradación del suelo agrícola en la comunidad de Villa Sicata.

Alvarado (2020) realizó la tesis titulada “Impacto ambiental por efecto del uso de los plaguicidas organofosforados en los suelos agrícolas, provincia de Ica”, cuyo objetivo fue determinar el impacto ambiental generado por el uso intensivo de plaguicidas organofosforados en los suelos agrícolas del distrito de Santiago, provincia de Ica. La investigación fue de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. La población estuvo conformada por los suelos agrícolas de la provincia de Ica, siendo la muestra representativa el suelo agrícola del distrito de Santiago. Para el análisis se evaluaron propiedades fisicoquímicas del suelo, cuyos resultados fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente. Los resultados evidenciaron la presencia de residuos de plaguicidas organofosforados por encima de los valores permisibles, lo que refleja un deterioro progresivo de la calidad del suelo y una mayor susceptibilidad a la contaminación ambiental. El estudio concluyó que

el uso excesivo de estos plaguicidas altera significativamente las características fisicoquímicas del suelo, comprometiendo su productividad agrícola y la sostenibilidad del sistema agroproductivo.

Díaz (2020) desarrolló la tesis titulada “Agroquímicos (Troya, Caporal) y su impacto ambiental en suelos de cultivo de arroz en el sector La Florida”, cuyo objetivo fue evaluar el impacto ambiental generado por el uso de agroquímicos en los suelos agrícolas dedicados al cultivo de arroz en el sector La Florida, región San Martín (Tarapoto). La investigación fue de tipo aplicada y se realizó sobre una población de 3 hectáreas de cultivo de arroz, considerando como muestra cuatro parcelas representativas. Los resultados evidenciaron concentraciones elevadas de metales pesados, principalmente cromo VI y cadmio, los cuales superaron los límites permisibles y afectaron significativamente la calidad del suelo. Si bien el plomo se mantuvo dentro de los valores normados, su presencia resultó relevante desde el punto de vista ambiental. Asimismo, mediante la aplicación de una matriz de impactos ambientales, se determinó que estos agroquímicos generan impactos negativos altos sobre el suelo, el agua, la flora, la fauna y el paisaje. Como alternativa de mitigación, el estudio evaluó el uso de prácticas ecoamigables, como el abonamiento con cascarilla de café y agua miel de cacao, las cuales demostraron ser eficaces en la reducción de las concentraciones de cromo VI y cadmio en el suelo.

Ávalos (2019) desarrolló la tesis titulada “Impacto de la aplicación del Glifosato, Cymoxanil-Mancozeb y Oxamil en la actividad y biomasa microbiana de un suelo agrícola inoculado con Trichoderma harzianum (Rifai)”, realizada en el valle del Mantaro, Junín. El objetivo fue determinar la influencia de dosis crecientes de estos plaguicidas (1, 2, 4 y 8 veces la dosis recomendada) sobre la actividad y biomasa microbiana del suelo. La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental en laboratorio, utilizando un entisol previamente caracterizado mediante la apertura de una calicata. Se evaluaron indicadores microbiológicos como carbono orgánico, respiración basal, carbono de la biomasa microbiana, cociente metabólico microbiano (qCO_2) y cociente microbiano (qMIC). Los resultados mostraron que las dosis elevadas de plaguicidas redujeron

significativamente la biomasa microbiana y alteraron la respiración basal del suelo. Asimismo, la inoculación con Trichoderma harzianum incrementó la evolución de CO_2 y la biomasa microbiana; sin embargo, los efectos de los plaguicidas variaron según la dosis y el tiempo de incubación. Este estudio evidencia que el uso intensivo de agroquímicos afecta negativamente la calidad biológica del suelo, resaltando la importancia de considerar los indicadores microbiológicos en la evaluación del impacto ambiental en sistemas agrícolas andinos.

3.1.3. Antecedentes locales

Montes et al. (2023) realizaron el estudio titulado “Impacto de los plaguicidas sobre la artropofauna asociada al cultivo de papa” en el distrito de Mollepata, provincia de Anta, región Cusco. El objetivo fue evaluar el efecto de distintos plaguicidas sobre la diversidad, abundancia y estructura de los gremios tróficos de la artropofauna del suelo en cultivos de papa comercial. La investigación se desarrolló mediante un diseño de muestreo de campo, comparando parcelas tratadas con fipronil, propineb y un manejo convencional basado en la rotación de plaguicidas. Se instalaron 35 trampas de caída por tratamiento, realizándose cinco aplicaciones y cinco evaluaciones con intervalos de catorce días. Los resultados mostraron que las familias más abundantes fueron Cicadellidae, Chrysomelidae y Sciaridae, predominando el gremio fitófago, seguido de depredadores y detritívoros. El tratamiento con propineb presentó el mayor número total de individuos, especialmente en fitófagos y parasitoides. Asimismo, se evidenció que el uso de plaguicidas alteró la composición y diversidad de la artropofauna, afectando principalmente a los gremios fitófagos y parasitoides. El estudio concluye que el uso intensivo de plaguicidas constituye un riesgo para el equilibrio ecológico del suelo agrícola, destacando la importancia de incorporar enfoques de manejo integrado de plagas. Este antecedente es relevante por desarrollarse en Cusco y evidenciar impactos biológicos del uso de agroquímicos en suelos agrícolas similares a los de Occoruro.

Mendoza y Yupanqui (2023) desarrollaron la investigación titulada “Determinación del grado de contaminación por presencia de plaguicidas en suelos de cultivo de papa en la localidad de Sucaraylla, Andahuaylas”, con el objetivo de evaluar el nivel de contaminación del suelo agrícola por residuos de plaguicidas en cultivos de papa de la región Apurímac. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y consideró el análisis de 12 muestras de suelo para la determinación de propiedades fisicoquímicas y residuos de plaguicidas mediante la técnica de cromatografía de gases. Asimismo, se aplicaron encuestas a los agricultores, las cuales fueron validadas por expertos y presentaron adecuada confiabilidad estadística. Los resultados de laboratorio evidenciaron la presencia de Carbofuran, Mancozeb, Carbendazima y Benomilo, destacando el Carbofuran con una concentración de 0.1 mg/kg, valor que supera los límites máximos permisibles establecidos en normativas ambientales. El análisis estadístico mediante el coeficiente Rho-Spearman mostró una correlación positiva significativa entre los residuos de plaguicidas, el contenido de arcilla y la materia orgánica del suelo, así como una correlación negativa significativa con el pH. Se concluyó que los suelos evaluados presentan contaminación por plaguicidas, lo cual compromete la calidad y sostenibilidad del recurso suelo.

Zapata (2022) desarrolló la tesis titulada “Impacto de los emprendimientos agropecuarios en la pequeña agricultura, Cusco, 2019”, con el objetivo de analizar la influencia de los emprendimientos agropecuarios en la dinámica productiva, económica y social de la pequeña agricultura familiar en la región Cusco. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y correlacional–causal, con un diseño no experimental de corte transversal. La recolección de información se realizó mediante encuestas y entrevistas dirigidas a pequeños agricultores, permitiendo identificar variables relacionadas con los emprendimientos, el entorno productivo y las características de los emprendedores. Los resultados evidenciaron que los emprendimientos agrícolas alcanzaron un nivel medio de implementación, mientras que los emprendimientos pecuarios presentaron un nivel bajo, desarrollándose en un entorno poco favorable. Asimismo, se identificó que los emprendimientos agropecuarios generaron impactos

significativos en las dimensiones económica y social de la agricultura familiar, aunque con efectos limitados en el ámbito ambiental. El estudio también evidenció que la modernización productiva ha impulsado un mayor uso de insumos externos, incluidos agroquímicos, como parte de las estrategias para incrementar la productividad. Estos hallazgos permiten comprender el contexto productivo local en el que se insertan las prácticas agrícolas actuales en la región Cusco.

Barreto et al. (2022) desarrollaron la investigación titulada “Contaminantes agrícolas en la producción de maíz Zea mays L. variedad choclera en Curahuasi, Apurímac, Perú”, con el objetivo de describir el uso de agroinsumos y su relación con la producción de maíz choclero en el distrito de Curahuasi. El estudio se realizó bajo un enfoque cuantitativo y nivel explicativo, aplicándose encuestas estructuradas mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple a una muestra correspondiente al 20 % de una población de 345 familias productoras, distribuidas a lo largo del transecto Concacha–Curahuasi. El trabajo de campo se llevó a cabo en octubre de 2018. Los resultados evidenciaron que el 92,16 % de los agricultores utiliza insecticidas de manera indiscriminada y sin asesoramiento técnico, así como una aplicación no estandarizada en dosis y frecuencia. Asimismo, el 94,1 % de los productores manifestó que el suelo, el agua y el cultivo de maíz se encuentran contaminados. Se identificó además una inadecuada disposición final de los envases vacíos de agroquímicos, sin prácticas de manejo ambiental. El estudio concluyó que el uso recurrente de agroquímicos en la producción de maíz choclero contribuye a la contaminación del suelo y del entorno agrícola en el distrito de Curahuasi.

Gamarra (2020) desarrolló la tesis titulada “Manejo de plaguicidas agrícolas y su incidencia en la contaminación de suelos del distrito de San Jerónimo, Cusco”, cuyo objetivo fue determinar el grado de contaminación de los suelos agrícolas asociado al uso de plaguicidas en cultivos hortícolas del distrito de San Jerónimo. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo, combinando la aplicación de encuestas a productores agrícolas con el muestreo y análisis de suelos. Para la evaluación de residuos químicos se recolectaron muestras representativas de suelos agrícolas, las

cuales fueron analizadas mediante cromatografía de gases con el fin de identificar la presencia de plaguicidas. Los resultados evidenciaron residuos de malatión y cipermetrina en los suelos evaluados, observándose una relación directa entre la frecuencia de aplicación de plaguicidas y las concentraciones detectadas. Asimismo, se identificaron deficiencias en las prácticas de manejo y aplicación de estos productos por parte de los agricultores. El estudio concluyó que el uso intensivo y la gestión inadecuada de plaguicidas contribuyen a la acumulación de contaminantes en los suelos agrícolas del distrito, generando un riesgo para la calidad ambiental del suelo.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Medio ambiente y equilibrio ecológico.

El medio ambiente comprende el conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos, sociales y culturales que interactúan en un espacio determinado, influyendo en la vida de los organismos y en la calidad de los ecosistemas Ministerio del Ambiente del Perú, (2020). Desde la perspectiva de la ingeniería ambiental, este sistema se caracteriza por su interdependencia dinámica, donde los componentes bióticos (flora, fauna, microorganismos) y abióticos (suelo, agua, aire, energía solar) mantienen un equilibrio que garantiza el funcionamiento de los procesos ecológicos esenciales.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022) advierte que actualmente cerca del 90 % de los ecosistemas terrestres experimenta algún grado de presión ambiental, producto de la expansión agrícola, el uso intensivo de agroquímicos y la alteración de los suelos. Este desequilibrio se traduce en la pérdida de biodiversidad, erosión, disminución de la fertilidad y alteración de los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y fósforo.

De acuerdo con Barrett & Odum (2021), el equilibrio ecológico se mantiene mientras los flujos de energía y materia dentro de los ecosistemas se autorregulan. No obstante, cuando la actividad humana supera la capacidad de resiliencia natural, por ejemplo,

mediante la aplicación continua de fertilizantes y pesticidas sintéticos, se produce una ruptura en los mecanismos de retroalimentación del sistema suelo-planta-atmósfera.

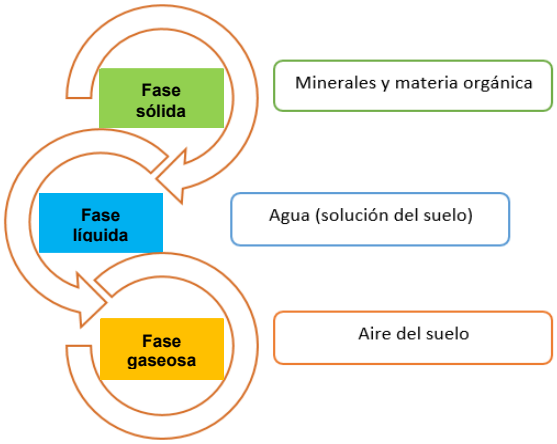
El medio ambiente rural, particularmente el agrícola, constituye un subsistema ambiental crítico, pues es donde convergen los procesos naturales con los productivos. Según la FAO (2021), los ecosistemas agrícolas desempeñan funciones regulatorias indispensables: conservación de suelos, recarga de acuíferos, control de erosión y secuestro de carbono. Sin embargo, estas funciones se ven afectadas por prácticas de manejo inadecuadas, tales como el sobre laboreo, el monocultivo y la aplicación desmedida de agroquímicos, que incrementan la contaminación difusa y la pérdida de calidad ambiental.

En el contexto peruano, el MINAM (2021) señala que la degradación ambiental de los suelos agrícolas está estrechamente vinculada al uso no controlado de agro insumos y al déficit de gestión ambiental en zonas rurales. En comunidades como Occoruro (Curahuasi, Apurímac), la falta de asesoramiento técnico y de monitoreo ambiental ha intensificado el riesgo de contaminación del suelo y del agua, generando un impacto directo en la salud de los ecosistemas agrícolas y en la seguridad alimentaria local.

3.2.1.1. Suelo agrícola y sus funciones ambientales

Figura 1

Suelo agrícola como sistema tridimensional



El suelo agrícola es un sistema natural tridimensional compuesto por fases sólida, líquida y gaseosa, que resulta de la interacción prolongada entre procesos físicos, químicos y biológicos (FAO, 2021). Su estructura está conformada por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y una diversidad de organismos que regulan el equilibrio del ecosistema edáfico.

De acuerdo con Lal (2020), el suelo es la base de los sistemas agrícolas sostenibles, ya que provee los nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, regula los flujos de agua, almacena carbono y actúa como filtro biogeoquímico frente a contaminantes externos.

Las funciones ambientales del suelo se agrupan en tres categorías principales:

Función ecológica: sirve como hábitat para microorganismos, lombrices, hongos y bacterias que intervienen en la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes.

Función productiva: sostiene la producción agrícola mediante la provisión de nutrientes y el soporte físico a las raíces.

Función reguladora: participa en los ciclos globales de carbono, nitrógeno y fósforo, y regula el intercambio de gases con la atmósfera Karlen, et al. (2019).

Sin embargo, la calidad del suelo depende de su propiedad físico-química y biológica. Su degradación puede deberse a la erosión, compactación, salinización o acumulación de sustancias tóxicas derivadas del uso de agroquímicos. En regiones altoandinas como Occoruro, donde predominan los suelos arcillosos con bajo contenido de materia orgánica, la aplicación repetida de fertilizantes químicos y pesticidas puede modificar su estructura coloidal y reducir la actividad microbiana beneficiosa.

3.2.2. Contaminación del suelo agrícola

Es la introducción de sustancias químicas o biológicas en concentraciones superiores a los niveles naturales, capaces de alterar sus propiedades y afectar la salud

de los organismos vivos (EPA, 2020). Los principales contaminantes son los plaguicidas, fertilizantes nitrogenados, metales pesados, hidrocarburos y residuos sólidos mal dispuestos.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), más del 33 % de los suelos agrícolas del mundo se encuentra degradado por la acumulación de residuos agroquímicos. Los mecanismos de contaminación incluyen:

- Lixiviación: migración de compuestos solubles hacia capas profundas del suelo y aguas subterráneas.
- Volatilización: paso de los contaminantes al aire tras su aplicación superficial.
- Adsorción y desorción: fijación o liberación de moléculas químicas en las partículas de arcilla y materia orgánica.
- Degradación biológica: transformación parcial o total por acción de microorganismos.

De acuerdo con Caruso et al. (2021), los plaguicidas persistentes generan alteraciones en la comunidad microbiana del suelo, reduciendo la biomasa y la actividad enzimática, lo que afecta la mineralización del carbono y la fijación biológica del nitrógeno.

En el contexto de Occoruro (Curahuasi), estas condiciones son preocupantes, ya que los suelos agrícolas de textura arcillosa tienden a retener por más tiempo los residuos de pesticidas, lo que puede incrementar el riesgo de acumulación y bioamplificación en la cadena trófica.

3.2.3. Agroquímicos: clasificación, composición y efectos

Los agroquímicos son sustancias naturales o sintéticas utilizadas para proteger los cultivos y mejorar la productividad, clasificadas principalmente en fertilizantes y plaguicidas García & Hernández (2021).

Los fertilizantes aportan nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y micronutrientes), pero su uso excesivo puede alterar el pH del suelo, provocar salinización y aumentar la eutrofización de cuerpos de agua.

Por otro lado, los plaguicidas, insecticidas, herbicidas, fungicidas y nematicidas actúan sobre plagas específicas, aunque también afectan organismos no objetivo.

Silva et al. (2023) señalan que los agroquímicos de tipo organofosforado y carbamato inhiben la actividad de la enzima colinesterasa en microorganismos del suelo, reduciendo su actividad metabólica. Asimismo, algunos compuestos como el glifosato y el clorpirifos poseen alta persistencia, permaneciendo activos por meses e incluso años después de su aplicación.

El uso intensivo y no regulado de agroquímicos en zonas rurales del Perú responde a la falta de control técnico y de educación ambiental. Estudios realizados por MINAGRI (2021) indican que más del 70 % de los agricultores aplica dosis empíricas, sin calibración de equipos ni conocimiento de toxicidad. En Occoruro, esta práctica puede causar una pérdida progresiva de fertilidad y alterar el balance natural del suelo agrícola

3.2.4. Sostenibilidad y gestión ambiental agrícola

La sostenibilidad agrícola se basa en el uso racional de los recursos naturales para mantener la productividad a largo plazo sin comprometer los ecosistemas Altieri, (2021). Este enfoque integra los principios de ecología del suelo, agroecología y gestión ambiental, promoviendo prácticas agrícolas resilientes frente al cambio climático y la degradación del suelo.

La gestión ambiental agrícola, según el MINAM (2021), comprende el conjunto de políticas, normas y programas destinados a prevenir y mitigar los impactos negativos de las actividades agropecuarias. Incluye herramientas como la evaluación de impacto ambiental (EIA), los planes de manejo ambiental (PMA) y las buenas prácticas agrícolas (BPA).

Entre las estrategias sostenibles más efectivas destacan el manejo integrado de plagas (MIP), el uso de biofertilizantes y biopesticidas, la rotación de cultivos y la aplicación de tecnologías limpias.

Autores como Nicholls et al. 2020) sostienen que la transición hacia sistemas agroecológicos reduce la dependencia de insumos sintéticos, mejora la biodiversidad funcional del suelo y fortalece la seguridad alimentaria. En comunidades como Occoruro, la aplicación de estos enfoques permitiría reducir los impactos ambientales asociados al uso indiscriminado de agroquímicos y fomentar la sostenibilidad productiva local.

3.2.5. Uso de agroquímicos en la agricultura

El uso de agroquímicos constituye una de las principales estrategias de la agricultura moderna para garantizar la productividad de los cultivos y el control de agentes bióticos y abióticos que afectan la producción. Según la Food and Agriculture Organization (FAO, 2022), más del 50 % de los sistemas agrícolas del mundo dependen del uso de fertilizantes sintéticos y plaguicidas para sostener la demanda alimentaria global. No obstante, esta dependencia ha provocado impactos ambientales significativos, principalmente la degradación del suelo, contaminación del agua y pérdida de biodiversidad edáfica, lo que representa un desafío para la sostenibilidad agroambiental.

3.2.6. Concepto y función de los agroquímicos

Los agroquímicos son sustancias naturales o sintéticas utilizadas para modificar el crecimiento vegetal, controlar plagas o enfermedades, y mejorar las condiciones del suelo y la productividad García & Hernández (2021). Su aplicación se justifica cuando los sistemas agrícolas enfrentan limitaciones de fertilidad o alta presión de plagas; sin embargo, el uso intensivo y no regulado altera los procesos ecológicos y contamina los ecosistemas agrícolas.

De acuerdo con Melo, Silva & Torres (2023), los agroquímicos se clasifican principalmente en tres grupos:

Fertilizantes: aportan nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). También incluyen micronutrientes como zinc, hierro, cobre o manganeso.

Pesticidas: comprenden insecticidas, herbicidas, fungicidas y nematicidas. Están formulados con principios activos organofosforados, carbamatos, clorados o piretroides.

Acondicionadores y reguladores del crecimiento: mejoran la estructura física del suelo y estimulan procesos fisiológicos específicos de las plantas.

En la práctica agrícola, estos compuestos se aplican de manera foliar, al suelo o por fertiirrigación, dependiendo del tipo de cultivo, clima y textura del suelo. Sin embargo, la ausencia de asistencia técnica y la falta de calibración de equipos frecuentes en la agricultura familiar peruana generan sobredosificación y pérdidas por escorrentía o volatilización MIDAGRI (2021).

3.2.7. Tipos de agroquímicos según su uso

Insecticidas: diseñados para eliminar o inhibir insectos fitófagos. Los más comunes en el Perú son los organofosforados (clorpirifos, malatión, metamidofos) y piretroides (cipermetrina, deltametrina). Estos compuestos actúan inhibiendo la acetilcolinesterasa en el sistema nervioso de los insectos, pero también afectan organismos benéficos como abejas y lombrices Rivelli et al, (2021).

Herbicidas: controlan malezas que compiten con el cultivo. El glifosato es el más utilizado en América Latina, aunque su persistencia en el suelo puede superar los 180 días Silva et al (2023).

Fungicidas: combaten hongos fitopatógenos; algunos contienen cobre o azufre, lo que puede generar acumulación metálica en el suelo.

Fertilizantes nitrogenados: como la urea o el nitrato de amonio, elevan la productividad, pero su aplicación excesiva provoca acidificación del suelo y emisiones de óxidos de nitrógeno (N_2O), un potente gas de efecto invernadero Lal (2020).

Tabla 2

Clasificación de los principales plaguicidas

Tipo de plaguicida	Clases / Grupos
Insecticidas	Organofosforados Organoclorados Carbamatos Piretroides
Fungicidas	Organoclorados Órganos mercuriales
Herbicidas	Bipiridilos Organoclorados Organofosforados
Raticidas	Dicumarínicos

Nota. A. Ferrer, (2014)

3.2.7.1. Comportamiento de los agroquímicos en el ambiente

El destino ambiental de los agroquímicos depende de sus propiedades fisicoquímicas (solubilidad, presión de vapor, coeficiente de partición octanol-agua) y de las características del suelo (textura, pH, contenido de materia orgánica).

Según la EPA (2020), tras su aplicación los plaguicidas pueden:

- Adsorberse a las partículas del suelo, afectando su disponibilidad
- Lixiviarse hacia el agua subterránea
- Volatilizarse a la atmósfera
- Degradarse por acción microbiana o fotolítica.

Estos procesos definen su persistencia y toxicidad residual. Los compuestos organoclorados, por ejemplo, tienen vida media superior a los 12 meses y tienden a bioacumularse en organismos del suelo y en la cadena alimentaria (UNET, 2022).

En suelos altoandinos, donde predominan bajas temperaturas y alta humedad, la degradación química es lenta, lo que favorece la acumulación de residuos persistentes. Por ello, la aplicación continua de agroquímicos en la comunidad de Occoruro (Curahuasi) representa un riesgo elevado de contaminación del horizonte superficial y pérdida de calidad edáfica.

3.2.7.2. Situación del uso de agroquímicos en el Perú

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego MIDAGRI (2021), reporta que el 76 % de los agricultores peruanos utiliza plaguicidas de manera empírica, sin capacitación técnica, y que solo el 12 % conoce el significado de la banda toxicológica en las etiquetas. Además, el MINAM (2021) advierte que las regiones de Cusco, Apurímac y Ayacucho presentan alta vulnerabilidad ambiental por el incremento del uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas sin control.

En zonas rurales como Occoruro, donde predomina la agricultura familiar y los cultivos tradicionales (fresa, maíz y arveja), los productores emplean mezclas químicas de uso empírico para mejorar la productividad, sin evaluar la carga contaminante acumulativa. Esta práctica incrementa el riesgo de contaminación del suelo y del agua, afectando directamente la sostenibilidad de la actividad agrícola y la salud humana.

3.2.7.3. Implicancias ambientales del uso de agroquímicos

El uso indiscriminado de agroquímicos ocasiona una serie de impactos ambientales, entre los que destacan:

- Alteración de las propiedades del suelo: pérdida de materia orgánica, disminución del pH y alteración de la capacidad de intercambio catiónico.
- Reducción de la biodiversidad edáfica: muerte o inhibición de microorganismos benéficos como Rhizobium o Azotobacter.
- Contaminación hídrica: por arrastre de residuos hacia canales y ríos.
- Contaminación atmosférica: por volatilización de amoníaco o partículas durante la aplicación.

Altieri (2021) y FAO (2022) coinciden en que el uso excesivo de agroquímicos reduce la resiliencia ecológica de los agroecosistemas, aumentando su dependencia química y disminuyendo la capacidad natural de recuperación del suelo. Por ello, el conocimiento de su comportamiento ambiental y de los riesgos asociados es fundamental para el diseño de estrategias de mitigación sostenibles.

3.2.8. Impacto ambiental del uso de agroquímicos en el suelo agrícola

El suelo agrícola constituye un sistema ecológico complejo que actúa como un receptor, transformador y reservorio de sustancias químicas. Su capacidad para degradar o inmovilizar contaminantes depende de factores como la textura, el contenido de materia orgánica, la humedad, la temperatura y la actividad microbiana Lal (2020) Sin embargo, cuando los agroquímicos son aplicados en exceso o sin control técnico, su equilibrio natural se ve alterado, dando lugar a procesos de contaminación y degradación ambiental.

3.2.8.1. Procesos de contaminación del suelo

Los agroquímicos penetran en el sistema edáfico a través de diversos mecanismos de transporte y transformación. Según la Environmental Protection Agency (EPA, 2020), los principales procesos son:

Adsorción: las moléculas químicas se adhieren a las partículas de arcilla y materia orgánica. Esta interacción depende del pH, la carga superficial del suelo y la naturaleza del contaminante.

Lixiviación: los compuestos solubles son arrastrados hacia las capas profundas, alcanzando acuíferos subterráneos y generando contaminación difusa.

Volatilización: ocurre cuando los plaguicidas se evaporan tras la aplicación, contribuyendo a la contaminación del aire y la deposición atmosférica.

Degradación química y biológica: incluye la descomposición de los compuestos por acción de la luz (fotólisis), el agua (hidrólisis) o la microbiota del suelo (biodegradación).

Los suelos de Occoruro, predominantemente arcillosos y con bajo contenido de materia orgánica, presentan una alta capacidad de retención de plaguicidas, pero una baja tasa de degradación microbiana, lo que incrementa la persistencia de residuos en el horizonte cultivable. Estudios locales en la región de Apurímac Barreto et al, (2022) demuestran que la aplicación continua de plaguicidas en maíz choclero ha generado acumulación de compuestos organofosforados en la capa arable, afectando la estructura coloidal y reduciendo la porosidad del suelo.

3.2.8.2. Efectos físicos y químicos en el suelo

El uso prolongado de agroquímicos modifica las propiedades físicas y químicas del suelo, afectando su fertilidad y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

De acuerdo con Karlen et al, (2019) los fertilizantes nitrogenados acidifican el suelo por la liberación de iones hidrógeno durante la nitrificación, lo que reduce la disponibilidad de calcio, magnesio y potasio.

Asimismo, los fertilizantes fosfatados en exceso provocan precipitación de sales insolubles, afectando la absorción de micronutrientes.

La FAO (2022) advierte que los suelos agrícolas con alto uso de agroquímicos presentan pérdida progresiva de materia orgánica, incremento de sales solubles, y alteraciones en la relación carbono/nitrógeno, lo que impacta directamente en la productividad agrícola.

En el contexto de Occoruro, donde los agricultores aplicaron fertilizantes sintéticos sin diagnóstico de suelos, se observó un deterioro gradual de las propiedades químicas, evidenciado por la compactación superficial y la disminución del pH en áreas de cultivo intensivo de fresa y maíz.

3.2.8.3. Efectos biológicos y microbiológicos

Los efectos biológicos constituyen uno de los impactos más críticos del uso de agroquímicos. Los microorganismos del suelo, como bacterias, hongos y actinomicetos, cumplen un papel esencial en la mineralización de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y la formación de agregados estables (Caruso, Rivelli & Scopa, 2021).

La exposición constante a pesticidas altera la composición de la comunidad microbiana, reduciendo la actividad enzimática y la biomasa microbiana total.

(Silva et al, (2023) demostraron que los plaguicidas organofosforados, como el clorpirifos y el metamidofos, inhiben la enzima deshidrogenasa y disminuyen la respiración basal del suelo, lo cual ralentiza los procesos de reciclaje del carbono y nitrógeno.

La pérdida de biodiversidad microbiana genera un suelo biológicamente inactivo, incapaz de mantener su función ecosistémica.

En zonas altoandinas del Perú, como Curahuasi, la disminución de microorganismos benéficos afecta la simbiosis con las raíces de los cultivos, limitando la fijación biológica del nitrógeno y reduciendo la eficiencia del uso de fertilizantes. Este efecto acumulativo compromete la capacidad regenerativa del suelo y su resiliencia frente al cambio climático.

3.2.8.4. Efectos ecológicos y sobre la salud humana

El impacto ambiental de los agroquímicos trasciende el sistema suelo. A través de la bioacumulación y biomagnificación, los residuos químicos pueden ingresar a la cadena alimentaria y alcanzar niveles tróficos superiores (UNET, 2022).

Los organoclorados y organofosforados son los principales compuestos asociados a efectos crónicos en la salud humana, incluyendo alteraciones endocrinas, hepáticas y neurológicas (EPA, 2020).

En estudios realizados en el distrito de San Jerónimo – Cusco, Gamarra (2020) reportó residuos de malatión y cipermetrina en suelos hortícolas, con correlación directa entre frecuencia de aplicación y concentración acumulada. Este tipo de hallazgos refuerza la necesidad de monitorear la presencia de contaminantes agrícolas en Occoruro, donde las prácticas de aplicación y disposición de envases no cuentan con supervisión técnica ni control institucional.

3.2.8.5. Degradación y pérdida de calidad del suelo agrícola

La calidad del suelo es el resultado de su capacidad para mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y la salud vegetal y animal (Lal, 2020).

Cuando los agroquímicos superan la capacidad de amortiguación del suelo, se produce una pérdida irreversible de calidad, manifestada en la reducción de la materia orgánica, la alteración del pH, la disminución de la porosidad y el incremento de contaminantes persistentes.

Nicholls et al. (2020) sostienen que el uso indiscriminado de agroquímicos debilita la estabilidad del agroecosistema, disminuye la resiliencia ecológica y genera una dependencia química que impide la regeneración natural.

Por ello, es fundamental implementar prácticas agroecológicas y de manejo integrado que favorezcan la restauración biológica del suelo y eviten la contaminación progresiva.

3.2.9. Estrategias de mitigación y sostenibilidad agrícola

La mitigación del impacto ambiental derivado del uso de agroquímicos exige un enfoque sistémico que combine tecnología, conocimiento científico, gestión ambiental y responsabilidad social. En el marco de la Política Nacional del Ambiente al 2030 (MINAM, 2020) y la Estrategia Nacional de Agricultura Sostenible (MIDAGRI, 2022), el Perú promueve prácticas de manejo sostenible que reduzcan la contaminación de los suelos, preserven la biodiversidad y fortalezcan la seguridad alimentaria.

La sostenibilidad agrícola implica mantener la productividad de los suelos a largo plazo sin comprometer los recursos naturales ni la salud humana. Para Altieri (2021), esta sostenibilidad solo es posible mediante sistemas agroecológicos que restauren la fertilidad natural del suelo, reduzcan la dependencia química y promuevan el equilibrio ecológico.

3.2.9.1. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son un conjunto de procedimientos técnicos que buscan garantizar la inocuidad de los alimentos y la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. Según la FAO (2021) y el Reglamento Nacional de BPA (DS N.º 001-2015-MINAGRI), su aplicación abarca la correcta manipulación de insumos agrícolas, el uso responsable del agua, la gestión de residuos y la protección de la salud del trabajador rural.

Las BPA relacionadas con el manejo de agroquímicos incluyen:

- Utilización de equipos calibrados y verificación de condiciones meteorológicas antes de aplicar plaguicidas.
- Almacenamiento seguro de productos químicos en ambientes ventilados y fuera del alcance de personas y animales.

- Cumplimiento del principio de las 3R: reducir, reutilizar y reciclar envases, aplicando el triple lavado y el acopio en puntos autorizados.
- Registro detallado de fechas, dosis, cultivos y productos aplicados, de acuerdo con la trazabilidad agrícola.

En la comunidad de Occoruro, la implementación de BPA permitiría reducir la contaminación del suelo agrícola, optimizar el uso de fertilizantes y minimizar el riesgo de intoxicaciones por contacto directo o inhalación.

3.2.9.2. Manejo Integrado de Plagas (MIP)

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es una estrategia ecológica que busca mantener las poblaciones de plagas por debajo del umbral económico de daño, combinando métodos biológicos, culturales, físicos y químicos Nicholls et al, (2020).

El MIP prioriza el uso de enemigos naturales, rotación de cultivos y control mecánico, relegando los plaguicidas a una opción de última instancia. Entre las prácticas recomendadas se encuentran:

- Introducción de bioinsecticidas basados en Bacillus thuringiensis o extractos vegetales.
- Uso de trampas de feromonas para el monitoreo de plagas.
- Eliminación manual o mecánica de malezas.
- Aplicación racional de productos químicos solo cuando sea estrictamente necesario y en dosis controladas.

El MIDAGRI (2022) promueve la adopción del MIP en zonas agrícolas altoandinas, debido a su efectividad comprobada en reducir el consumo de plaguicidas hasta en un 60 % sin afectar la productividad. En Occoruro, esta práctica puede adaptarse a cultivos de fresa y maíz, aprovechando la biodiversidad local y los ciclos estacionales.

3.2.9.3. Uso de biofertilizantes y biopesticidas

Los biofertilizantes son formulaciones biológicas que contienen microorganismos vivos capaces de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo y descomponer materia

orgánica. Los biopesticidas, por su parte, emplean bacterias, hongos o metabolitos naturales para el control de plagas, minimizando el uso de sustancias tóxicas (Altieri, 2021)

De acuerdo con Mendoza et al, (2023) el uso de biofertilizantes incrementa la biomasa microbiana y mejora la estructura del suelo, aumentando la eficiencia de los nutrientes y la retención de humedad. En regiones como Apurímac, estos productos han demostrado ser una alternativa económica y ecológica frente a los fertilizantes sintéticos.

La combinación de compost, humus de lombriz y biofertilizantes líquidos elaborados a partir de residuos agrícolas podría aplicarse en Occoruro como parte de un plan de restauración del suelo, reduciendo los costos de producción y mejorando la fertilidad a largo plazo.

3.2.9.4. Educación y capacitación ambiental rural

La educación ambiental es un eje transversal de la sostenibilidad. Según el MINAM (2021), la capacitación técnica de los agricultores es fundamental para el manejo adecuado de los agroquímicos y la gestión de los residuos peligrosos.

Las capacitaciones deben abordar temas como:

- Identificación de bandas toxicológicas y hojas de seguridad.
- Técnicas seguras de almacenamiento, transporte y disposición final.
- Elaboración de compost y abonos orgánicos locales.
- Promoción del reciclaje de envases y residuos agrícolas.

En Occoruro, donde la agricultura familiar constituye el principal medio de subsistencia, la implementación de escuelas de campo campesinas (ECC) sería una herramienta eficaz para la transferencia de conocimientos ambientales y la construcción de una cultura agrícola responsable.

3.3. Normativa Ambiental Peruana

En el Perú, el marco legal que regula el uso de agroquímicos tiene como objetivo proteger el ambiente, la salud humana y asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. A continuación, se presentan las principales normas y disposiciones aplicables:

Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611)

La Ley General del Ambiente constituye el marco normativo principal en materia ambiental en el Perú. Establece en su Artículo 2 el derecho fundamental de toda persona a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. En el contexto del uso de agroquímicos, esta ley exige que las actividades agrícolas garanticen la prevención de la contaminación del suelo, agua y aire, y promueve la gestión sostenible de los recursos naturales.

Reglamento de la Ley de Sanidad Agraria (Decreto Supremo N.º 003-2005-AG)

Este reglamento regula el registro, comercialización, uso y control de productos químicos de uso agrícola (plaguicidas químicos de uso agrícola - PQUA). Establece requisitos técnicos para su etiquetado, almacenamiento y disposición final, buscando minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente. SENASA es la entidad encargada de supervisar el cumplimiento de estas disposiciones.

Límites Máximos Permitidos (LMP)

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Agraria) ha establecido Límites Máximos Permitidos de residuos de plaguicidas en alimentos y suelos. Estos límites están basados en evaluaciones toxicológicas y tienen por objetivo proteger la salud de los consumidores, además de prevenir la contaminación persistente del suelo y los recursos hídricos. El monitoreo de los LMP forma parte de los programas de vigilancia fitosanitaria y de inocuidad agroalimentaria.

Estas normativas reflejan el compromiso del Estado peruano por garantizar prácticas agrícolas seguras, sostenibles y compatibles con el interés público, especialmente en regiones como la Sierra del Perú, donde los ecosistemas son más frágiles y vulnerables a la acumulación de contaminantes.

El marco legal peruano regula el uso de agroquímicos a través de diversas normas:

- Ley N.º 28245 – Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Decreto Supremo N.º 001-2015-MINAGRI – Reglamento Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas.

- Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM – Reglamento de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos.
- Resolución Ministerial N.º 107-2020-MINAM – Estrategia Nacional de Lucha contra la Contaminación del Suelo.

Estas normas establecen obligaciones para el registro, almacenamiento, transporte y disposición de productos químicos, además de promover el uso de alternativas ecológicas y la recuperación de suelos contaminados mediante tecnologías de biorremediación y fitorremediación.

En el marco de la presente investigación, dichas disposiciones son esenciales para orientar la propuesta de gestión ambiental agrícola sostenible en la comunidad de Occoruro, basada en la educación ambiental, la regulación técnica y la restauración ecológica del suelo

3.4. Definición de términos

Agroquímicos: Son productos de origen químico, natural o sintético, utilizados en la agricultura para mejorar la productividad de los cultivos, controlar plagas, enfermedades y malezas, o corregir deficiencias nutricionales del suelo. Comprenden fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas y reguladores del crecimiento. Su uso adecuado favorece el rendimiento agrícola; sin embargo, su aplicación excesiva o empírica puede generar contaminación del suelo y degradación ambiental.

Contaminación del suelo: Es la alteración negativa de la calidad natural del suelo debido a la acumulación de sustancias químicas que superan los niveles normales de concentración. Esta contaminación puede afectar su estructura, su fertilidad, los organismos que habitan en él y su capacidad para sustentar cultivos. En el ámbito agrícola, la contaminación se produce principalmente por el uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas.

Impacto ambiental: Se entiende como todo cambio o modificación que una actividad humana produce sobre el medio ambiente, alterando sus componentes físicos,

químico s o biológicos. En esta investigación, el impacto ambiental se refiere a los efectos negativos del uso de agroquímicos en el suelo agrícola, manifestados a través de la pérdida de fertilidad, la degradación biológica y la alteración de los ecosistemas locales.

Suelo agrícola: Es la capa superficial de la corteza terrestre que sirve de soporte a las plantas y les proporciona los nutrientes, el agua y el aire necesarios para su crecimiento. Su composición está formada por materia mineral, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. Su calidad depende del equilibrio entre estos componentes y de las prácticas de manejo que se realicen.

Fertilidad del suelo: Se refiere a la capacidad del suelo para suministrar a las plantas los nutrientes esenciales en cantidad y proporción adecuadas para su desarrollo. La fertilidad del suelo depende de factores como el contenido de materia orgánica, la estructura, la textura, el pH y la actividad microbiana. Cuando se aplican agroquímicos en exceso, esta fertilidad puede disminuir debido a la pérdida de nutrientes y microorganismos beneficiosos.

Degradación del suelo: Es el proceso mediante el cual el suelo pierde su capacidad de sostener la vida vegetal y animal, producto de la erosión, compactación, salinización, acidificación o contaminación química. La degradación reduce la productividad agrícola, altera el equilibrio ecológico y contribuye a la desertificación. En Occoruro, este proceso se asocia principalmente al uso intensivo de productos químicos agrícolas.

Sostenibilidad agrícola: Es la capacidad de un sistema agrícola para mantener su productividad a lo largo del tiempo, garantizando el uso responsable de los recursos naturales y el equilibrio del ecosistema. Implica prácticas que preserven la fertilidad del suelo, reduzcan el uso de agroquímicos y promuevan métodos de producción respetuosos con el ambiente.

Agroecología: Es un enfoque de producción agrícola basado en los principios ecológicos que rigen los sistemas naturales. Busca restablecer el equilibrio entre el suelo, las plantas y los organismos, promoviendo la biodiversidad y el uso racional de los

recursos. Se considera una alternativa sostenible frente a la agricultura dependiente de insumos químicos.

Mitigación ambiental: Se define como el conjunto de acciones o medidas destinadas a prevenir, reducir o compensar los efectos negativos de una actividad humana sobre el medio ambiente. En el caso de la agricultura, la mitigación ambiental se logra mediante prácticas como las buenas prácticas agrícolas, el manejo integrado de plagas, el uso de biofertilizantes y la educación ambiental rural.

Agricultura sostenible: Es un modelo de producción que busca satisfacer las necesidades alimentarias presentes sin comprometer los recursos naturales de las futuras generaciones. Combina conocimientos técnicos, manejo ecológico del suelo y responsabilidad ambiental, orientando las actividades agrícolas hacia el desarrollo sostenible.

Fertilizante orgánico: Es una sustancia natural que se utiliza para enriquecer el suelo y ayudar al crecimiento de las plantas. Está hecho a partir de materiales como restos de plantas, estiércol, compost o residuos animales, y aporta nutrientes esenciales de forma gradual, mejorando la salud del suelo sin dañarlo. A diferencia de los fertilizantes químicos, los orgánicos también contribuyen a aumentar la materia orgánica y la actividad biológica del suelo, favoreciendo un ambiente más equilibrado y sostenible para los cultivos.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativo, debido a que se fundamenta en la medición objetiva de variables relacionadas con el uso de agroquímicos y las características físico - químicas y biológicas del suelo agrícola. Este enfoque permitió trabajar con datos numéricos obtenidos a través de análisis de laboratorio, fichas de campo y encuestas estructuradas, garantizando la precisión en la evaluación del impacto ambiental sobre el recurso suelo. El enfoque cuantitativo posibilitó, además, identificar patrones, tendencias y magnitudes de los cambios generados por la aplicación de insumos químicos en las parcelas agrícolas de la comunidad.

El estudio corresponde a un nivel descriptivo, ya que tuvo como propósito caracterizar de manera detallada las propiedades del suelo (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nutrientes esenciales), así como los tipos, frecuencias y prácticas de uso de agroquímicos por parte de los agricultores. No se buscó establecer relaciones causales estrictas, sino describir el comportamiento observable de las variables involucradas y documentar la magnitud del deterioro ambiental en función del manejo agrícola local, proporcionando una comprensión organizada del fenómeno estudiado (Hernández et al., 2014).

El diseño metodológico es no experimental y de tipo transversal, dado que no se manipuló ninguna de las variables de estudio; por el contrario, se observaron tal como se presentan en el contexto real de las parcelas agrícolas. El diseño no experimental permitió analizar la calidad del suelo sin intervenir en su manejo, mientras que el carácter

transversal implicó la recolección de datos en un único momento temporal. Esto posibilitó obtener una “fotografía” del estado actual del suelo y del uso de agroquímicos durante el periodo de estudio, sin evaluar cambios evolutivos o longitudinales, pero aportando una visión clara y objetiva del impacto ambiental existente (Hernández et al., 2014).

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Temporal

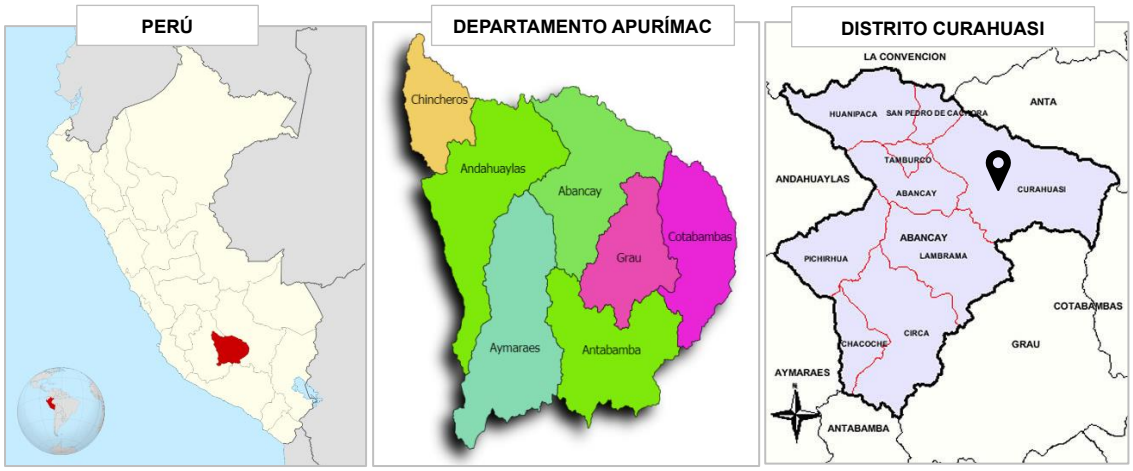
El estudio se desarrolló durante los meses de enero del 2025 a junio del año 2026, lo que restringió la evaluación a un período específico de tiempo. Esta delimitación temporal no permitió identificar de manera integral los efectos acumulativos asociados al uso de agroquímicos en el suelo, debido a que algunas alteraciones en las propiedades del suelo, como las variaciones en el contenido de nutrientes o la presencia de contaminantes, requirieron evaluaciones de largo plazo para su adecuada caracterización.

4.2.2. Espacial

La investigación estuvo delimitada espacialmente a la Comunidad Campesina de Occoruro, ubicada en el distrito de Curahuasi, Provincia de Abancay, dentro del departamento de Apurímac, en el sureste del Perú. El estudio se desarrolló considerando las condiciones agroecológicas propias de esta comunidad, lo que permitió obtener información específica y contextualizada sobre la calidad del suelo agrícola en el área de estudio. En ese sentido, los resultados obtenidos corresponden exclusivamente al ámbito territorial evaluado y no fueron extrapolables a otras comunidades o zonas agrícolas con características edafoclimáticas y sistemas de manejo diferentes.

Figura 2

Mapa de ubicación geográfica del distrito de Curahuasi - Occoruro



Nota. Adaptado de la Revista Llamkasun, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja – (Hernández, 2023).

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según Ñaupas et al. (2018), la población se refiere al conjunto total de elementos, unidades o entidades de análisis que poseen las características necesarias para ser incluidas dentro del estudio; esta puede estar conformada por personas, objetos, organismos, procesos o fenómenos que comparten atributos relevantes para la investigación. En esta línea, la población constituye el marco de referencia sobre el cual se realizó la recolección, procesamiento y análisis de la información.

En concordancia con esta definición, la población considerada en la presente investigación estuvo constituida por los agricultores de la Comunidad de Occoruro, quienes realizaron actividades agrícolas utilizando insumos agroquímicos y representan la unidad de análisis social vinculada a la variable independiente del estudio. Asimismo, se consideró como población ambiental a los suelos agrícolas de las parcelas de cultivo de Occoruro, por cuanto constituyen el componente físico en el cual se evaluaron los efectos del uso de agroquímicos y sobre el cual se realizaron los análisis físico–químicos y biológicos.

4.3.2. Muestra

Según López (2004), la muestra constituye una fracción representativa del universo o población, seleccionada con el propósito de concentrar el análisis investigativo en las unidades que reflejan de manera pertinente las características del fenómeno de estudio. En esta investigación, la muestra estuvo conformada por una muestra humana y una muestra ambiental (suelo agrícola), ambas necesarias para el análisis integral del uso de agroquímicos y sus efectos sobre el recurso suelo en la Comunidad de Occoruro.

4.3.2.1. Muestra humana

La muestra humana se integró por 40 agricultores, equivalentes al 20 % de la población total de productores agrícolas de la comunidad (N = 200). Este tamaño muestral fue determinado mediante el método estadístico de Cochran para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza del 95 %, una proporción esperada de 0,5, una proporción complementaria de 0,5 y un margen de error de 14 %, obteniéndose una muestra representativa para la aplicación de las entrevistas.

Para el cálculo se consideraron los siguientes parámetros:

- Nivel de confianza: 95 %
- Valor Z: 1.96
- Proporción esperada: p = 0.5 (máxima variabilidad)
- Proporción complementaria: q = 0.5
- Margen de error permitido: E = 0.14
- Población total: N = 200 agricultores

La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$n = \frac{Z^2\, p\, q\, N}{E^2(N-1) + Z^2\, p\, q}$$

Sustituyendo valores:

$$n = \frac{(1.96)^2(0.5)(0.5)(200)}{(0.14)^2(200-1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$

4.3.2.2. Muestra ambiental (suelo agrícola)

La muestra ambiental estuvo conformada por dos tipos de suelo agrícola representativos de la comunidad de Occoruro: un suelo con manejo orgánico y otro con uso intensivo de productos agroquímicos, seleccionados por representar los sistemas de producción predominantes en la zona de estudio.

El muestreo se llevó a cabo durante dos campañas: el 5 de octubre de 2025 y el 28 de junio de 2026. En cada campaña se recolectaron dos muestras compuestas; una de suelo con manejo orgánico y otra de suelo sometido a un uso intensivo de agroquímicos, lo que resultó en un total de cuatro muestras compuestas entre ambas campañas (dos de suelo con manejo orgánico y dos de suelo con uso intensivo de agroquímicos). Cada muestra compuesta consistió en seis (6) submuestras recolectadas siguiendo un patrón en zigzag a una profundidad de 0 a 30 cm. De este modo, se obtuvieron 12 submuestras por campaña, sumando un total de 24 submuestras. El procedimiento se realizó de acuerdo con las recomendaciones del INIA (2021) y del SENASA (2022).

Las submuestras de cada sistema fueron homogeneizados y cuarteados para obtener aproximadamente 1 kg de suelo destinado a análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Los sitios experimentales se seleccionaron mediante un enfoque dirigido y no aleatorio, teniendo en cuenta las prácticas de manejo, el uso intensivo de agroquímicos, la representatividad, la similitud en cuanto a los cultivos y las propiedades del suelo, así como la accesibilidad.

Este procedimiento permitió comparar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo entre los sitios con manejo orgánico y aquellos sometidos a un uso intensivo de agroquímicos.

Tabla 3

Coordenadas de los puntos de muestreo

COORDENADAS UTM Y GEOGRAFICAS SISTEMA WSG84 DE LOS PUNTOS DONDE SE TOMARON LAS MUESTRAS PARA EN ANALISIS DE SUELO AGRICOLA									
N°	**PUNTO GPS**	**ELEVACION (msnm)**	**COORDENADAS UTM DATUM: WSG84**			**COORDENADAS GEOGRAFICAS DATUM: WSG84**			
			ESTE (m)	**NORTE (m)**	**ZONA**	**LATITUD SUR (DMS)**	**LONGITUD OESTE (DMS)**	**LATITUD SUR (decimal)**	**LONGITUD OESTE (decimal)**
1	P-01	3,146	**744,350.279**	**8,502,698.312**	18S	13°32'01.9" S	72°44'32.3" W	-13.533861	-72.742306
2	P-02	3,145	**744,331.863**	**8,502,658.515**	18S	13°32'03.2" S	72°44'32.9" W	-13.534222	-72.742472
3	P-03	3,143	**744,374.029**	**8,502,664.274**	18S	13°32'03.0" S	72°44'31.5" W	-13.534167	-72.742083
4	P-04	3,141	**744,355.698**	**8,502,633.700**	18S	13°32'04.0" S	72°44'32.1" W	-13.534444	-72.742250
5	P-05	3,136	**744,412.960**	**8,502,645.469**	18S	13°32'03.6" S	72°44'30.2" W	-13.534333	-72.741722
6	P-06	3,135	**744,376.498**	**8,502,605.839**	18S	13°32'04.9" S	72°44'31.4" W	-13.534694	-72.742056
7	P-07	3,125	**744,433.730**	**8,502,614.533**	18S	13°32'04.6" S	72°44'29.5" W	-13.534611	-72.741528
8	P-08	3,120	**744,388.160**	**8,502,565.764**	18S	13°32'06.2" S	72°44'31.0" W	-13.534944	-72.741944
9	P-09	3,119	**744,436.398**	**8,502,577.616**	18S	13°32'05.8" S	72°44'29.4" W	-13.534944	-72.741500
10	P-10	3,114	**744,414.918**	**8,502,531.699**	18S	13°32'07.3" S	72°44'30.1" W	-13.535361	-72.741694
11	P-11	3,109	**744,463.099**	**8,502,537.403**	18S	13°32'07.1" S	72°44'28.5" W	-13.535306	-72.741250
12	P-12	3,107	**744,432.681**	**8,502,500.791**	18S	13°32'08.3" S	72°44'29.5" W	-13.535639	-72.741528

Figura 3

Ubicación del área de estudio - terreno agrícola de Occoruro



Nota. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo

4.4. Instrumentos

Para la recolección de información se emplearon instrumentos diseñados de acuerdo con los objetivos del estudio y el enfoque cuantitativo adoptado, los cuales permitieron obtener datos confiables y pertinentes sobre el uso de agroquímicos y la calidad del suelo agrícola.

- **Ficha de entrevista estructurada:** elaborada por el tesista y conformada por 22 preguntas (19 cerradas y 3 abiertas), aplicada a los agricultores de la Comunidad de Occoruro. Este instrumento permitió recopilar información relacionada con las dimensiones de conocimiento, uso, manejo y percepción sobre los agroquímicos empleados en la actividad agrícola.
- **Guía de observación de campo:** permitió verificar de manera directa las prácticas agrícolas y ambientales desarrolladas en las parcelas, tales como métodos de aplicación de agroquímicos, condiciones de almacenamiento, disposición de envases y estado general del suelo.

- **Formato de muestreo de suelo:** instrumento técnico diseñado para el registro sistemático de datos de campo, incluyendo coordenadas geográficas, profundidad de muestreo, tipo de cultivo y observaciones visuales.

Todos los instrumentos fueron codificados y sistematizados, y la ficha de entrevista y la guía de observación fueron validadas mediante juicio de expertos, garantizando la confiabilidad y consistencia de la información recopilada.

4.5. Procedimientos

El desarrollo de la investigación se realizó de manera secuencial, siguiendo etapas definidas para la recolección y análisis de la información. Las fases se estructuraron de la siguiente manera:

4.5.1. Etapa de planificación

En esta etapa se definieron los objetivos de la investigación, el diseño metodológico y las variables de estudio. Asimismo, se realizó la revisión de literatura científica y normativa relacionada con el uso de agroquímicos y la calidad del suelo agrícola. Con base en ello, se elaboraron los instrumentos de recolección de datos, que incluyeron la ficha de entrevista, la guía de observación de campo y el formato de muestreo de suelo. La ficha de entrevista fue sometida a validación mediante juicio de expertos dos expertos.

4.5.2. Etapa de trabajo de campo

En una primera etapa se aplicaron entrevistas semiestructuradas a 40 agricultores para conocer el uso y manejo de los agroquímicos, complementándose con la observación directa de las parcelas. Para el desarrollo de esta etapa y el acceso a los terrenos de estudio, se contó con la autorización correspondiente de la comunidad, la cual se presenta en el Anexo 3.

La toma de muestras de suelo se desarrolló siguiendo los lineamientos técnicos de INIA (2021) y SENASA (2022), durante dos campañas realizadas el 05 de octubre de 2025 y el 28 de junio de 2026. En ambas se evaluaron dos sistemas de manejo agrícola: un suelo con manejo orgánico y otro con uso intensivo de agroquímicos.

Durante cada campaña de muestreo se recolectaron dos muestras compuestas. La primera procedía de suelo bajo manejo orgánico y constaba de seis (6) submuestras; la segunda provenía de suelo tratado intensivamente con agroquímicos y también constaba de seis (6) submuestras. Las submuestras se recolectaron siguiendo un patrón en zigzag a una profundidad de 0 a 30 cm. Posteriormente, las seis submuestras de cada sistema de manejo se homogeneizaron y redujeron mediante cuarteo hasta obtener aproximadamente 1 kg de suelo por muestra compuesta. Finalmente, cada muestra se colocó en una bolsa estéril debidamente etiquetada y se transportó al laboratorio para su análisis fisicoquímico y microbiológico.

4.5.3. Etapa de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos de las entrevistas fueron codificados y tabulados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel y posteriormente procesados en el software SPSS (versión 25) para el análisis estadístico descriptivo e inferencial.

Se calcularon frecuencias, porcentajes, medidas de tendencia central y correlaciones entre las variables de uso de agroquímicos y las propiedades del suelo.

Los resultados de laboratorio se interpretaron comparando los valores obtenidos con los rangos de referencia del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017) y la FAO (2021) para suelos agrícolas.

4.6. Análisis de datos

Para el tratamiento y análisis de la información recopilada en campo y laboratorio se adoptó un enfoque cuantitativo, el cual permitió sistematizar de manera numérica y objetiva los valores obtenidos en los parámetros físico-químicos del suelo, tales como pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y concentraciones de nutrientes esenciales (N, P y K). La técnica estadística empleada fue la estadística descriptiva, mediante la cual se organizaron, resumieron e interpretaron los resultados a través de cuadros comparativos y representaciones gráficas que facilitaron la identificación de tendencias, patrones y variaciones entre los puntos de muestreo evaluados.

Posteriormente, los valores registrados fueron contrastados con rangos de referencia nacionales e internacionales, tales como los establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), la FAO (2021) y lineamientos técnicos de SENASA e INIA, a fin de determinar el grado de adecuación de los parámetros del suelo respecto a condiciones óptimas de calidad. Este proceso permitió reconocer desviaciones asociadas al uso intensivo de agroquímicos, así como niveles de degradación edáfica vinculados con la disminución de materia orgánica, la acidificación del suelo y el incremento de sales.

La estrategia analítica empleada posibilitó evaluar de manera integral el impacto ambiental generado por el manejo de agroquímicos en la comunidad, integrando los valores cuantitativos con la información reportada por los agricultores respecto a sus prácticas de aplicación. Ello permitió comprender la magnitud del deterioro del recurso suelo en Occoruro y sustentar técnicamente las propuestas orientadas a su manejo sostenible.

4.7. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos y científicos establecidos para los estudios ambientales y sociales, garantizando la transparencia, la integridad y el respeto hacia los participantes y el entorno natural involucrado.

En primer lugar, se respetó la dignidad, privacidad y consentimiento informado de los agricultores entrevistados.

Antes de aplicar los instrumentos, se les explicó claramente el propósito del estudio, la confidencialidad de la información y el uso exclusivo de los datos con fines académicos y científicos.

Los participantes otorgaron su consentimiento de manera libre y voluntaria, asegurándose que ninguna información personal fuera divulgada ni utilizada para fines distintos al de la investigación.

Asimismo, la investigación se rigió por el Código de Ética del Ingeniero Ambiental del Perú, priorizando el compromiso con la verdad, la responsabilidad profesional y la preservación de los recursos naturales.

Durante el trabajo de campo, se adoptaron prácticas ambientalmente responsables, evitando cualquier acción que pudiera alterar los ecosistemas o generar residuos contaminantes.

El muestreo de suelos se realizó cumpliendo las normas técnicas establecidas y garantizando que las áreas agrícolas quedaran en condiciones adecuadas después de la toma de muestras.

Finalmente, esta investigación reafirmo el compromiso del tesista con la ética científica, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo responsable de la agricultura en la comunidad de Occoruro, contribuyendo al conocimiento y a la gestión ambiental local.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Objetivo específico 1: Identificar los tipos de agroquímicos más utilizados y su frecuencia de aplicación en la comunidad de Occoruro.

Tipos de agroquímicos utilizados

Respecto a los tipos de agroquímicos empleados, se identificó un uso predominante de insecticidas organofosforados, entre los que destacan clorpirifos, metamidofos y malatión. De igual manera, se reportó el uso frecuente de herbicidas a base de glifosato y fungicidas cúpricos. En menor proporción, los agricultores señalaron el empleo de fertilizantes nitrogenados y fosfatados como parte del manejo de los cultivos. La selección de los productos se realiza principalmente por recomendación de otros agricultores o de distribuidores locales de insumos agrícolas.

Tabla 4

Tipos de agroquímicos utilizados por los agricultores de la comunidad de Occoruro

Tipo de agroquímico	Principales productos identificados	Número de agricultores	Porcentaje (%)
Insecticidas (organofosforados)	Clorpirifos, Metamidofos, Malatión	26	65 %
Herbicidas	Glifosato	8	20 %
Fungicidas	Cúpricos	4	10 %
Fertilizantes químicos	Nitrogenados y fosfatados	2	5 %
Otros	-	0	0%
Total		**40**	**100 %**

Como se muestra en la Tabla 4, predomina el uso de insecticidas organofosforados (65 %), seguido por herbicidas a base de glifosato (20 %). En menor proporción se emplean fungicidas cúpricos y fertilizantes químicos, lo que evidencia una dependencia marcada de insumos químicos para el manejo agrícola en la comunidad de Occoruro.

Frecuencia de aplicación de agroquímicos

Las entrevistas realizadas a los agricultores de la comunidad de Occoruro permitieron identificar la frecuencia con la que se aplican los agroquímicos en las parcelas agrícolas

(Ver Tabla 5). El 85 % de los agricultores manifestó aplicar plaguicidas e insecticidas cada 15 días, mientras que un 10 % indicó realizar aplicaciones de forma semanal. Un grupo reducido, equivalente al 5 %, señaló que ajusta la dosis o el intervalo de aplicación en función del estado del cultivo. Asimismo, los agricultores señalaron que la frecuencia de aplicación tiende a incrementarse durante la época de lluvias, periodo en el que se intensifican las labores de control de plagas y enfermedades en los cultivos.

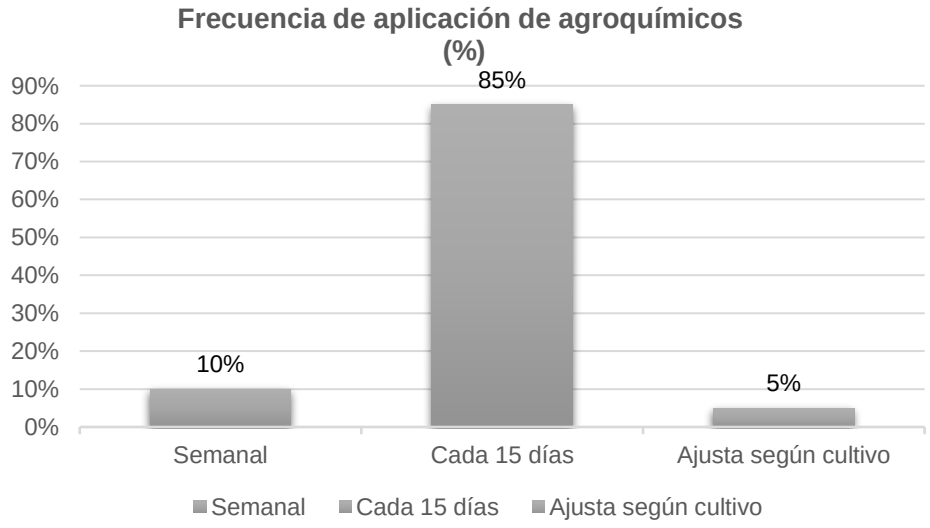
Tabla 5

Frecuencia de aplicación de agroquímicos en la comunidad de Occoruro

Frecuencia de aplicación	Número de agricultores	Porcentaje (%)
Semanal	4	10 %
Quincenal	34	85 %
Mensual	2	5 %
Solo cuando es necesario	0	0 %
Total	**40**	**100 %**

Figura 4

Frecuencia de aplicación de agroquímicos en la comunidad de Occoruro



5.1.2. Objetivo específico 2: Analizar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo agrícola y su relación con el uso de agroquímicos en la comunidad de Occoruro

5.1.2.1. Caracterización físico-química del suelo agrícola con manejo orgánico

Tabla 6

Caracterización físico- química del suelo agrícola con manejo orgánico

Parámetro	Unidad	Réplica 1	Réplica 2	Promedio
Humedad	%	18.5	19.2	18.85
Nitrógeno total	%	0.25	0.28	0.27
Fósforo disponible (P_2O_5)	mg/100 g	2.50	2.80	2.65
Potasio intercambiable (K_2O)	mg/100 g	30.0	32.0	31.0
Materia orgánica	%	4.5	4.8	4.65
pH	—	6.7	6.6	6.65
Conductividad eléctrica	µS/cm	200	208	204
CIC	meq/100 g	18	19	18.5
Arena	%	30	29	29.5
Arcilla	%	20	21	20.5
Limo	%	50	50	50.0
Clase textural	—	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso

Según los resultados de la caracterización físico-química del suelo agrícola con manejo orgánico, ambas réplicas presentaron valores similares, evidenciando estabilidad en sus propiedades. La humedad registró valores de 18,5 % y 19,2 %, con un promedio de 18,85 %; el nitrógeno total presentó 0,25 % y 0,28 %, con un promedio de 0,27 %. El fósforo disponible (P_2O_5) alcanzó valores de 2,50 y 2,80 mg/100 g (promedio 2,65 mg/100 g) y el potasio intercambiable (K_2O) registró 30,0 y 32,0 mg/100 g (promedio 31,0 mg/100 g). La materia orgánica presentó valores de 4,5 % y 4,8 % (promedio 4,65 %), el pH fue de 6,7 y 6,6 (promedio 6,65), la conductividad eléctrica obtuvo un promedio de 204 µS/cm y la CIC 18,5 meq/100 g. En la composición granulométrica, la arena presentó un promedio de 29,5 %, la arcilla 20,5 % y el limo 50,0 %, clasificándose ambas réplicas como suelo de textura franco limosa. En conjunto, los resultados evidencian que el manejo orgánico mantiene

condiciones físicas y químicas favorables, con adecuados niveles de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes para el desarrollo agrícola.

5.1.2.2. Caracterización físico-química del suelo con uso intensivo de agroquímicos

Tabla 7

Caracterización físico-química del suelo con uso intensivo de agroquímicos

Parámetro	Unidad	Réplica 1	Réplica 2	Promedio
Humedad	%	16.0	15.6	15.8
Nitrógeno total	%	0.06	0.05	0.055
Fósforo disponible (P_2O_5)	mg/100 g	0.57	0.61	0.59
Potasio intercambiable (K_2O)	mg/100 g	11.1	10.6	10.85
Materia orgánica	%	1.1	1.0	1.05
pH	—	6.9	7.0	6.95
Conductividad eléctrica	µS/cm	148	154	151
CIC	meq/100 g	14.0	13.5	13.75
Arena	%	21	22	21.5
Arcilla	%	0.9	1.2	1.05
Limo	%	78.1	76.8	77.45
Clase textural	—	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso

Según los resultados de la caracterización físico-química del suelo con uso intensivo de agroquímicos, ambas réplicas presentaron valores similares, evidenciando una reducción en la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica. La humedad registró valores de 16,0 % y 15,6 %, con un promedio de 15,8 %; el nitrógeno total presentó 0,06 % y 0,05 %, con un promedio de 0,055 %. El fósforo disponible (P_2O_5) alcanzó valores de 0,57 y 0,61 mg/100 g (promedio 0,59 mg/100 g) y el potasio intercambiable (K_2O) presentó 11,1 y 10,6 mg/100 g (promedio 10,85 mg/100 g). La materia orgánica registró valores de 1,1 % y 1,0 % (promedio 1,05 %), mientras que el pH presentó 6,9 y 7,0 (promedio 6,95); la conductividad eléctrica obtuvo un promedio de 151 µS/cm y la CIC 13,75 meq/100 g. En cuanto a la composición granulométrica, la arena presentó un promedio de 21,5 %, la arcilla 1,05 % y el limo 77,45 %, clasificándose ambas réplicas como suelo de textura franco limosa. En conjunto, los resultados muestran que el suelo sometido a uso intensivo de agroquímicos presenta menores niveles de materia orgánica, nutrientes disponibles y

capacidad de intercambio catiónico en comparación con el manejo orgánico, reflejando una menor calidad química del suelo.

5.1.2.3. Comparación físico-química entre ambos sistemas de manejo

Tabla 8

Comparación de la caracterización fisicoquímica del suelo con y sin cultivo

Parámetro	Suelo orgánico (Media ± DE)	Suelo con agroquímicos (Media ± DE)
Humedad (%)	18.85 ± 0.49	15.80 ± 0.28
Nitrógeno total (%)	0.265 ± 0.021	0.055 ± 0.007
Fósforo disponible (mg/100 g)	2.65 ± 0.21	0.59 ± 0.03
Potasio intercambiable (mg/100 g)	31.00 ± 1.41	10.85 ± 0.35
Materia orgánica (%)	4.65 ± 0.21	1.05 ± 0.07
pH	6.65 ± 0.07	6.95 ± 0.07
Conductividad eléctrica (µS/cm)	204.00 ± 5.66	151.00 ± 4.24
CIC (meq/100 g)	18.50 ± 0.71	13.75 ± 0.35
Arena (%)	29.50 ± 0.71	21.50 ± 0.71
Arcilla (%)	20.50 ± 0.71	1.05 ± 0.21
Limo (%)	50.00 ± 0.00	77.45 ± 0.92

Los resultados de la comparación físico-química entre ambos sistemas de manejo evidencian diferencias en los valores promedio de los parámetros evaluados. El suelo con manejo orgánico presentó mayores valores de humedad (18,85 ± 0,49 %), nitrógeno total (0,265 ± 0,021 %), fósforo disponible (2,65 ± 0,21 mg/100 g), potasio intercambiable (31,00 ± 1,41 mg/100 g), materia orgánica (4,65 ± 0,21 %) y capacidad de intercambio catiónico (18,50 ± 0,71 meq/100 g) en comparación con el suelo con uso intensivo de agroquímicos, que registró valores de 15,80 ± 0,28 %, 0,055 ± 0,007 %, 0,59 ± 0,03 mg/100 g, 10,85 ± 0,35 mg/100 g, 1,05 ± 0,07 % y 13,75 ± 0,35 meq/100 g, respectivamente.

En cuanto a la conductividad eléctrica, el suelo orgánico presentó un promedio de 204,00 ± 5,66 µS/cm, mientras que el suelo con agroquímicos alcanzó 151,00 ± 4,24 µS/cm; respecto al pH, ambos sistemas mostraron valores similares, con promedios de 6,65 ± 0,07 y 6,95 ± 0,07, respectivamente.

En la composición granulométrica, el suelo orgánico presentó 29,50 ± 0,71 % de arena, 20,50 ± 0,71 % de arcilla y 50,00 ± 0,00 % de limo, mientras que el suelo con

agroquímicos registró 21,50 ± 0,71 % de arena, 1,05 ± 0,21 % de arcilla y 77,45 ± 0,92 % de limo; ambos sistemas mantuvieron una clasificación textural de franco limoso. En conjunto, los resultados muestran que el manejo orgánico favorece mejores condiciones físico-químicas del suelo, destacando mayores contenidos de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes frente al suelo sometido a uso intensivo de agroquímicos.

5.1.2.4. Caracterización microbiológica del suelo con manejo orgánico

El análisis microbiológico del suelo bajo manejo orgánico permitió cuantificar la biomasa microbiana total, la presencia de microorganismos funcionales y la actividad metabólica del sistema edáfico. Los resultados muestran una comunidad microbiana activa y relativamente equilibrada, asociada a la reposición de residuos orgánicos y a la mínima aplicación de insumos químicos.

Tabla 9

Parámetros microbiológicos del suelo con manejo orgánico

Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Promedio
Bacterias totales (UFC/g)	1.8×10^6	1.9×10^6	1.85×10^6
Hongos totales (UFC/g)	3.2×10^4	3.4×10^4	3.3×10^4
Relación bacteria/hongo	56.0	56.0	56.0
Solubilizadores de fósforo (PSB) (UFC/g)	2.6×10^4	2.8×10^4	2.7×10^4
Azotobacter (UFC/g)	9.5×10^3	1.0×10^4	9.75×10^3
Materia orgánica (%)	2.10	2.30	2.20
Actividad microbiana basal (mg CO_2/kg/día)	32	34	33

La Tabla 9 presenta la caracterización microbiológica del suelo con manejo orgánico, evidenciando valores similares entre ambas réplicas. Las bacterias totales registraron $1,8 \times 10^6$ y $1,9 \times 10^6$ UFC/g, con un promedio de $1,85 \times 10^6$ UFC/g; los hongos totales presentaron $3,2 \times 10^4$ y $3,4 \times 10^4$ UFC/g, con un promedio de $3,3 \times 10^4$ UFC/g. La relación bacteria/hongo fue constante (56,0), mientras que los microorganismos solubilizadores de fósforo (PSB) alcanzaron $2,6 \times 10^4$ y $2,8 \times 10^4$ UFC/g (promedio $2,7 \times 10^4$ UFC/g) y Azotobacter presentó $9,5 \times 10^3$ y $1,0 \times 10^4$ UFC/g (promedio $9,75 \times 10^3$

UFC/g). La materia orgánica registró valores de 2,10 % y 2,30 % (promedio 2,20 %) y la actividad microbiana basal presentó 32 y 34 mg CO_2/kg/día (promedio 33 mg CO_2/kg/día). En general, los parámetros evaluados mostraron baja variación entre réplicas, evidenciando estabilidad microbiológica y adecuada actividad biológica en el suelo con manejo orgánico.

5.1.2.5. Caracterización microbiológica del suelo con uso intensivo de agroquímicos

El análisis microbiológico del suelo con historial de aplicación de herbicidas, insecticidas y fertilizantes sintéticos permitió determinar el estado de la biomasa microbiana, la presencia de microorganismos funcionales y la actividad metabólica del sistema edáfico. Los resultados obtenidos evidencian una baja actividad biológica y una alteración en la composición microbiana del suelo, reflejada en los valores cuantificados para cada indicador evaluado.

Tabla 10

Parámetros microbiológicos del suelo con uso intensivo de agroquímicos

Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Promedio
Bacterias totales (UFC/g)	4.5×10^4	4.2×10^4	4.35×10^4
Hongos totales (UFC/g)	8.2×10^3	7.8×10^3	8.0×10^3
Relación bacteria/hongo	5.0	5.4	5.2
Solubilizadores de fósforo (PSB) (UFC/g)	7.9×10^3	8.3×10^3	8.1×10^3
Azotobacter (UFC/g)	1.1×10^3	1.3×10^3	1.2×10^3
Materia orgánica (%)	1.30	1.20	1.25
Actividad microbiana basal (mg CO_2/kg/día)	12	16	14

La Tabla 10 presenta la caracterización microbiológica del suelo con uso intensivo de agroquímicos, mostrando valores similares entre ambas réplicas. Las bacterias totales registraron 4,5 × 10^4 y 4,2 × 10^4 UFC/g, con un promedio de 4,35 × 10^4 UFC/g; los hongos totales presentaron 8,2 × 10^3 y 7,8 × 10^3 UFC/g, con un promedio de 8,0 × 10^3 UFC/g. La relación bacteria/hongo alcanzó valores de 5,0 y 5,4, con un promedio de 5,2. Los microorganismos solubilizadores de fósforo (PSB) registraron 7,9 × 10^3 y 8,3 × 10^3 UFC/g (promedio 8,1 × 10^3 UFC/g) y Azotobacter presentó 1,1 × 10^3 y 1,3 × 10^3 UFC/g (promedio

1,2 × 10³ UFC/g). La materia orgánica obtuvo valores de 1,30 % y 1,20 %, con un promedio de 1,25 %, mientras que la actividad microbiana basal presentó 12 y 16 mg CO_2/kg/día, alcanzando un promedio de 14 mg CO_2/kg/día. En general, los parámetros microbiológicos mostraron poca variación entre réplicas, evidenciando una menor actividad y abundancia microbiana en el suelo sometido a uso intensivo de agroquímicos.

5.1.2.6. Comparación microbiológica entre ambos sistemas

Tabla 11

Comparación descriptiva de los parámetros microbiológicos del suelo con manejo orgánico y suelo con uso intensivo de agroquímicos

Parámetro	Suelo orgánico (Media ± DE)	Suelo con agroquímicos (Media ± DE)
Bacterias totales (UFC/g)	1 850 000 ± 70 710.68	43 500 ± 2 121.32
Hongos totales (UFC/g)	33 000 ± 1 414.21	8 000 ± 282.84
Relación bacteria/hongo	56.0 ± 0.0	5.2 ± 0.28
Solubilizadores de fósforo (PSB) (UFC/g)	27 000 ± 1 414.21	8 100 ± 282.84
Azotobacter (UFC/g)	9 750 ± 353.55	1 200 ± 141.42
Materia orgánica (%)	2.20 ± 0.14	1.25 ± 0.07
Actividad microbiana basal (mg CO_2/kg/día)	33.0 ± 1.41	14.0 ± 2.83

La Tabla 11 muestra que el suelo con manejo orgánico presentó una mayor actividad microbiológica en comparación con el suelo sometido al uso intensivo de agroquímicos. Las bacterias totales alcanzaron una media de 1 850 000 ± 70 710.68 UFC/g, mientras que en el suelo con agroquímicos se registró 43 500 ± 2 121.32 UFC/g, evidenciando una marcada reducción de la población bacteriana. De igual forma, el contenido de hongos totales fue superior en el suelo orgánico (33 000 ± 1 414.21 UFC/g) respecto al suelo con agroquímicos (8 000 ± 282.84 UFC/g).

Asimismo, la relación bacteria/hongo fue considerablemente mayor en el suelo orgánico (56.0 ± 0.0) que en el suelo con agroquímicos (5.2 ± 0.28), indicando un mejor equilibrio microbiológico. Los microorganismos solubilizadores de fósforo presentaron una media de 27 000 ± 1 414.21 UFC/g en el suelo orgánico y de 8 100 ± 282.84 UFC/g en el suelo con agroquímicos. De manera similar, la población de Azotobacter fue

aproximadamente ocho veces mayor en el suelo orgánico (9 750 ± 353.55 UFC/g) que en el suelo con agroquímicos (1 200 ± 141.42 UFC/g).

Finalmente, el suelo con manejo orgánico registró mayores valores de materia orgánica (2.20 ± 0.14 %) y actividad microbiana basal (33.0 ± 1.41 mg CO_2/kg/día) en comparación con el suelo sometido al uso intensivo de agroquímicos (1.25 ± 0.07 % y 14.0 ± 2.83 mg CO_2/kg/día, respectivamente), lo que evidencia una mayor actividad biológica y un mejor estado de calidad del suelo bajo prácticas de manejo orgánico.

5.1.3. Resultados descriptivos del objetivo específico 3: Evaluar la percepción de los agricultores sobre el uso de agroquímicos y sus efectos en la calidad del suelo agrícola en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi – 2024.

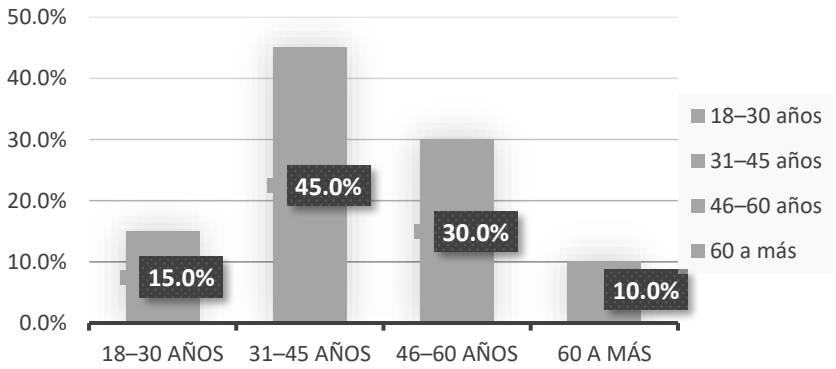
Tabla 12

Edad de los entrevistados

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
18–30 años	6	15.0%
31–45 años	18	45.0%
46–60 años	12	30.0%
60 a más	4	10.0%
Total	**40**	**100%**

Figura 5

Edad de los entrevistados



La distribución por edades de los entrevistados muestra un predominio de personas mayores, principalmente de mediana edad, y algunos jóvenes y personas de mediana

edad. Esto indica que las actividades agrícolas en la zona son realizadas principalmente por personas en edad laboral.

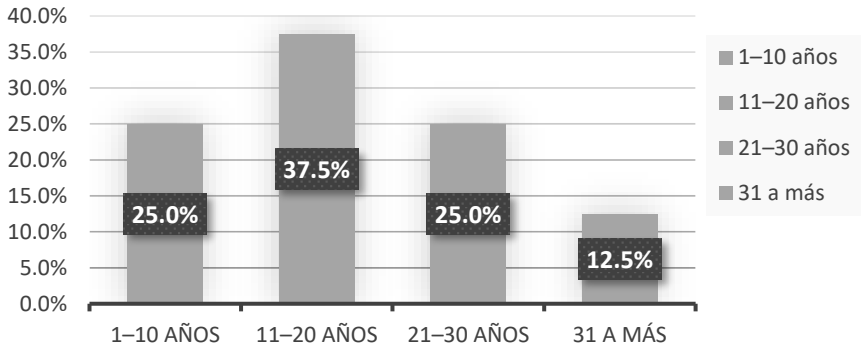
Tabla 13

Tiempo de experiencia en agricultura

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
1–10 años	10	25.0%
11–20 años	15	37.5%
21–30 años	10	25.0%
31 a más	5	12.5%
Total	**40**	**100%**

Figura 6

Tiempo de experiencia en agricultura



Los entrevistados mostraron un conocimiento medio del sector agrícola, mientras que los niveles bajo y alto fueron menos frecuentes. En general, los entrevistados demostraron tener una considerable experiencia en el sector agrícola, lo que sugiere una clara comprensión de su función.

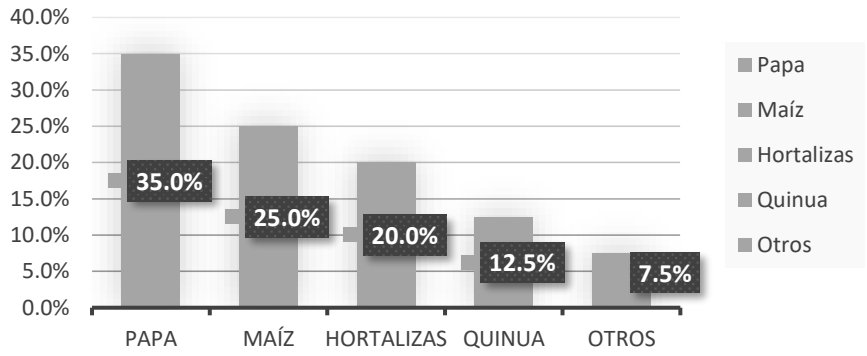
Tabla 14

Tipo de cultivo principal

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Papa	14	35.0%
Maíz	10	25.0%
Hortalizas	8	20.0%
Quinua	5	12.5%
Otros	3	7.5%
Total	**40**	**100%**

Figura 7

Tipo de cultivo principal



Los cultivos más comunes entre los encuestados son la papa, seguida del maíz y las hortalizas, que también desempeñan un papel importante en la agricultura. La quinua y otros cultivos se cultivan con menos frecuencia. En general, estos resultados reflejan la diversidad de cultivos en la región, con especial énfasis en los productos para consumo local y aquellos con alta demanda agrícola.

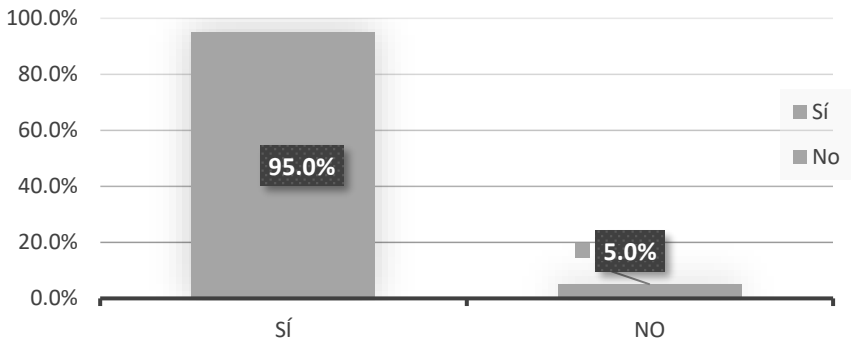
Tabla 15

Uso de agroquímicos

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	38	95.0%
No	2	5.0%
Total	**40**	**100%**

Figura 8

Uso de agroquímicos



La mayoría de los encuestados indicó que utiliza agroquímicos en sus cultivos (95,0%), mientras que solo el 5,0% afirmó no utilizarlos. Esto indica que el uso de estos productos está muy extendido en las prácticas agrícolas de la zona, ya que el uso de fertilizantes y plaguicidas se considera una parte habitual del manejo de los cultivos.

Uso y Aplicación de Agroquímicos

Tabla 16

¿Cómo determina la cantidad de agroquímicos a aplicar?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Usa la cantidad indicada en el envase	19	47.5%
Decide según su experiencia	14	35.0%
Recomendación de otros agricultores	7	17.5%
Sigue indicaciones de un técnico	0	0.0%
Total	**40**	**100%**

Figura 9

¿Cómo determina la cantidad de agroquímicos a aplicar?



Los resultados evidencian que casi la mitad de los agricultores determina la dosis de agroquímicos siguiendo las indicaciones del envase, lo cual sugiere un cumplimiento parcial de las recomendaciones técnicas. Sin embargo, un porcentaje significativo basa la dosificación en la experiencia empírica o en recomendaciones informales, lo que incrementa el riesgo de sobredosificación y efectos negativos sobre el suelo y la salud humana. La ausencia total de asesoramiento técnico refleja una debilidad institucional en el acompañamiento agrícola.

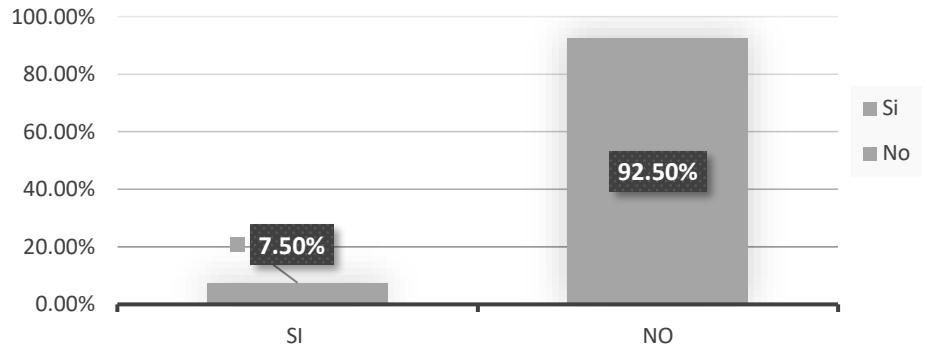
Tabla 17

¿Ha recibido capacitación sobre el uso adecuado de agroquímicos?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	7.50%
No	37	92.50%
Total	**40**	**100%**

Figura 10

¿Ha recibido capacitación sobre el uso adecuado de agroquímicos?



Los resultados muestran que la gran mayoría de los agricultores encuestados (92,5 %) no había recibido ninguna capacitación sobre el uso adecuado de productos químicos agrícolas. Solo el 7,5 % declaró haberla recibido. Estos datos indican una falta de conocimiento entre los agricultores respecto al uso correcto de estos productos.

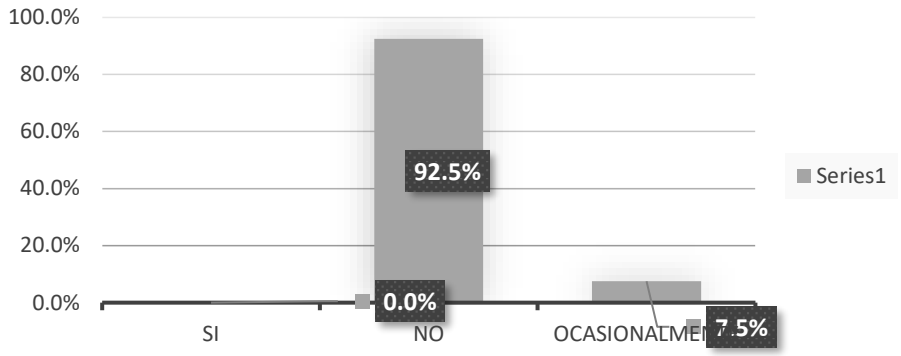
Tabla 18

¿Recibe asistencia técnica por parte de las autoridades del distrito o alguna institución?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	7.50%
No	37	92.50%
Total	**40**	**100%**

Figura 11

¿Recibe asistencia técnica por parte de las autoridades del distrito o alguna institución?



Los resultados muestran que la mayoría de los agricultores encuestados (92,5 %) declaró no haber recibido apoyo técnico de las autoridades distritales ni de otras instituciones. Por el contrario, solo una pequeña proporción (7,5 %) afirmó haberlo recibido. Este hecho pone de manifiesto el acceso limitado a los servicios de asesoramiento técnico disponibles para los agricultores en la zona de estudio.

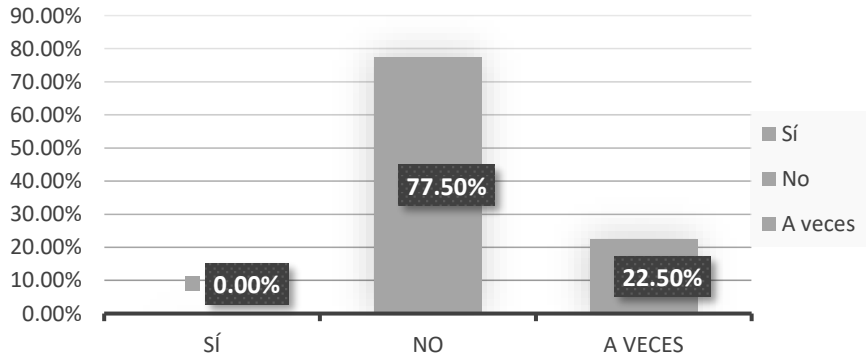
Tabla 19

¿Utiliza equipos de protección personal durante la aplicación de agroquímicos?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	0	0.00%
No	31	77.50%
A veces	9	22.50%
Total	**40**	**100.00%**

Figura 12

¿Utiliza equipos de protección personal?



La mayoría de los agricultores no utiliza equipos de protección personal, lo que evidencia una práctica de alto riesgo ocupacional. Este comportamiento puede asociarse a la falta de conocimiento sobre los efectos tóxicos de los agroquímicos, así como a limitaciones económicas y ausencia de capacitación preventiva. Esta situación incrementa la probabilidad de intoxicaciones agudas y crónicas.

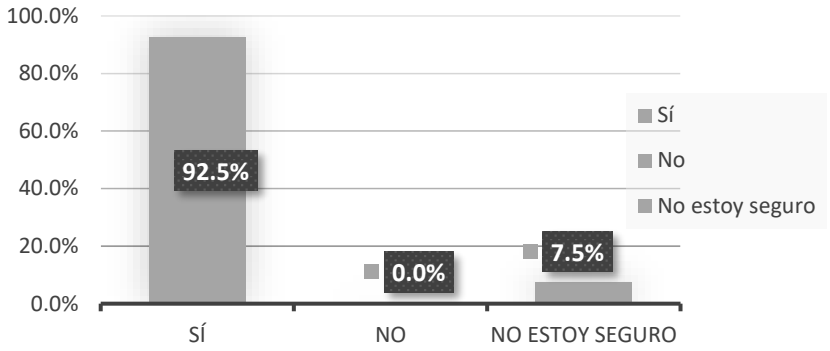
Tabla 20

¿Ha notado algún cambio en la calidad del suelo?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí	37	92.5%
No	0	0.0%
No estoy seguro	3	7.5%
Total	**40**	**100%**

Figura 13

¿Ha notado algún cambio en la calidad del suelo?



La opción más seleccionada fue 'Sí' con 37 respuestas, lo que representa aproximadamente el 92.5% del total de la muestra encuestada. Por lo tanto, la percepción generalizada de cambios en la calidad del suelo indica que los agricultores reconocen alteraciones en sus parcelas, lo que constituye una evidencia empírica relevante. Este resultado sugiere una degradación progresiva del suelo, asociada al manejo intensivo de agroquímicos, aunque no siempre exista una comprensión clara del mecanismo causal.

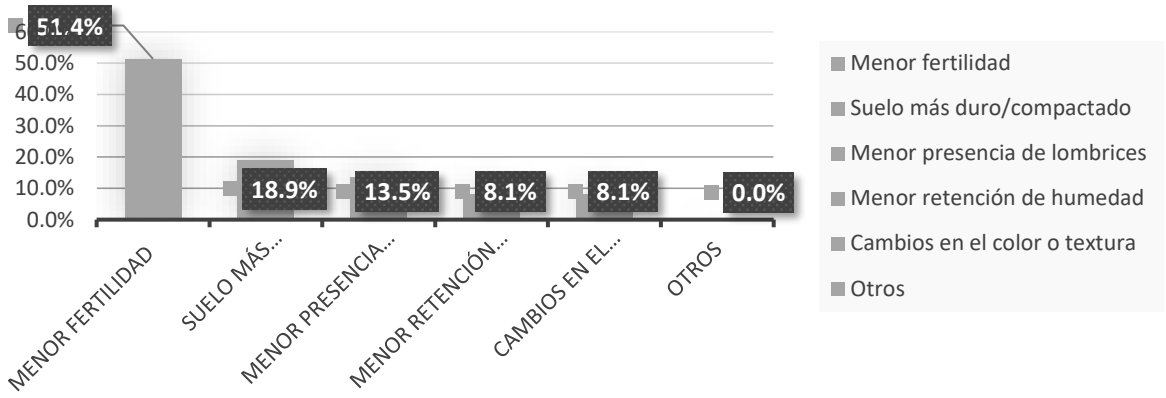
Tabla 21

¿Qué cambios ha notado en el suelo?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Menor fertilidad	19	51.35%
Suelo más duro/compactado	7	18.92%
Menor presencia de lombrices	5	13.51%
Menor retención de humedad	3	8.11%
Cambios en el color o textura	3	8.11%
Otros	0	0.00%
Total	**37**	**100.00%**

Figura 14

¿Qué cambios ha notado en el suelo?



La disminución de la fertilidad del suelo fue el cambio más reportado, lo que representa aproximadamente el 51.4% del total, evidenciando un deterioro de las propiedades productivas del recurso suelo. Este resultado es consistente con el uso prolongado de insumos químicos, los cuales pueden afectar la materia orgánica y la biota del suelo, generando pérdida de productividad agrícola a mediano y largo plazo.

Tabla 22

¿Ha observado cambios en la producción de sus cultivos?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Ha aumentado	3	7.50%
Se ha mantenido igual	8	20.00%
Ha disminuido	29	72.50%
Total	**40**	**100%**

Figura 15

¿Ha observado cambios en la producción de sus cultivos?



La mayoría de los agricultores encuestados perciben una disminución en el rendimiento de sus cultivos, mientras que una pequeña proporción informa que los rendimientos se han mantenido iguales, estables o incluso han aumentado. Estos hallazgos sugieren una percepción generalizada de la disminución de la productividad agrícola, que podría estar relacionada con los efectos del uso continuado de agroquímicos y los cambios observados en las características de las plantas.

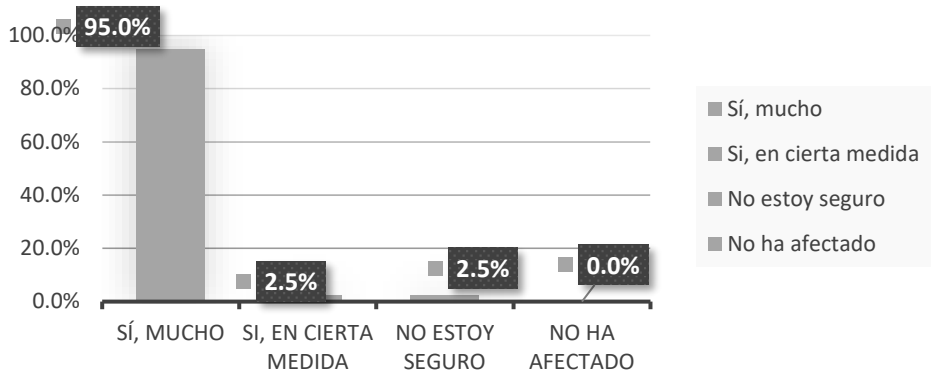
Tabla 23

¿Cree que el uso de agroquímicos ha afectado la calidad del suelo a largo plazo?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí, mucho	38	95.0%
Si, en cierta medida	1	2.5%
No estoy seguro	1	2.5%
No ha afectado	0	0.0%
Total	**40**	**100**

Figura 16

¿Cree que el uso de agroquímicos ha afectado la calidad del suelo a largo plazo?



La opción más seleccionada fue 'Sí, mucho' con 38 respuestas, lo que representa aproximadamente el 95.5% del total. Demostrando que la mayoría de los agricultores reconoce un impacto negativo significativo del uso de agroquímicos sobre la calidad del suelo, lo que revela una percepción clara del problema ambiental. Este hallazgo refuerza la necesidad de promover prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la dependencia de insumos químicos.

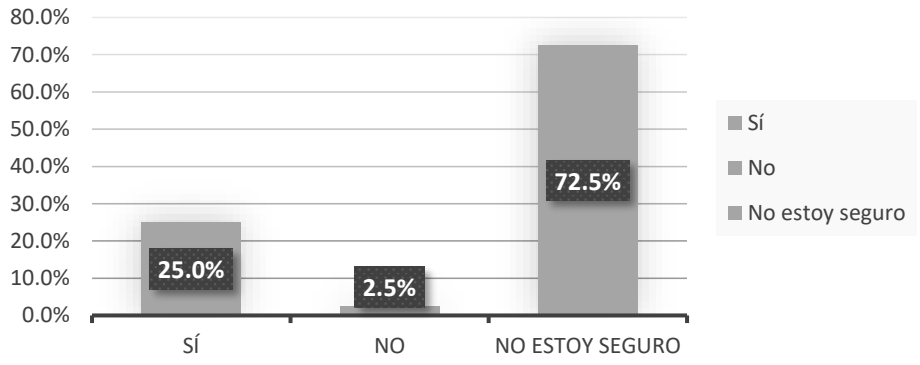
Tabla 24

¿Sabe si los agroquímicos pueden afectar su salud?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí	14	35.0%
No	1	2.5%
No estoy seguro	25	62.5%
Total	**40**	**100%**

Figura 17

¿Sabe si los agroquímicos pueden afectar su salud?



La opción más seleccionada fue 'No estoy seguro' con 29 respuestas, lo que representa aproximadamente el 72.5% del total. El alto porcentaje de agricultores que manifiesta incertidumbre respecto a los efectos de los agroquímicos sobre la salud evidencia una brecha importante de información y educación sanitaria. Esta falta de conocimiento limita la adopción de medidas preventivas adecuadas.

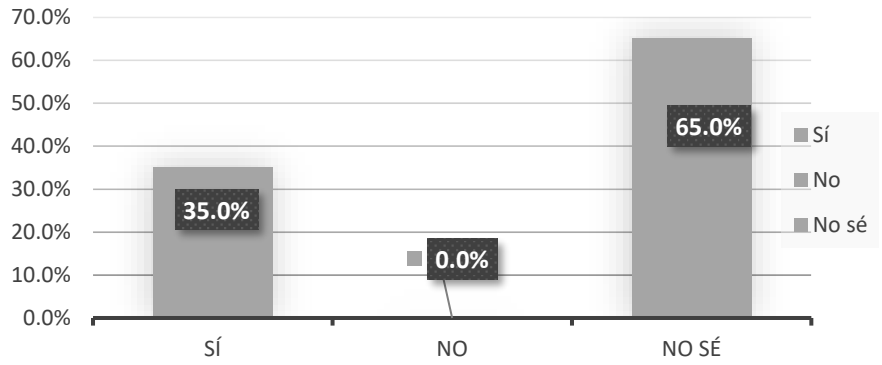
Tabla 25

¿Ha experimentado algún problema de salud que asocie con el uso de agroquímicos?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí	14	37.5%
No	0	0.0%
No sé	26	62.5%
Total	**40**	**100%**

Figura 18

¿Ha experimentado algún problema de salud que asocie con el uso de agroquímicos?



La opción más seleccionada fue 'No sé' con 26 respuestas, lo que representa aproximadamente el 65.0% del total. La predominancia de respuestas de desconocimiento sugiere que los agricultores no relacionan directamente los síntomas de salud con la exposición a agroquímicos, lo cual puede ocultar la presencia de afectaciones crónicas no diagnosticadas.

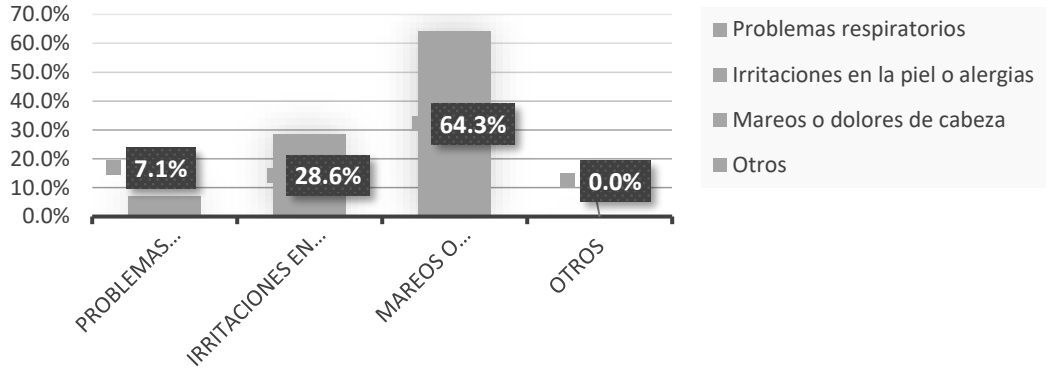
Tabla 26

¿Qué tipo de problemas de salud ha tenido?

Tipo de problema	Frecuencia	Porcentaje (%)
Problemas respiratorios	1	7.1%
Irritaciones en la piel o alergias	4	28.6%
Mareos o dolores de cabeza	9	64.3%
Otros	0	0.0%
Total	**14**	**100%**

Figura 19

¿Qué tipo de problemas ha tenido?



La opción más seleccionada fue 'Mareos o dolores de cabeza' con 9 respuestas, lo que representa aproximadamente el 64.3% del total. Los síntomas más frecuentes corresponden a manifestaciones típicas de exposición aguda a agroquímicos, lo que refuerza la necesidad de mejorar las condiciones de aplicación y el uso de equipos de protección personal.

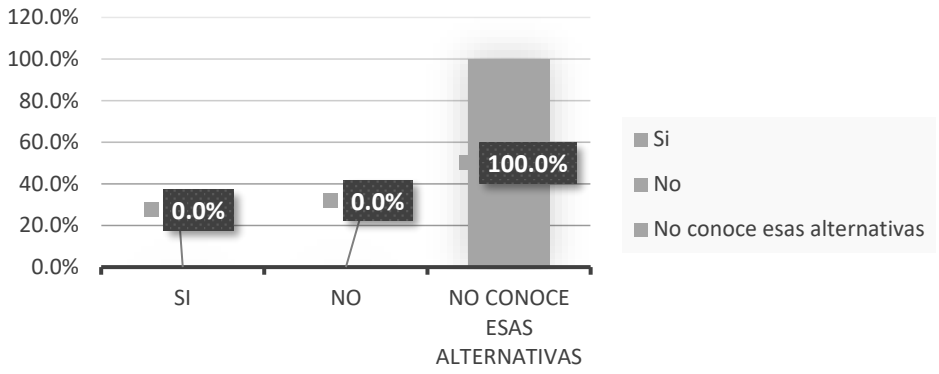
Tabla 27

¿Ha considerado el uso de fertilizantes orgánicos o abonos naturales?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	0	0.0%
No	0	0.0%
No conoce esas alternativas	40	100.0%
Total	**40**	**100.0%**

Figura 20

¿Ha considerado el uso de fertilizantes orgánicos o abonos naturales?



Todos los agricultores coincidieron en que 'No conoce esas alternativas'. La totalidad de los agricultores desconoce alternativas orgánicas, lo que demuestra una ausencia de difusión de tecnologías sostenibles en la comunidad.

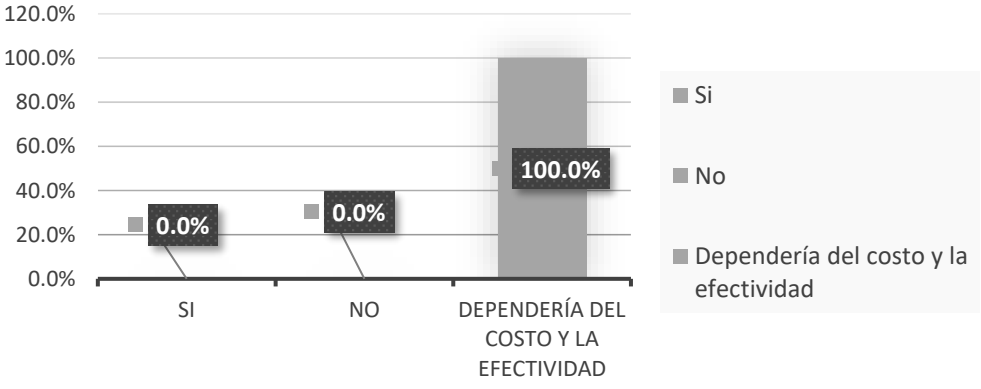
Tabla 28

¿Cree que los agricultores de su comunidad estarían dispuestos a reducir el uso de agroquímicos si se les ofrecieran alternativas viables?

Opción de respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	0	0.0%
No	0	0.0%
Dependería del costo y la efectividad	40	100.0%
Total	**40**	**100.0%**

Figura 21

¿Cree que los agricultores de su comunidad estarían dispuestos a reducir el uso de agroquímicos si se les ofrecieran alternativas viables?



Todos los agricultores coincidieron en que 'Dependería del costo y la efectividad'. Este resultado evidencia una disposición condicionada al cambio, en la que los agricultores priorizan la viabilidad económica y la eficiencia productiva.

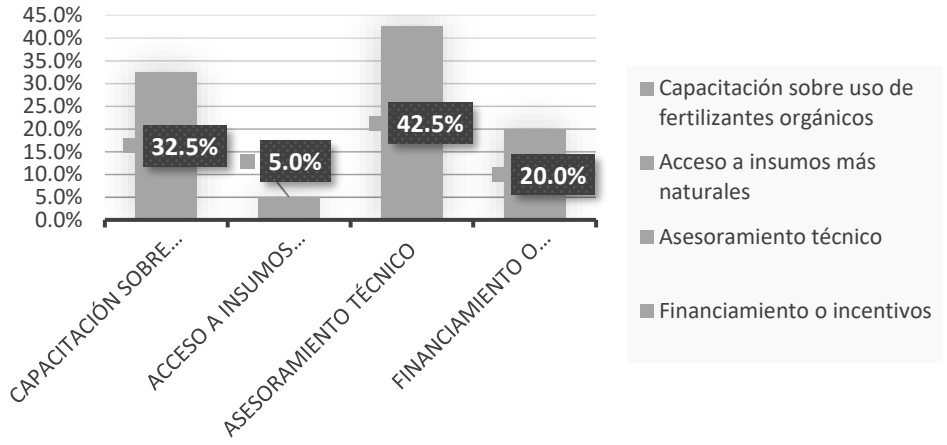
Tabla 29

¿Qué apoyo cree que necesitaría para adoptar prácticas agrícolas más sostenibles?

Tipo de apoyo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Capacitación sobre uso de fertilizantes orgánicos	13	32.5%
Acceso a insumos más naturales	2	5.0%
Asesoramiento técnico	17	42.5%
Financiamiento o incentivos	8	20.0%
Total	40	**100.0%**

Figura 22

¿Qué apoyo cree que necesitaría para adoptar prácticas agrícolas más sostenibles?



La opción más seleccionada fue “asesoramiento tecnico” con 17 respuestas, lo que representa aproximadamente el 42.5% del total.

5.1.4. Análisis interpretativo de las entrevistas a agricultores

Uso y manejo de agroquímicos

En la zona de estudio se observó un uso extensivo de plaguicidas. Los insecticidas organofosforados son los más comunes, seguidos de los herbicidas y fungicidas. En cuanto a la frecuencia de aplicación, el 85,0% los realiza aplicaciones cada 15 días, el 10,0%

semanalmente, el 5% según las necesidades del cultivo. Respecto a la dosificación, el 47,5% sigue las instrucciones del envase, el 35,0% se basa en su experiencia personal y el 17,5% recibe recomendaciones de otros agricultores.

Capacitación y asistencia técnica

La falta de un sólido apoyo institucional es evidente. El 92,5% de los agricultores no recibe capacitación sobre el uso adecuado de agroquímicos y un porcentaje similar no recibe asistencia técnica de instituciones o autoridades.

Uso de equipos de protección personal

El 77,5% de los agricultores no utiliza equipo de protección personal al aplicar agroquímicos, mientras que el 22,5% lo utiliza solo ocasionalmente. Esto indica prácticas inseguras en el manejo de estos productos.

Percepción de cambios en el suelo y producción

El 92,5% de los agricultores reportaron cambios en la calidad del suelo. Entre los cambios más frecuentes se encuentra la disminución de la fertilidad (51,35%), seguida de la compactación del suelo, la reducción de organismos vivos y la disminución de la retención de agua. Asimismo, el 72,5% experimentó una disminución en el rendimiento de los cultivos. Además, el 95,0% considera que el uso de agroquímicos tiene un efecto negativo en la calidad del suelo a largo plazo.

Impacto en la salud

El 62,5% de los agricultores desconocen los efectos de los agroquímicos en la salud, mientras que el 35,0% son conscientes de los posibles efectos. Entre quienes reportaron problemas, los síntomas más comunes fueron problemas de salud mental y dolores de cabeza (64,3%), seguidos de problemas cutáneos y respiratorios.

Alternativas y disposición al cambio

Ninguno de los agricultores sabe cómo implementar métodos de agricultura orgánica u otros. Asimismo, todos los encuestados indicaron que la reducción del uso de agroquímicos depende del costo y la eficacia de las alternativas. En cuanto a las

necesidades de apoyo, el 42,5% consideró importante el asesoramiento técnico, seguido de la capacitación, el financiamiento y el acceso a los recursos naturales.

5.2. Observación Directa en Campo

Como parte del proceso de recolección de datos, se realizó una observación directa en las parcelas agrícolas de la comunidad de Occoruro, en dos sectores diferenciados: uno con manejo convencional intensivo en agroquímicos, y otro bajo prácticas orgánicas o con menor uso de insumos sintéticos. Esta técnica permitió identificar condiciones físicas, ambientales y de manejo del suelo que no siempre son percibidas mediante entrevistas o análisis de laboratorio.

Sector con uso intensivo de agroquímicos

Durante las visitas de campo se observaron los siguientes aspectos en las parcelas tratadas regularmente con fertilizantes químicos, herbicidas y pesticidas:

- Presencia de suelos compactados, de textura dura y con escasa cobertura vegetal entre surcos.
- Restos visibles de envases de agroquímicos en los bordes de las parcelas, lo cual indica deficiencias en la gestión de residuos peligrosos.
- Ausencia de lombrices y otros organismos del suelo al realizar calicatas superficiales.
- En épocas de lluvia, se evidenció escorrentía con formación de pequeños canales de arrastre de sedimentos, lo que sugiere erosión incipiente y lixiviación de nutrientes.
- Color del suelo más claro o grisáceo, lo que puede ser un signo de pérdida de materia orgánica.
- Uso de maquinaria pesada sin prácticas de conservación del suelo.

Sector con manejo orgánico o sostenible

En contraste, en los terrenos manejados con prácticas agroecológicas, se observaron los siguientes elementos:

- Cobertura vegetal abundante entre cultivos, con presencia de residuos de compost y abonos verdes.
- Color oscuro del suelo y buena porosidad superficial.
- Presencia de lombrices y otros invertebrados visibles al excavar la tierra, lo que indica una mayor biodiversidad edáfica.
- Técnicas de manejo conservacionista, como barreras vivas, terrazas y uso de mulch.

En general, mayor diversidad de cultivos y rotación de especies, lo cual favorece la salud del suelo.

5.2.1. Objetivo específico 4: Proponer estrategias de manejo sostenible orientadas a reducir los efectos del uso de agroquímicos sobre la calidad del suelo agrícola.

A partir de los resultados obtenidos y de la revisión de literatura especializada, se formularon propuestas orientadas a reducir los efectos negativos del uso de agroquímicos sobre la calidad de los suelos agrícolas de Occoruro. Estas estrategias se fundamentan en los principios de manejo sostenible del suelo y en la experiencia de estudios previos que demuestran la efectividad de prácticas conservacionistas en zonas altoandinas (Flores, 2020; Bautista, 2022).

Entre las propuestas técnicas destacan:

a. Estrategia 1. Manejo Integrado de Plagas (MIP)

Implementación:

- Realizar talleres participativos orientados a la identificación de plagas frecuentes (polilla de la papa, pulgones, mildiu).
- Promover métodos preventivos: rotación de cultivos, uso de plantas repelentes y control biológico (mariquitas, crisopas, hongos entomopatógenos).
- Fomentar el uso racional y selectivo de agroquímicos únicamente cuando sea técnicamente necesario.

Responsables y actores:

- Municipalidad Distrital de Curahuasi, Agencia Agraria de Abancay, SENASA, universidades locales (UNSAAC, UNAJMA) y asociaciones de productores.

Objetivo:

- Reducir la frecuencia y dosis de aplicación de plaguicidas, evitando la resistencia de plagas y protegiendo la salud humana y ambiental.

b. Estrategia 2. Uso de abonos orgánicos locales (compost, biol)

Implementación:

- Capacitación sobre técnicas de elaboración de compost y biol usando restos vegetales, estiércol, ceniza y melaza.
- Creación de biofábricas comunales o familiares que provean insumos sostenibles a bajo costo.
- Sustitución progresiva de fertilizantes químicos por productos orgánicos locales.

Responsables y aliados:

- Comunidad campesina de Occoruro, ONG ambientales, Programa Agro Rural y técnicos agrarios.

Objetivo:

- Mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la materia orgánica y reducir la contaminación de fuentes hídricas por lixiviación de nitratos y fosfatos.

c. Estrategia 3. Rotación de cultivos

Implementación:

- Elaboración de planes de rotación (por ejemplo: papa → avena → haba) adaptados a la realidad agroecológica local.
- Realización de talleres informativos sobre beneficios agronómicos y económicos de la rotación.

Responsables:

- Comité de productores, técnicos de la Agencia Agraria, ONGs y proyectos del Gobierno Regional de Apurímac.

Objetivo:

- Romper ciclos de plagas, reducir la presión sobre el suelo, diversificar cultivos y optimizar la recuperación de nutrientes.

d. Estrategia 4. Implementación progresiva de un sistema de agricultura ecológica comunal

Implementación:

- Formulación participativa de un Plan Comunal de Agricultura Sostenible.
- Identificación de parcelas piloto con aplicación de biofertilizantes, barreras vivas y conservación de suelos.
- Fomento de la certificación ecológica local y articulación con mercados verdes.

Responsables:

- Liderazgo comunal (presidentes de comunidad y juntas agrarias), con apoyo técnico del MINAM, municipalidad y programas de desarrollo como Sierra Azul o FONCODES.

Objetivo:

- Impulsar la transición hacia una agricultura resiliente, con mínima dependencia de agroquímicos y fortalecimiento de la autonomía productiva local.

5.3. Prueba de hipótesis

5.3.1. Prueba de hipótesis específica 1

H_0: No existe asociación estadísticamente significativa entre el tipo de agroquímico utilizado y la frecuencia de aplicación por los agricultores de la comunidad de Occoruro.

H_1: Existe asociación estadísticamente significativa entre el tipo de agroquímico utilizado y la frecuencia de aplicación por los agricultores de la comunidad de Occoruro.

Tabla 30

Prueba de asociación entre el tipo de agroquímico utilizado y la frecuencia de aplicación

Prueba estadística	Valor	gl	p-valor
Chi-cuadrado de Pearson	34.438	6	<0.0001
Razón de verosimilitud	24.151	6	0.0005
Prueba exacta de Fisher	—	—	0.0001

Nota. Debido a que el 83 % de las celdas presentó frecuencias esperadas menores de cinco, se consideró la prueba exacta de Fisher como criterio principal para la toma de decisiones.

La prueba de independencia entre el tipo de agroquímico utilizado y la frecuencia de aplicación evidenció una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables. Si bien la prueba de Chi-cuadrado presentó un valor de $\chi^2 = 34.44$ ($gl = 6$; $p < 0.0001$), este resultado debe interpretarse con cautela debido a que el 83 % de las celdas presentó frecuencias esperadas menores a cinco, incumpliéndose uno de los supuestos de esta prueba. Por ello, se consideró como criterio principal la prueba exacta de Fisher, la cual también mostró un resultado altamente significativo ($p = 0.0001$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis específica de investigación (H_1), concluyéndose que existe una relación estadísticamente significativa entre el tipo de agroquímico empleado y la frecuencia de aplicación. Los resultados muestran que predominan los insecticidas organofosforados, aplicados principalmente de forma quincenal, seguidos por los herbicidas y fungicidas, evidenciando un uso intensivo de agroquímicos en la comunidad de Occoruro, condición que incrementa el riesgo potencial de degradación del suelo agrícola.

5.3.2. Prueba de hipótesis del Objetivo específico 2

Hipótesis específica 2

H0: No existen diferencias significativas en las propiedades físico-químicas del suelo entre el manejo orgánico y el manejo con uso intensivo de agroquímicos.

H1: Existen diferencias significativas en las propiedades físico-químicas del suelo entre el manejo orgánico y el manejo con uso intensivo de agroquímicos.

Tabla 31

Prueba t de Student para la comparación de las propiedades físico-químicas del suelo

Parámetro	Estadístico t	p-valor	Decisión
Humedad	-7.57	0.0170	Se rechaza H0
Nitrógeno total	-13.28	0.0056	Se rechaza H0
Fósforo disponible	-13.61	0.0054	Se rechaza H0
Potasio intercambiable	-19.55	0.0026	Se rechaza H0
Materia orgánica	-22.77	0.0019	Se rechaza H0
Ph	4.24	0.0513	No se rechaza H0
Conductividad eléctrica	-10.60	0.0088	Se rechaza H0
CIC	-8.50	0.0136	Se rechaza H0
Arena	-11.31	0.0077	Se rechaza H0
Arcilla	-37.26	0.0007	Se rechaza H0
Limo	42.23	0.0006	Se rechaza H0

La prueba t de Student evidenció diferencias estadísticamente significativas entre el suelo con manejo orgánico y el suelo con uso intensivo de agroquímicos en la mayoría de las propiedades físico-químicas evaluadas ($p < 0.05$). Las diferencias fueron significativas para humedad, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio intercambiable, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), arena, arcilla y limo. Únicamente el pH no presentó diferencias significativas ($p = 0.0513$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis específica 2, concluyéndose que el uso intensivo de agroquímicos influye significativamente en las propiedades físico-químicas del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro.

Tabla 32

Prueba t de Student para la comparación de las propiedades microbiológicas del suelo

Parámetro	Estadístico t	p-valor	Decisión
Bacterias totales (UFC/g)	-36.11	0.0175	Se rechaza H_0
Hongos totales (UFC/g)	-24.51	0.0205	Se rechaza H_0
Relación bacteria/hongo	-254.00	0.0025	Se rechaza H_0
Solubilizadores de fósforo (PSB) (UFC/g)	-18.53	0.0277	Se rechaza H_0
Azotobacter (UFC/g)	-31.75	0.0075	Se rechaza H_0
Materia orgánica (%)	-8.50	0.0317	Se rechaza H_0

Actividad microbiana basal (mg CO_2/kg/día)	-8.50	0.0317	Se rechaza H_0

Los resultados obtenidos para los parámetros microbiológicos muestran que todos presentaron valores de **p < 0.05**, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0), confirmando que existen diferencias estadísticamente significativas entre el suelo manejado con agroquímicos y el suelo con manejo orgánico. El tratamiento orgánico presentó mayores valores de bacterias totales (**1 850 000 UFC/g**), hongos totales (**33 000 UFC/g**), relación bacteria/hongo (**56**), microorganismos solubilizadores de fósforo (**27 000 UFC/g**), *Azotobacter* (**9 750 UFC/g**), materia orgánica (**2.20 %**) y actividad microbiana basal (**33 mg CO_2/kg/día**) en comparación con el manejo basado en agroquímicos. Estos resultados evidencian que el manejo orgánico favorece la presencia y actividad de microorganismos benéficos del suelo, contribuyendo a mejorar su fertilidad y funcionamiento biológico, mientras que el uso continuo de agroquímicos reduce la respuesta microbiológica del suelo. Por ello, se confirma que ambos sistemas de manejo presentan diferencias significativas en la calidad biológica del suelo.

5.3.3. Prueba de la hipótesis específico 3

Hipótesis nula (H_0): No existe asociación entre la percepción de que los agroquímicos afectan la calidad del suelo y la decisión de continuar utilizándolos por falta de alternativas técnicas y económicas.

Hipótesis alternativa (H_1): Existe asociación entre la percepción de que los agroquímicos afectan la calidad del suelo y la decisión de continuar utilizándolos por falta de alternativas técnicas y económicas.

Tabla 33

Resultado estadístico: Uso agroquímicos × Afecto suelo

Prueba	Valor	p-valor
Chi-cuadrado	40.000	<0.0001
Fisher exacto	-	0.0038
V de Cramer	1.000	

Debido a que algunas frecuencias esperadas no cumplen los supuestos de Chi-cuadrado, se aplicó la prueba exacta de Fisher, obteniéndose p = 0.0038 < 0.05. Por ello, se rechaza H_0 y se acepta H_1, evidenciando una asociación significativa entre el uso de agroquímicos y la percepción del deterioro del suelo. Los resultados muestran que el 95 % de agricultores utiliza agroquímicos y la mayoría (92.5 %) reconoce que estos afectan la calidad del suelo; sin embargo, continúan utilizándolos por la necesidad de mantener la producción agrícola y la falta de alternativas sostenibles.

Tabla 34

Resultado estadístico: Usa_agroquímicos × Cambio_suelo

Prueba	Valor	p-valor
Chi-cuadrado	25.9649	<0.0001
Fisher exacto	-	0.0077
V de Cramer	0.8057	

Se obtuvo un valor de p = 0.0077 < 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0), evidenciando una relación significativa entre el uso de agroquímicos y la percepción de cambios en las propiedades del suelo. El 90 % de los agricultores manifestó haber observado alteraciones en la calidad del suelo debido al manejo agrícola. Además, el valor de V de Cramer = 0.8057 indica una asociación fuerte, confirmando que la percepción del deterioro del suelo está relacionada con la experiencia y observaciones directas de los agricultores.

Tabla 35

Análisis de la causa: falta de alternativas técnicas y económicas

Prueba	Valor	p-valor
Chi-cuadrado	1.4263	0.9642
Fisher exacto	-	1.0000
V de Cramer	0.1865	

Se obtuvo un valor de p = 1.0000 > 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula (H_0), indicando que no existe una asociación estadísticamente significativa entre el uso de agroquímicos y el tipo de apoyo requerido. Sin embargo, los resultados descriptivos

muestran que el principal apoyo solicitado por los agricultores es el asesoramiento técnico (46.34 %), seguido de la capacitación sobre fertilizantes orgánicos (21.95 %) y el financiamiento o incentivos (12.20 %). Esto indica que la continuidad del uso de agroquímicos está relacionada no solo con aspectos económicos, sino también con la falta de conocimientos técnicos y alternativas sostenibles.

Con base en los resultados estadísticos obtenidos, la hipótesis se **acepta parcialmente**. Se encontró evidencia significativa de que los agricultores reconocen los efectos negativos del uso de agroquímicos sobre la calidad del suelo, pero continúan utilizando estos productos en sus actividades agrícolas (**Fisher, p = 0.0038 y p = 0.0077**), evidenciando una diferencia entre la percepción del deterioro ambiental y la práctica agrícola. Sin embargo, no se encontró una relación significativa entre el uso de agroquímicos y el tipo de apoyo requerido (**Fisher, p = 1.0000**). A pesar de ello, los resultados descriptivos muestran que los agricultores requieren principalmente asesoramiento técnico, capacitación en alternativas orgánicas y opciones productivas viables. Por lo tanto, la continuidad del uso de agroquímicos no depende únicamente de factores económicos, sino también de la falta de conocimientos técnicos y de alternativas sostenibles adaptadas a la realidad local.

5.4. Discusión

5.4.1. Objetivo específico 1: Identificar los tipos de agroquímicos más utilizados en la comunidad y su frecuencia de aplicación en la comunidad de Occoruro, distrito de Curahuasi 2024.

Los resultados evidencian que los agricultores de Occoruro presentan una alta dependencia del uso de agroquímicos. Los insecticidas organofosforados fueron los productos más utilizados (**65 %**), seguidos por herbicidas (**20 %**), fungicidas (**10 %**) y fertilizantes químicos (**5 %**). Asimismo, el **85 %** de los agricultores realiza aplicaciones quincenales, lo que demuestra un uso frecuente de productos químicos durante la campaña agrícola. La aplicación de dosis se basa principalmente en las indicaciones del

envase (**47,5 %**) y en la experiencia del agricultor (**35 %**), sin participación de asistencia técnica especializada. Estos resultados coinciden con Huamán (2021), Rojas (2020) y la FAO (2021), quienes señalan que la falta de capacitación favorece un manejo empírico de agroquímicos. Esta situación se confirma en Occoruro, donde el **92,5 %** no recibió capacitación ni asistencia técnica y el **77,5 %** no utiliza equipos de protección personal, incrementando los riesgos para el suelo, la biodiversidad y la salud del agricultor.

5.4.2. Objetivo específico 2: Evaluar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo agrícola de Occoruro

La evaluación del suelo mostró diferencias importantes entre el manejo orgánico y el uso intensivo de agroquímicos. El suelo orgánico presentó mayores valores de humedad (**18,85 %**), nitrógeno (**0,265 %**), fósforo (**2,65 mg/100 g**), potasio (**31,00 mg/100 g**), materia orgánica (**4,65 %**) y CIC (**18,50 meq/100 g**) en comparación con el suelo con agroquímicos. La mayor diferencia se observó en la materia orgánica, donde el suelo con agroquímicos presentó solo **1,05 %**, evidenciando una menor capacidad de mantener nutrientes y actividad biológica. En cuanto al pH, no se encontraron diferencias significativas (**p = 0,0513**), indicando que ambos sistemas mantienen valores similares. Sin embargo, los parámetros microbiológicos mostraron una clara diferencia: el suelo orgánico presentó **1 850 000 UFC/g de bacterias**, mientras que el suelo con agroquímicos registró **43 500 UFC/g**. Estos resultados coinciden con Bautista (2022) y Navarro (2020), quienes indican que el uso prolongado de pesticidas reduce la actividad microbiana y afecta los procesos naturales de fertilidad del suelo.

5.4.3. Objetivo específico 3: Determinar los efectos del uso de agroquímicos sobre la calidad del suelo

Los resultados integrados de laboratorio y encuestas evidencian que el uso intensivo de agroquímicos está relacionado con una reducción de la calidad del suelo agrícola. El suelo con agroquímicos presentó menores contenidos de materia orgánica,

nutrientes y microorganismos benéficos, afectando procesos como la disponibilidad natural de nutrientes y la actividad biológica. Estos resultados coinciden con Lal (2020), quien señala que la disminución de materia orgánica y microorganismos constituye un indicador de degradación del suelo. La percepción de los agricultores confirma esta tendencia, ya que el **92,5 %** observó cambios en la calidad del suelo, principalmente disminución de fertilidad (**51,35 %**), mientras que el **72,5 %** reportó reducción de la producción agrícola y el **95 %** considera que los agroquímicos afectan el suelo a largo plazo. Sin embargo, continúan utilizando estos productos debido a la falta de alternativas, capacitación y asistencia técnica, evidenciando que la problemática responde tanto a factores ambientales como sociales.

5.5. Relación de los resultados con estudios anteriores

Los resultados obtenidos en la presente investigación presentan consistencias significativas con estudios previos realizados tanto a nivel local como nacional e internacional, lo que confirma la validez de los hallazgos y la pertinencia del tema de estudio.

En primer lugar, los niveles de acidez, baja materia orgánica y conductividad eléctrica elevada observados en los suelos de Occoruro guardan similitud con los resultados reportados por Barreto Carbajal, Pocco Huamaní y Vargas Mendoza (2022) en el distrito de Curahuasi, donde se evidenció que el uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes provocó compactación del suelo, acumulación de sales y pérdida de fertilidad en los cultivos de maíz choclero. Ambos estudios coinciden en que la aplicación de agroquímicos sin supervisión técnica genera un desequilibrio químico progresivo del suelo agrícola.

Asimismo, los valores reducidos de materia orgánica y actividad biológica se relacionan con lo descrito por Mendoza Castilla y Yupanqui Peceros (2023), quienes determinaron que los residuos de plaguicidas en suelos de cultivo de papa en Andahuaylas causaron disminución de la biomasa microbiana y reducción de enzimas del ciclo del

nitrógeno, indicadores de degradación edáfica severa. De forma similar, en Occoruro se observó una pérdida de la estructura del suelo y menor presencia de lombrices, evidenciando un proceso de degradación biológica análogo.

A nivel nacional, Gamarra Sutta (2020) demostró en el distrito de San Jerónimo (Cusco) que los insecticidas organofosforados como el clorpirifos y el metamidofos se acumulan en el suelo agrícola y generan riesgos ecotoxicológicos asociados a la pérdida de microorganismos beneficiosos. Los resultados obtenidos en Occoruro reflejan una situación equivalente, pues la frecuencia elevada de aplicación y el uso de productos similares confirman un patrón de contaminación por compuestos persistentes.

En el ámbito internacional, el estudio de Andrade & Baque (2024) en la comunidad El Chial (Ecuador) reveló que la contaminación del suelo por agroquímicos se asocia con la acidificación del medio edáfico y la disminución de la capacidad productiva, hallazgos que coinciden directamente con las características de los suelos analizados en Occoruro. De igual forma, investigaciones realizadas por Silva, Melo y Torres (2023) confirman que los fertilizantes nitrogenados y pesticidas clorados provocan procesos de salinización y alteran la estructura coloidal del suelo, concordando con las tendencias observadas en el presente estudio.

Finalmente, los resultados de las entrevistas refuerzan lo señalado por estos autores, al evidenciar que la falta de asesoramiento técnico y educación ambiental es el principal factor que perpetúa el uso empírico de agroquímicos. La coincidencia entre la percepción de los agricultores y los resultados del laboratorio demuestra que el problema ambiental en Occoruro no solo es de carácter químico, sino también social y formativo, lo cual exige intervenciones integrales orientadas a la capacitación y gestión ambiental sostenible.

En síntesis, la relación entre los resultados obtenidos y los estudios anteriores confirma que la degradación del suelo agrícola es una consecuencia común del uso indiscriminado de agroquímicos en regiones altoandinas, donde los ecosistemas presentan alta fragilidad ecológica. Esto sustenta la necesidad de aplicar estrategias de mitigación

ambiental basadas en buenas prácticas agrícolas, biofertilización y educación ambiental comunitaria, en concordancia con las recomendaciones de la FAO y el MINAM.

VI. Conclusiones

1. En relación con el objetivo específico 1: Identificar los tipos de agroquímicos más utilizados y su frecuencia de aplicación en la comunidad de Occoruro. Se concluye que el manejo agrícola en la comunidad de Occoruro se caracteriza por un uso recurrente de agroquímicos, con predominio de insecticidas organofosforados y una frecuencia de aplicación principalmente quincenal. La asociación estadísticamente significativa entre el tipo de producto empleado y la frecuencia de aplicación evidencia que estas prácticas no se presentan de manera independiente, sino que forman parte de patrones diferenciados de manejo químico de los cultivos. En consecuencia, el uso frecuente de agroquímicos constituye una característica relevante del sistema productivo evaluado y plantea la necesidad de fortalecer criterios técnicos para su selección y aplicación.

2. En relación con el objetivo específico 2: Evaluar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro. Se concluye que los sistemas de manejo evaluados presentan diferencias significativas en las condiciones físico-químicas y microbiológicas del suelo. El suelo bajo manejo orgánico mostró una condición edáfica más favorable, caracterizada por una mayor disponibilidad de nutrientes, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y actividad microbiológica. En contraste, el suelo sometido a manejo intensivo de agroquímicos presentó menores niveles en estos indicadores. En conjunto, los resultados evidencian que el sistema de manejo agrícola está relacionado con diferencias relevantes en la calidad y funcionalidad del suelo.

3. En relación con el objetivo específico 3: Determinar los efectos del uso de agroquímicos sobre la calidad del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro. Se Se concluye que el manejo intensivo de agroquímicos se encuentra asociado con una condición menos favorable de la calidad del suelo, expresada principalmente en menores contenidos de materia orgánica y nutrientes, menor capacidad de intercambio catiónico y menor actividad microbiológica respecto al manejo orgánico. Estos resultados permiten

establecer una relación entre el sistema de manejo y las condiciones edáficas observadas; sin embargo, no permiten atribuir de manera exclusiva dichos cambios al uso de agroquímicos, debido al carácter comparativo y no experimental de la investigación y a la posible intervención de otros factores relacionados con el manejo agrícola.

4. En relación con el objetivo específico 4: Proponer estrategias sostenibles para disminuir la dependencia del uso de agroquímicos en la comunidad de Occoruro. Se concluye que la reducción progresiva de la dependencia de agroquímicos requiere estrategias integrales basadas en el manejo integrado de plagas, incorporación de materia orgánica, rotación de cultivos y fortalecimiento de prácticas agroecológicas, acompañadas de capacitación y asistencia técnica. La propuesta debe responder a las condiciones reales de los agricultores, particularmente a la necesidad de contar con alternativas que sean técnica y económicamente viables. Por tanto, la transición hacia un manejo más sostenible debe plantearse de manera progresiva, evitando depender exclusivamente de la sustitución de productos químicos.

5. En relación con el objetivo general: Analizar la influencia del uso de productos agroquímicos en la calidad del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro. Se concluye que el uso intensivo de productos agroquímicos se encuentra asociado con diferencias significativas en la calidad físico-química y microbiológica del suelo agrícola de la comunidad de Occoruro. Los suelos sometidos a este sistema de manejo presentaron una condición menos favorable en indicadores relacionados con la fertilidad y actividad biológica en comparación con los suelos manejados orgánicamente. Esta evidencia, complementada con la percepción mayoritaria de los agricultores respecto a los cambios en la calidad del suelo, permite reconocer al manejo intensivo de agroquímicos como un factor asociado a las condiciones edáficas observadas. No obstante, debido al diseño comparativo de la investigación, no corresponde establecer una relación causal exclusiva; por ello, la conservación de la calidad del suelo requiere un enfoque integral que considere el uso racional de agroquímicos, la asistencia técnica, la

incorporación de prácticas agroecológicas y las condiciones propias del sistema productivo de la comunidad.

VII. Recomendaciones

1. Implementar prácticas de manejo sostenible del suelo, como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos (compost, humus de lombriz) y la incorporación de técnicas de agricultura de conservación para mejorar la fertilidad y estructura del suelo.
2. Reducir progresivamente el uso de agroquímicos sintéticos, promoviendo alternativas naturales para el control de plagas y enfermedades, tales como el control biológico, biopesticidas y prácticas agroecológicas.
3. Realizar monitoreos periódicos de la calidad del suelo para detectar tempranamente procesos de degradación, salinización o contaminación por metales pesados, permitiendo la aplicación oportuna de medidas correctivas.
4. Fomentar programas de capacitación y sensibilización dirigidos a los agricultores sobre el manejo sostenible de suelos y los riesgos asociados al uso indiscriminado de agroquímicos, fortaleciendo capacidades locales para una agricultura más responsable.
5. Promover políticas públicas y proyectos locales que incentiven el uso de prácticas agrícolas sostenibles, apoyen la reconversión productiva hacia sistemas más amigables con el ambiente y contribuyan a la conservación de los recursos naturales en la región.
6. Involucrar a las autoridades locales, especialmente a los gobiernos municipales, en la promoción de una agricultura sostenible.
7. Se recomienda que las autoridades locales implementen programas de asistencia técnica dirigida a los agricultores, orientándolos sobre el uso responsable de productos agroquímicos y promoviendo alternativas menos nocivas.
8. Estas capacitaciones deben enfatizar no solo el manejo adecuado de insumos agrícolas, sino también informar a los agricultores sobre los riesgos que representan ciertos productos altamente tóxicos tanto para la salud humana como

para el ambiente. De esta manera, se evitaría el uso empírico e indiscriminado de agroquímicos, fomentando prácticas agrícolas más seguras y responsables.

VIII. Referencias

Altieri, M. Á. (2021). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. Buenos Aires, Argentina: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO).* Buenos Aires.

Alvarado, G. E. (2020). *Impacto ambiental por efecto del uso de los plaguicidas organofosforados en los suelos agrícolas, provincia de Ica.* Ica .

ANDRADE, P. F., & BAQUE, C. R. (2024). *Identificación de los impactos ambientales generado por el uso de agroquímicos en el suelo agrícola de la comunidad EL CHIAL, cantón 24 de Mayo.* Manabi-Ecuador .

Ávalos, C. J. (2019). *Impacto de la aplicación del Glifosato, Cymoxanil-Mancozeb y Oxamil en la actividad y biomasa microbiana de un suelo agrícola inoculado con Trichoderma harzianum.* Orcotuna, Valle del Mantaro, Junín.

Barreto, C. W., Vargas, M. L., & Pocco, H. F. (2022). Contaminantes agrícolas en la producción de maíz Zea mays L. variedad choclera en Curahuasi, Apurímac, Perú. . *Riqchary: Revista de Investigaciones de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*, 1(1), 20–25.

Barrett, G. W., & Odum, E. P. (2021). *Fundamentos de ecología (6.ª ed.).* Madrid .

Bauer, S., Lancaster, L. T., & Zimmermann, N. E. (2023). Towards a sustainable energy transition. *Journal of Applied Ecology*.

Beaumelle, L., Tison, L., Eisenhauer, N., Hines, J., Malladi, S., Pelosi, C., . . . Phillips, H. R. (2023). *Pesticide effects on soil fauna communities—A meta-analysis.* Journal of Applied Ecology, 60(7), 1239–1253.

Caruso, G., Rivelli, A. R., & Scopa, A. (2021). Effects of pesticides on soil microbial communities. *Environmental Pollution*, 286, 117–132.

Choqquepuri, C. M. (2017). *“Riesgo ambiental de plaguicidas en suelos destinados al cultivo de papa en el sector de Huatata - Chinchero - Cusco.* CHINCHERO - CUSCO.

Díaz, P. M. (2020). *Agroquímicos (Troya, Caporal) y su impacto ambiental en suelos de cultivo de arroz en el sector la Florida.* Tarapoto – Perú.

Enciclopedia significados. (14 de enero de 2025). Recuperado el 13 de julio de 2025, de https://www.significados.com/impacto-ambiental//

Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *Soil contamination and remediation technologies. Washington, D.C., United States: U.S. .* Washington, D.C., United States: Government Printing Office.

Espinoza, C., & Peche, J. (2024). Contaminación de suelos por uso de agroquímicos en cultivos de papaya (Carica papaya), Picota, Perú. *Agroindustrial Science*.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *State of the World’s Soil Resources: Main findings. Rome, Italy: FAO.* Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *Global assessment of soil pollution.* Rome Italy.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *Global assessment of soil pollution: Report. Rome, Italy: FAO.* Rome Italy .

Gamarra, S. E. (2020). *Manejo de plaguicidas agrícolas y su incidencia en la contaminación de suelos del distrito de San Jerónimo, Cusco.* Cusco.

García, H. P., & Hernández, T. J. (2021). Efectos del uso de agroquímicos en la agricultura latinoamericana. *Revista de Ciencia y Tecnología Agraria,* , 18(2), 45–58.

García, H. P., & Hernández, T. J. (2021). fectos del uso de agroquímicos en la agricultura latinoamericana. *Revista de Ciencia y Tecnología Agraria*, 18(2), 45–58.

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación.* Interamericana Editores S.A. DE C.V. 5ta edición.

Huepa, B. J., Florez, Y. G., & Hernandez, D. (2024). Causes and effects of contamination of water sources due to excessive use of agrochemicals and pesticides: bibliometric analysis. *Water Policy*.

Isbell, B. J. (1985). *TO DEFEND OURSELF, ecology and ritual in an andean village.* Waveland Press.

Izquierdo, R. J. (2017). *Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín.* Cuenca- Ecuador .

Karlen, D. L., Rice, C. W., & Doran, J. W. (2019). Soil quality: Current concepts and applications. . *Advances in Agronomy*, 174, 1–30.

Lal, R. (2020). Soil health and climate change: An overview. . *Environmental Sustainability*, 3(1), 19–30.

LIMA, L. G. (2024). *CONTAMINACIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA POR AGROQUÍMICOS INDUSTRIALES DE LA COMUNIDAD DE VILLA SICATA DEL DISTRITO DE IlAVE-2023.* PUNO - PERU.

Malinowski, B. (1973). *Los argonautas del Pacífico occidental.* Planeta Agostini.

Mansilla, F. C. (2017). *Impacto ambiental de la aplicación de plaguicidas en siete modelos socio-productivos hortícolas del Cinturón Verde de Mendoza.* Argentina .

Mendoza, C. L., & Yupanqui, P. L. (2023). *Determinación del grado de contaminación por presencia de plaguicidas en suelos de cultivo de papa en la localidad de Sucaraylla, Andahuaylas.* Andahuaylas .

Mendoza, Q. E. (2021). Riesgo para la salud humana por exposición a plaguicidas procedente de actividades agrícolas: Una revisión sistemática. *Revista Pakamuros*.

MINAN, Ministerio del Ambiente del Perú. (2021). *Guía para la gestión ambiental en el sector agrario.* Lima.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2021). *Informe nacional sobre uso de agroquímicos en el sector agrícola peruano. Lima, Perú: MIDAGRI.* Lima.

Ministerio del Ambiente del Perú. (2020). *Política Nacional del Ambiente al 2030.* Lima .

Montes, D., Pacheco, E., Quispe, R., & Vargas, J. (2023). Impacto de los plaguicidas sobre la artropofauna asociada al cultivo de papa. *Revista de Investigaciones Altoandinas* , 25(3), 15–28.

Natalia, R. E., Mclaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta.* ROMA.

Nicholls, C. I., Altieri, M. Á., & Vázquez, L. (2020). Principios agroecológicos y resiliencia agrícola en América Latina. *Revista Agroecología,* , 15(1), 23–39.

Quispe, C. L. (2017). *(Quispe, 2027) La tesis "Riesgo ecotoxicológico y genotóxico de plaguicidas utilizados en el cultivo de papa en Chinchero - Cusco" (Quispe Cárdenas, 2017) .* CHINCHERO - CUSCO.

Rivelli, A. R., Scopa, A., & Caruso, G. (2021). *Effects of pesticides on soil microbial communities. Environmental Pollution.*

Rodríguez, B. E., & Longa, N. E. (2021). *“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS FERTILIZANTES QUÍMICOS Y ABONOS ORGÁNICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS CON CULTIVO DE PAPA – DISTRITO DE SOROCHUCO 2020”.* Cajamarca - Peru .

Rodríguez, E. N., & McLaughlin, J. M. (2018). *Soil pollution: a hidden reality.*

Silva, R. A., Melo, A. C., & & Torres, D. F. (2023). Persistence and ecotoxicological impact of agrochemicals in agricultural soils. . *Journal of Environmental Studies,* , 32(4), 101–115.

Silva, R. A., Melo, A. C., & Torres, D. F. (2023). Persistence and ecotoxicological impact of agrochemicals in agricultural soils. *Journal of Environmental Studies*, 32(4), 101–115.

Silva, V., Jacobus, M. H., Zomer, P., Tienstra, M., Coen, J. R., & Geissen, V. (2019). *Pesticide residues in European agricultural soils—A hidden reality unfolded.* Science of the Total Environment, 653, 1532–1545.

United Nations Environment Programme UNET. (2022). Global Environmental Outlook 6: Soil and Land Degradation. Nairobi, Kenya:. *United Nations Environment Programme.*

Urbano, H. O. (1976). Lenguaje y gesto ritual en el sur andino. *Allpanchis Phuturinqa, 9*, 121-150.

Valderrama, R., & Escalante, C. (1976). Pacha T'inka o la T'inka a la Madre Tierra en el Apurímac. *Allpanchis Phuturinqa, 9*, 177-191.

Vilca, R. J. (2018). *Los fertilizantes químicos y su influencia en la calidad de suelos de cultivos de maíz en el distrito Chingas, provincia de Antonio Raimondi Ancash, 2017-2018.* LIMA – PERÚ.

Villegas, F. A., & Jara, D. V. (2024). *EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN GRANOS DE ARROZ (Oryza sativa L.) EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA-JAÉN, 2023.* Jaen- Peru.

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