

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Contaminación del suelo agrícola por el uso de Agroquímicos
en la producción de papa del Distrito de Huasahuasi, Tarma**

Angela Cyntia Chavez Ccanto
Saul Sucño Carrasco

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Dr. Anieval Cirilo Peña Rojas
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 10 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Contaminación del Suelo Agrícola por el uso de Agroquímicos en la Producción de Papa del Distrito de Huasahuasi, Tarma

Autores:

1. Angela Cyntia Chavez Ccanto – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Saul Sucño Carrasco – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 15% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión de bibliografía	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N.º de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 15	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Dr. Anieval Cirilo Peña Rojas

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Continental, a la Facultad de Ingeniería y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental por la calidad de educación que nos proporcionaron en todos los años formativos.

A nuestro asesor por brindarnos un apoyo constante para la culminación de esta investigación.

Al distrito de Huasahuasi, por las facilidades que nos proporcionaron para desarrollar el acopio de datos.

A nuestros colegas y familiares, por darnos las fuerzas y aliento necesario para realizar este estudio.

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza, llenándome de sabiduría, fe y perseverancia para superar cada desafío. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y esfuerzos, siendo siempre mi mayor inspiración para alcanzar este sueño. A mi hermana por sus palabras de aliento y su compañerismo inigualable, que me motivaron a seguir adelante, cuya compañía, aliento y confianza en mí han sido fundamentales para llegar hasta aquí. Este logro es fruto de su amor, confianza y su presencia en mi vida. Con todo mi corazón, les dedico este triunfo.

Angela Cyntia Chavez Ccanto.

Este trabajo se lo dedico de manera especial a Dios, a mis padres que en el transcurso de mi vida me supieron inculcar valores y confiaron en mi persona y en mis deseos de superación. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi capacidad. Es por ello por lo que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Saul Suño Carrasco.

ÍNDICE

ASESOR	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.1. Problema general	16
1.1.2. Problemas específicos	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia	17
1.4. Delimitación del proyecto	18
1.4.1. Delimitación conceptual	18
1.4.2. Delimitación espacial	18
1.4.3. Delimitación temporal	18
1.5. Hipótesis y variables	18
1.5.1. Hipótesis general	18
1.5.2. Hipótesis específicas	19
1.5.3. Variables	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes de la investigación	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1. La papa	29
2.2.2. Uso de agroquímicos	34
2.2.3. Contaminación del suelo agrícola	46
2.3. Definición de términos básicos	58

2.3.1.	Agroquímicos	58
2.3.2.	Abono	58
2.3.3.	Contaminación de suelo	58
2.3.4.	Conductividad eléctrica.....	58
2.3.5.	Fertilizante	58
2.3.6.	Insecticida.....	58
2.3.7.	Materia orgánica	59
2.3.8.	Papa	59
2.3.9.	Marcadores biológicos del suelo	59
2.3.10.	Parámetros químicos del suelo	59
2.3.11.	Características físicas del suelo.....	59
2.3.12.	Plaguicidas.....	59
2.3.13.	Suelo.....	60
2.3.14.	Textura.....	60
2.3.15.	Uso de agroquímicos.....	60
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		61
3.1.	Método, tipo o alcance de la investigación.....	61
3.1.1.	Método de investigación	61
3.1.2.	Tipo de la investigación	61
3.1.3.	Población y muestra.....	61
3.1.4.	Diseño metodológico de la investigación	62
3.2.	Materiales y métodos (aplicación de la ingeniería).....	64
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		65
4.1.	Resultados del tratamiento de la información.....	65
4.1.1.	Características del suelo.....	66
4.1.2.	Muestras control	67
4.1.3.	Muestras experimentales	68
4.1.4.	Agroquímicos empleados.....	69
4.1.5.	Resultados descriptivos.....	73
4.1.6.	Prueba de hipótesis	76
4.2.	Discusión de resultados.....	82
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES		89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		90
ANEXOS		96

Anexo A: Instrumento de recolección de datos	96
Anexo B: Matriz de consistencia.....	99
Anexo C: Resultados de laboratorio.....	103
Anexo D: Certificado de laboratorio.....	105
Anexo E: Resultados del laboratorio acreditado	106
Anexo F: Panel Fotográfico	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables.....	20
Tabla 2. Plaguicidas por el tipo de plaga que controlan.....	39
Tabla 3. Plaguicidas por el tipo de plaga que controlan.....	42
Tabla 4. Grados de los principales abonos y fertilizantes	44
Tabla 5. Rango de dosis de fertilizantes de cultivo de papa.....	45
Tabla 6. Texturas del suelo.....	49
Tabla 7. Frecuencia descriptiva de la textura	73
Tabla 8. Frecuencia descriptiva del color de suelo Seco	73
Tabla 9. Frecuencia descriptiva del color de suelo Húmedo	74
Tabla 10. Descriptivos de la Densidad y Temperatura.....	74
Tabla 11. Descriptivos de los parámetros químicos	75
Tabla 12. Prueba de normalidad de los parámetros físicos.....	76
Tabla 13. Prueba de normalidad de los parámetros químicos	78
Tabla 14. Prueba de diferencias de medianas parámetros físicos	78
Tabla 15. Prueba t de los parámetros químicos.....	80
Tabla 16. Tabla comparativa de concentración química entre la muestra experimental y de control	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedades de papa: Imilla Negra (A) y Ccompis (B). Tomado de “Manual técnico de cultivo de papa”, por INIA, 2020, p. 21	29
Figura 2. Regiones productoras de papa. Tomado de “Manual técnico de cultivo de papa”, por INIA, 2020, p. 12	31
Figura 3. Cosecha de papa. Manual (A) y Semi-mecanizada (B). Tomado de “Manual técnico de cultivo de papa”, por INIA, 2020, p. 31	33
Figura 4. Comportamiento de los plaguicidas en el medio ambiente. Tomado de “La contaminación del suelo: Una realidad oculta”, por Rodríguez et al., 2019, p. 25	38
Figura 5. Pesticidas más tóxicos vendidas en 2018. Tomado de “Atlas de los Pesticidas”, por Fundación Heinrich Böll et al., 2023, p. 12	38
Figura 6. Cloruro de potasio. Tomado de “Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa”, por INIA, 2013, p. 6.....	43
Figura 7. Guano de isla. Tomado de “Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa”, por INIA, 2013, p. 6	44
Figura 8. Abonamiento de papa por golpe. Tomado de “Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa”, por INIA, 2013, p. 7	46
Figura 9. Fuentes agrícolas de contaminación del suelo. Tomado de “La contaminación del suelo: Una realidad oculta”, por Rodríguez et al., 2019, p. 15	47
Figura 10. Munsell color chart. Tomado de “Soil Science: An Introduction”, por Phogat et al., 2015, p. 160.....	50
Figura 11. Mapa agrícola del Distrito de Huasahuasi.....	65
Figura 12. Puntos de muestreo de control y experimental.....	65
Figura 13. Cadena de custodia para el traslado a laboratorio de muestras control.....	66
Figura 14. Cadena de custodia para el traslado a laboratorio de muestras experimentales.....	68
Figura 15. Fungicida agrícola.....	71
Figura 16. Insecticida agrícola.....	72
Figura 17. Agroquímicos empleados	72

RESUMEN

En este estudio se analizó el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma. Para ello, se aplicó una metodología aplicada, diseño experimental, método hipotético – deductivo, teniendo una muestra de dos tipos de suelos agrícolas y se usó la ficha de observación. Los resultados de las características físicas derivaron que, 77.8% de las muestras presentan una textura de tipo franco, 55.6% una pigmentación marrón y 33.3% una pigmentación de Marrón Claro. La densidad promedio de las muestras tomadas fue 1.29 g/cm³ respecto a la densidad y la temperatura promedio hallada fue 23 C. Con respecto a los parámetros químicos, el valor del pH fue 4.98, la conductividad eléctrica fue 8.74 mS/m, el contenido promedio de materia orgánica fue 3.72%, el contenido medio de nitrógeno total (Kjeldahl) fue 3.10 mg/g, el fósforo disponible presentó una media de 84.59 mg/kg. Concluyendo que, el impacto es directo y significativo del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma; debido a que, hay cambios significativos en la temperatura de los suelos y en los parámetros como el nitrógeno, el fósforo y la conductividad eléctrica de los suelos, demostrando que al agregar agroquímicos hay una manifestación de cambios significativos en el suelo una vez aplicados las soluciones contaminando el suelo agrícola en la producción de papa.

Palabras clave: Contaminación, suelo agrícola, agroquímicos, papa, características físicas y parámetros químicos.

ABSTRACT

In this study, the impact of the use of agrochemicals on the contamination of agricultural soil for potato production in the district of Huasahuasi, Tarma, was analyzed. To do so, an applied methodology, experimental design, hypothetical-deductive method was applied, having a sample of two types of agricultural soils and using the observation sheet. The results of the physical characteristics derived that 77.8% of the samples have a loamy texture, 55.6% a brown pigmentation and 33.3% a light brown pigmentation. The average density of the samples taken was 1.29 g/cm³ with respect to the density and the average temperature found was 23 C. Regarding the chemical parameters, pH was 4.98, the electrical conductivity was 8.74 mS/m, the average organic matter content was 3.72%, the average total nitrogen content (Kjeldahl) was 3.10 mg/g, the available phosphorus presented an average of 84.59 mg/kg. Concluding that, the impact is direct and significant of the use of agrochemicals in the contamination of the agricultural soil of potato production in the district of Huasahuasi, Tarma; because, there are significant changes in the temperature of the soils and in the parameters such as nitrogen, phosphorus and electrical conductivity of the soils, demonstrating that by adding agrochemicals there is a manifestation of significant changes in the soil once the solutions are applied contaminating the agricultural soil in potato production.

Key Words: Pollution, agricultural soil, agrochemicals, potato, physical characteristics and chemical parameters.

INTRODUCCIÓN

En Perú, el uso de agroquímicos es cada vez más común entre los agricultores para mejorar el rendimiento de sus cultivos. Por esto, la coexistencia de la producción agrícola y conservación ambiental viene a ser un desafío crítico en la era moderna, donde las prácticas agrícolas intensivas, particularmente el uso de agroquímicos, alteran significativamente la dinámica de los ecosistemas (1). Ello no es ajeno en la región Junín, lugar en donde prima la producción de papa debido a que promueve la economía; se emplean agroquímicos de forma habitual. Sin embargo, dicha situación ha desencadenado la contaminación del suelo agrícola, generando potenciales impactos adversos en la salud tanto del suelo como de quienes consumen los productos agrícolas. En especial, en el Valle del Mantaro, ya que constituye una de las principales fuentes de suelo y productos agrícolas de la región (2).

El distrito de Huasahuasi, dicha situación se replica, debido a con su rica tradición agrícola, enfrenta el desafío de equilibrar la productividad agrícola con la preservación de los recursos naturales. El uso extensivo de agroquímicos, si bien contribuye al aumento de rendimientos, plantea inquietudes relevantes sobre la salud y sostenibilidad del suelo en la región. Es así como, con este estudio se espera a contribuir significativamente al conocimiento científico al proporcionar una comprensión más profunda de cómo el uso de agroquímicos afecta la salud del suelo en la producción de papa en el distrito de Huasahuasi.

Por lo mencionado, se formula la siguiente cuestión: ¿Cuál es el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma? A fin de analizar el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma. Para ello, se implementa una metodología aplicada, diseño experimental, método hipotético – deductivo, teniendo una muestra de dos tipos de suelos agrícolas y se usó la ficha de observación. Y, he de confirmar que, el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma es significativo, manifestándose en cambios en los parámetros físicos, químicos del suelo.

Para una mayor comprensión la tesis se estructura en las siguientes: Capítulo I: Planteamiento del Estudio: Justificación, hipótesis, objetivos y definición de variables. Capítulo II: Base Teórica: Revisión de antecedentes y marco teórico. Capítulo III: Metodología: Nivel, tipo y diseño de la investigación, muestra, instrumentos y procedimientos. Capítulo IV: Resultados y discusión. Finiquitando con las conclusiones y recomendaciones, junto con los anexos respectivos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

La problemática de la contaminación del suelo agrícola por el uso indiscriminado de agroquímicos trasciende fronteras y afecta a numerosos países a nivel global. La degradación del suelo a causa de la contaminación afecta las propiedades del suelo y disminuye el contenido de carbono orgánico, mermando la resiliencia de los paisajes terrestres ante eventos extremos como inundaciones y sequías (3). El crecimiento exponencial del mercado mundial de pesticidas, el principal agroquímico en cuestión ha alcanzado un valor de casi 84.500 millones de dólares en 2019, con un aumento anual sostenido de más del 4% desde 2015. Se proyecta que para 2023, el valor total de todos los pesticidas utilizados experimentará un crecimiento acelerado del 11,5%, alcanzando casi 130.700 millones de dólares (1). Además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente el 16% de la mortalidad mundial se atribuye a enfermedades relacionadas con la contaminación ambiental, incluyendo aquellas derivadas de la contaminación del suelo (4).

En América Latina y el Caribe (ALC), el empleo generalizado de agroquímicos en la agricultura ha resultado en la contaminación del suelo. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), las proyecciones para el año 2050 sugieren que se espera una escasez adicional de recursos naturales destinados a la agricultura.

Esta escasez puede deberse tanto a la degradación del suelo causada por el uso indiscriminado de agroquímicos como a la competencia con otros usos del suelo. De acuerdo con estimaciones, alrededor del 75% de las tierras agrícolas en ALC ya experimentan problemas de degradación en comparación con el año 2015 (5). Las prácticas agrícolas que más contribuyen a la contaminación del suelo en esta región incluyen el manejo deficiente de fertilizantes minerales y plaguicidas, los cuales son ampliamente utilizados. Además, la región ostenta el mayor promedio de uso de plaguicidas por superficie cultivada a nivel mundial (3).

En Perú, el uso de agroquímicos es cada vez más común entre los agricultores para mejorar el rendimiento de sus cultivos. Según la Cámara de Comercio de Lima, en el 2021, las importaciones de agroquímicos en Perú experimentaron incrementos notables. Los fertilizantes, que constituyen el 61% del total, crecieron en promedio un 9%, alcanzando 1.300 millones de toneladas. Los abonos, con el 19% de participación, también aumentaron un 9%, totalizando 302 toneladas. Por último, las importaciones de herbicidas, con el 9% de participación, crecieron en

promedio un 17%, ascendiendo a 17.000 toneladas (6). Sin embargo, el uso intensivo de agroquímicos contribuye al aumento de contaminantes en el suelo. Esto repercute en los indicadores físicos, como la textura y densidad del suelo, así como en los aspectos químicos, como el pH, la materia orgánica y la presencia de elementos como N, P y K. Asimismo, la parte biológica del suelo se ve afectado en la biomasa y densidad de la macrofauna (1).

En la región Junín, la producción de papa es una actividad económica crucial, siendo el uso generalizado de agroquímicos una práctica habitual en este sector. Sin embargo, esta tendencia ha desencadenado la contaminación del suelo agrícola, generando potenciales impactos adversos en la salud tanto del suelo como de quienes consumen los productos agrícolas. En especial, en el Valle del Mantaro, ya que constituye una de las principales fuentes de suelo y productos agrícolas de la región (2). A pesar de su importancia, la producción ha adoptado un enfoque intensivo en el uso de agroquímicos, suscitando inquietudes significativas en torno a la contaminación del suelo.

Las causas de la contaminación del suelo agrícola por el uso de agroquímicos son diversas y pueden incluir el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes, la falta de regulación y control en la aplicación de agroquímicos, y la falta de capacitación y educación para los agricultores sobre el uso seguro y responsable de agroquímicos. Si no se aborda el problema de la contaminación del suelo agrícola por el uso de agroquímicos, puede haber graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente. La exposición a agroquímicos puede tener efectos negativos en la salud de los trabajadores agrícolas y las comunidades cercanas a las áreas de cultivo. Además, la contaminación del suelo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas puede afectar la calidad de los productos agrícolas y la biodiversidad del área.

En ese sentido, este proyecto adquiere una relevancia fundamental al buscar comprender los efectos adversos en el suelo, derivados del uso de agroquímicos en la producción de papa en el distrito de Huasahuasi. Su ejecución posibilitará las recomendaciones de prácticas agrícolas más sostenibles, impulsando la salud del suelo y, con ello, resguardando tanto la seguridad alimentaria como el bienestar integral de la comunidad.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye el uso de agroquímicos a los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma?
- ¿Cómo afecta el uso de agroquímicos en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar la influencia del uso de agroquímicos en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.
- Investigar el efecto del uso de agroquímicos en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

1.3. Justificación e importancia

Este proyecto de tesis ofreció una justificación práctica sólida al abordar un problema real y urgente. La agricultura al ser una parte vital de la economía y la subsistencia de la región, y el cultivo de papa desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria local. Sin embargo, el uso indiscriminado de agroquímicos plantea riesgos significativos para la calidad del suelo y la salud de los agricultores y consumidores. Al investigar y comprender los efectos de estos agroquímicos en el suelo agrícola, este estudio pudo proporcionar soluciones prácticas y recomendaciones basadas en evidencia para la gestión sostenible de la producción de papa en el distrito de Huasahuasi, Tarma, lo que benefició directamente a la comunidad agrícola y a la seguridad alimentaria.

1.4. Delimitación del proyecto

1.4.1. Delimitación conceptual

La ubicación o el ámbito geográficos en el que se llevó a cabo la investigación se centró exclusivamente en el distrito de Huasahuasi, provincia de Tarma, departamento de Junín, sin considerar otros lugares o regiones geográficas.

1.4.2. Delimitación espacial

La investigación se desarrolló durante el año 2023 y 2024, conforme al cronograma de actividades. Esta restricción temporal estableció un marco temporal claro para el estudio y ayudó a enfocar la recogida de datos y el análisis en ese período específico.

1.4.3. Delimitación temporal

En este proyecto, se abordaron conceptos clave, entre los que se incluyen la contaminación del suelo, el uso de agroquímicos, la producción de papa y otros conceptos relacionados. Este enfoque implicó la necesidad de definir y comprender de manera clara estos conceptos, además de identificar los indicadores y variables específicos que serán objeto de medición y análisis en el estudio.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

Ho: El impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma no es significativo, ya que no se manifiestan cambios en los parámetros físicos, químicos del suelo.

Ha: El impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma es significativo, manifestándose en cambios en los parámetros físicos, químicos del suelo.

1.5.2. Hipótesis específicas

- **Ho:** El uso de agroquímicos no afecta de manera directa en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

Ha: El uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

- **Ho:** El uso de agroquímicos no afecta de manera directa en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

Ha: El uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

1.5.3. Variables

1.5.3.1. Variables independientes

- Uso de agroquímicos.

1.5.3.2. Variable dependiente

- Contaminación del suelo agrícola.

Tabla 1. Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Uso de agroquímicos	En la práctica de emplear productos químicos como plaguicidas y fertilizantes en la agricultura para mejorar el crecimiento y la salud de los cultivos, así como para protegerlos de las plagas y enfermedades (7).	Representa la aplicación de plaguicidas y fertilizantes, en la producción de papa .	Plaguicidas	Insecticidas Herbicidas Fungicidas Nematicidas
			Fertilizantes	Fertilizantes químicos Fertilizantes orgánicos
Contaminación del suelo agrícola	Suelo cuyas características han sido perjudicadas debido a la presencia de sustancias contaminantes depositadas en él como resultado de la actividad humana. Estas sustancias pueden incluir contaminantes químicos, productos químicos agrícolas, entre otros (8).	Comprende la evaluación de la contaminación del suelo agrícola en los características físicas, parámetros químicos y marcadores biológicos del suelo.	Características físicas	Textura: < 0.002: Arcilla -0.002 - 0.05: Limo -0.05 - 2.0: Arena <hr/> Color: -Suelo rojo -Suelo pardo -Suelo amarillo -Suelo oscuro

	Densidad aparente (gcm ³)
	Temperatura del suelo (°C)
	PH del suelo: - Acido7 - Neutro=7 -Alcalino>7
	Contenido de materia orgánica (%): -Bajos:2% -Deseable:>2%
Parámetros químicos	Nitrógeno total(%): Bajo:<0.05 Normal:0.05 a 0.30 Alto:>0.30
	Fósforo disponible (ppm): Alto:>50 Óptimo: 36-50 Medio:26.35 Bajo: 16-25 Muy bajo:

	<p>Potasio disponible (ppm):</p> <p>Alto:>175</p> <p>Óptimo: 131-175</p> <p>Medio:91-130</p> <p>Bajo: 61-90</p> <p>Muy bajo: <61</p>
	<p>Conductividad eléctrica (uS/cm):</p> <p>-< 500, buen desarrollo</p> <p>-500-1000, aparecen problemas en algunos cultivos</p> <p>> 1000, dificultades en muchos cultivos</p>
Marcadores biológicos	<p>Biomasa de la macrofauna (g/m2)</p> <p>Densidad de la macrofauna (individuos/m2)</p>

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Cotrina et al. (9), en el 2021, publicaron el estudio “Uso de Plaguicidas Químicos en el cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L), su relación con Medio Ambiente y la Salud”; artículo publicado en la revista Ciencia Latina, Vol. 5 (2), pp. 1-22.

La finalidad del estudio era averiguar hasta qué punto los agricultores sabían utilizar y manejar los productos químicos en el cultivo de la patata. Para el trabajo utilizó una metodología descriptiva y explicativa. El grupo de estudio estaba formado por 111 agricultores de la zona de San Miguel. De los 111 cultivadores de patatas encuestados para el estudio, todos dijeron conocer y utilizar productos químicos para mantener sano el cultivo. Dijeron que mezclaban los productos químicos en cantidades comprendidas entre 100 y 750 g por depósito de 200 litros. Basándose en lo que sabían por experiencia, el 51% de los cultivadores de patatas utilizaban productos fitosanitarios para deshacerse de las distintas plagas que atacaban el cultivo. Un número muy elevado de cultivadores (64%), dijo no conocer ninguna forma de controlar las plagas y enfermedades que no implicara el uso de productos químicos. El estudio concluyó que los agricultores conocían y utilizaban productos químicos para mantener sanos los campos de patatas, además, el uso lo hacían mezclando los productos químicos en grandes cantidades.

Guevara (10), publicó en el 2021 el estudio denominado “Frecuencias y concentraciones de agroquímicos y su impacto en los costos de producción del cultivo de papa”; artículo publicado en la revista e-Agronegocios, Vol. 7 (2), pp. 99-125.

La finalidad del estudio era averiguar cómo cambiaba el número de problemas fitosanitarios cuando un productor de patatas utilizaba productos químicos para controlarlos. Realizó un estudio de campo y de alcance descriptivo, cada semana durante el ciclo de producción de patatas contabilizó el número de plantas sanas y las que mostraban signos de enfermedades fitosanitarias. La muestra del estudio fue una finca en la que se cultivan patatas. Los resultados mostraron que plantar el cultivo durante la estación seca hacía que las enfermedades fúngicas fueran menos comunes, pero aumentaba el número de casos de *Phthorimaea operculella*. El uso inteligente de insecticidas como el Benzoato de emamectina y el Dimetoato, entre otros, permitió una cura rápida y eficaz. Cuando se utilizaron insecticidas a base de Ethoprophos

durante la fase de plantación, se redujo el número de *Criconebella* sp en un 78% *Pratylenchus* sp en 25% y *Globodera* spp en un 86%. Según las conclusiones del estudio, la correcta gestión de los plaguicidas y la elección de la estación de crecimiento adecuada pueden ayudar a deshacerse de las enfermedades fúngicas y las plagas, lo que hace que el cultivo de la patata sea más eficiente y rentable.

Rojas et al. (11) en el 2019 publicaron el estudio “Plaguicidas en suelos de uso agrícola y riesgo de exposición en la microcuenca los Zarzales, municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela”; artículo publicado en la Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 35 (2), pp. 307-315.

La investigación se propuso evaluar la probabilidad de exposición de residuos de plaguicidas en los agricultores de una microcuenca. Para ello, se llevó a cabo un estudio de alcance explicativo, con diseño experimental. La microcuenca seleccionada tenía una superficie de 25,07 km², con aproximadamente 3,77 km² de superficie agrícola. Se tomaron muestras de suelo al principio, a la mitad y al final del ciclo de crecimiento de los cultivos de ciclo corto estudiados. Con 26.7 mg/kg de residuos totales y una frecuencia de detección del 100%, los resultados mostraron que la etapa intermedia exhibía la mayor concentración y diversidad de sustancias químicas. Paraquat (15 mg/kg), carbendazim (8mg/kg), mancozeb (3.7 mg/kg) y carbofurano (1,2mg/kg) fueron las sustancias químicas más destacadas que se encontraron. Las dosis calculadas de exposición diaria eran de 1.5, 0.8, 0.37 y 0.12 g/día, todas inferiores a los niveles máximos de ingesta tolerables. El estudio concluyó que los residuos de plaguicidas en los suelos de la microcuenca variaban en concentración y tipo en función de la fase del cultivo, con la excepción del carbendazim, cuyos niveles se mantenían estables durante todo el periodo de producción, lo que sugería un posible uso excesivo.

Oré et al. (12) en el 2022 publicaron el estudio “Evaluación de los indicadores fisicoquímicos y biológicos del suelo en sistemas de uso agrícola: arveja, papa y avena en la provincia de Chupaca – Junín, 2022”; artículo publicado en la Revista Científica y Tecnológica Qantu Yachay, Vol. 2 (1), pp. 105-124.

El propósito del estudio fue caracterizar tres suelos agrícolas utilizados para el cultivo de patatas, guisantes y avena en cuanto a sus propiedades físicas, composición química y marcadores biológicos. La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo y alcance descriptivo. 72,65 km² era la muestra de estudio. El sistema de guisante presentó una textura franco-arcillosa, una densidad aparente típica y una resistencia a la penetración fuerte. El sistema de la patata y el de la avena presentaban texturas margosas, densidades aparentes

normales y una resistencia alta a la penetración. Los indicadores químicos para el guisante fue el más neutro, mientras que el de patatas y avena fue el más ácido. En los tres contextos, la materia orgánica y el fósforo se encontraban en niveles bajos o medios, el nitrógeno en niveles medios y el potasio en niveles bajos. En el sistema del guisante, la densidad de macrofauna fue de 12 ind/m², y la biomasa de macrofauna fue de 4,7 g/m². La densidad de especies fue de 15 ind/m² y la biomasa de 5,3 g/m² en el sistema de cultivo de patatas, mientras que fue de 11 ind/m² y 3,1 g/m² en el sistema de cultivo de avena. El estudio concluyó que el sistema con cultivo de papa presentó mayor densidad y biomasa de especies, mientras que los valores más bajos se reportaron en suelos con cultivos de avena.

Shaw y Topno (13) realizaron el estudio “Uso de pesticidas en el cultivo de papa: Un estudio de muestra del distrito de Hooghly, Bengala Occidental, India”; artículo publicado en la revista *International Journal of Health Sciences*, Vol. 6 (2), pp. 5668-5675.

La finalidad del estudio era averiguar cuánto sabían los agricultores sobre cómo afectaba al medio ambiente el uso de agroquímicos en el cultivo de la patata. El estudio fue de alcance descriptivo. 200 agricultores del distrito de Hooghly, en Bengala Occidental (India) formaron la muestra de estudio. Los resultados mostraron que el 65,6% sabía que el uso de fertilizantes en los campos de cultivo puede hacer que la tierra pierda sus nutrientes. El 2,7% hacía análisis del suelo para ver su fertilidad. Por otra parte, la cantidad de productos químicos utilizados dependió de factores como el tipo de patata, el número de plagas y la presencia de enfermedades de las plantas. A menudo se utilizaban cantidades de insecticidas superiores a las recomendadas. Esto se debe sobre todo a que no sabían qué hacer y pensaban que así los productos químicos actuarían más rápidamente. El 70% de los agricultores había observado que las plagas eran resistentes a los productos químicos. Alrededor del 32,5% de los agricultores dijeron que utilizaban biofertilizantes e insecticidas a base de plantas. Alrededor del 58,7% de los agricultores dijeron que rotaban sus cultivos. El estudio concluyó que existía un grado significativo de conciencia entre los agricultores en lo que respecta a la pérdida de fertilidad del suelo y el uso de fertilizantes, pero no se analizaba el suelo con regularidad para comprobar su fertilidad.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jiménez (14) realizó el estudio “Uso de agroquímicos en el cultivo de papa y la contaminación del suelo agrícola en el distrito de Chinchero, Cusco, Perú”; para optar el grado de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la Universidad Inca Garcilaso de La Vega, Lima.

El propósito de este estudio fue averiguar cómo el uso de productos agroquímicos para cultivar patatas modificaba la calidad de la tierra utilizada para la agricultura. El estudio fue de alcance descriptivo, con diseño no experimental. Se utilizaron dos microcuencas para obtener las muestras de tierra. Como resultado, el uso de agroquímicos en ambas microcuencas demostró la presencia de restos de pesticidas en la tierra. Estos residuos incluían compuestos organoclorados y organofosforados. Las muestras procedían de suelos de textura media y composición limosa que podían retener y absorber el agua. A su vez, esto hacía que la tierra fuera menos permeable, lo que ayudaba a que los compuestos químicos se acumularan y no se movieran. Se observó un cambio en el pH, que mostraba que la tierra estaba en el rango normal (pH=6.6), lo que significa que sus propiedades químicas también habían cambiado. Había menos de un organismo de las familias Nematoda y Arcella sp. por gramo de suelo, lo que significa que el suelo era biológicamente denso. El estudio concluyó que, el uso de agroquímicos para cultivar patatas perjudica las características físicas, químicas y biológicas del suelo; lo cual tiene efectos sobre la salud y la fertilidad del suelo agrícola.

Flores (15), sustentó en el 2022 el estudio “Influencia del uso de los plaguicidas sobre la calidad del suelo en sistemas de producción del cultivo de papa en la comunidad de Ñauza - Conchamarca, Ambo, Huánuco 2021”; para graduarse como Ingeniera Ambiental en la Universidad de Huánuco.

El propósito de este estudio era averiguar cómo afectaba el uso de plaguicidas a la calidad del suelo en los sistemas de cultivo de patatas. Para llevar a cabo el estudio utilizó un diseño de investigación analítico, de alcance explicativo y un diseño transversal. La muestra del estudio incluyó tierra que había estado expuesta a los plaguicidas utilizados para cultivar papas en el pueblo de Ñauza. Los resultados de las pruebas mostraron que el suelo tenía una textura franca arcillo-arenosa, lo que facilitaba el lavado de los venenos cuando había agua. La humedad del suelo se encontraba en un rango moderado. El pH era de 5,42, y la conductividad eléctrica era de 0,14 ds/m. La cantidad de plomo encontrada fue de 87,03 ppm, superior a la permitida. La cantidad de cadmio encontrada fue de 0,09 ppm, que también está dentro de lo permitido y no afectaba al suelo. También se observó que había microorganismos buenos para la calidad del

suelo. También se observó que se superaba el número estándar de unidades formadoras de colonias, lo que significa que había microorganismos buenos para la calidad del suelo. La investigación concluyó que el uso de plaguicidas no ejerció influencia en la calidad física, química ni biológica del suelo.

Anaya (16), realizó el estudio “Impactos ambientales generados por la producción de papa canchan, en el distrito de Acocro, Huamanga, Ayacucho”; para graduarse como Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco.

El propósito de este estudio fue identificar los impactos ambientales derivados de la producción de papa variedad Canchán. El estudio utilizó un enfoque cuantitativo y de alcance experimental. 45 agricultores de la zona de Acocro formaron la muestra de estudio, a quienes se les aplicó una encuesta. Además, realizó revisiones sobre el terreno y tomó muestras de tierra y tubérculos para analizarlas. Los resultados mostraron que la cantidad media de N era del 0,12%, los niveles de P y K eran de 15,54 ppm y 88,1 ppm, respectivamente. Los métodos de cultivo utilizados para deshacerse de plagas y enfermedades tenían efectos negativos en el medio ambiente, especialmente en medios orgánicos como las plantas de patata. El análisis de cromatografía de las papas descubrió que el 55,6% de las muestras tenían niveles de residuos de organofosfatos superiores a los 0,05 ppm permitidos. Esto se debía a que se habían utilizado demasiados herbicidas en las plantas. El estudio concluyó que el cultivo de papas en el periodo y el lugar analizados tenía efectos negativos en el medio ambiente del suelo debido a la mala gestión de los residuos agrícolas, el uso de demasiados fertilizantes y la pulverización de demasiados pesticidas en los cultivos.

Bautista (17), en el 2018, realizó el estudio “Biodegradación microbiana de carbofurano en suelos de cultivos de papa criolla *Solanum phureja*”; para graduarse como Maestra en Biología Molecular y Biotecnología, por la Universidad de Pamplona, Colombia.

El propósito de este estudio era averiguar hasta qué punto el microbiota del suelo podía descomponer el carbofurano, un producto químico que se utilizaba para mantener alejadas las plagas de los campos de papas. Se utilizó un diseño experimental para un estudio explicativo. El grupo de estudio estaba formado por tres parcelas de una hectárea y una parcela de control. Se tomaron muestras de suelo de estas parcelas para analizarlas. Las propiedades fisicoquímicas del suelo eran diferentes en los lugares que habían sido fumigados antes y después en comparación con el suelo de control. Encontró siete bacterias y siete hongos, a las que la realizaron pruebas de degradación como parte del estudio. Realizó pruebas durante quince días y los resultados mostraron que las bacterias se deshicieron del 54%, 71% y 56% del

carbofurano, mientras que los hongos se deshicieron del 57%, 73% y 81,6% del producto químico. Asimismo, se observó que el grupo microorganismos fue capaz de deshacerse del 91,7% del pesticida presente en el suelo en el mismo periodo de tiempo. El estudio concluyó que la tierra estudiada presentaba las condiciones fisicoquímicas adecuadas para sustentar una amplia gama de bacterias y hongos que podían sobrevivir a químicos como el carbofurano.

Aguilar et al. (18), en el 2019, realizaron el estudio “Análisis de los impactos socioambientales del sistema productivo de papa (*solanum tuberosum* L.) en el páramo el Tablazo, vereda Pantano de Arce, municipio de Subachoque”; para especializarse en Educación y Gestión Ambiental en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

El propósito de la investigación fue examinar las repercusiones socioambientales del sistema de producción de patatas. Para lo cual empleó un estudio descriptivo y evaluativa. La muestra encuestada fue de diecisiete productores de papa del páramo de El Tablazo. Los hallazgos indicaron que los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo sufrieron modificaciones, ya que el 94% de los productores aplicaban productos agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas. La degradación de la calidad del aire se identificó como consecuencia de las aplicaciones foliares de plaguicidas, que se realizaron con una frecuencia media de cada 15 días. El mayor impacto observado fue la disminución de las especies florísticas de la región, según el 23,5% de los agricultores, que citaron la tala de bosques para el cultivo de la patata. Además, la fauna experimentó la disminución más significativa de la biodiversidad como consecuencia de los efectos producidos por la aplicación de plaguicidas foliares al cultivo. En conclusión, la investigación puso de relieve que la industria de la patata contribuía significativamente a la degradación de los ecosistemas de páramo, por lo que era necesario adoptar estrategias de desarrollo agrícola sostenibles para mitigar las consecuencias socioambientales.

Guzmán (19) en el 2019 realizó el estudio “Evaluación de la disposición final de envases de agroquímicos, y sus posibles consecuencias en los suelos de la vereda Lavadero del Municipio de Fómeque, Cundinamarca”; para optar el grado de Ingeniero Ambiental en la Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.

La finalidad del estudio era averiguar cómo se trataban los envases de pesticidas y evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo. Para ello, realizó un estudio que utilizó un enfoque mixto y de alcance descriptivo. Se eligió al azar a treinta agricultores de la localidad de Lavadero y se les pidió que rellenaran una encuesta. La encuesta ayudó a hacerse una primera idea del manejo de los envases de agroquímicos en la zona de estudio. Después tomó muestras del suelo para

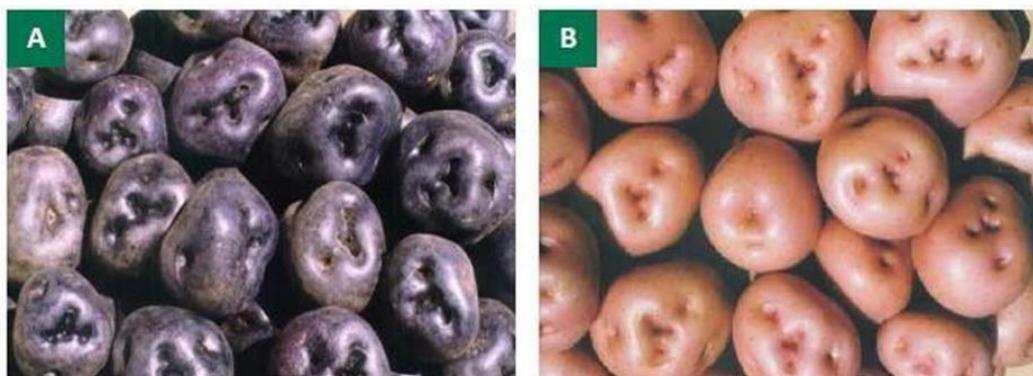
estudiar sus características fisicoquímicas. Los resultados mostraron que la quema y abandono de los envases eran las formas más comunes de deshacerse de ellos. En cuanto a las propiedades del suelo, los resultados para el suelo sin agroquímicos revelaron un pH de 5.24, densidad aparente de 0.95 g/cm³, humedad del 81%, y materia orgánica del 8.55%. Por otro lado, los resultados promedio para el suelo con agroquímicos fueron un pH de 5.71, densidad aparente de 1.16 g/cm³, humedad del 66.45%, y materia orgánica del 3.94%. Ambos suelos presentaron una textura arcillosa. El estudio concluyó que los suelos de la localidad de Lavadero estaban afectados de forma moderada a grave.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La papa

La planta perenne de la papa es originaria de los Andes sudamericanos, cultivada durante miles de años. Sus tubérculos, parte comestible de la planta, son ricos en carbohidratos, especialmente almidón, y contienen vitaminas, minerales y fibra dietética. Con diversas variedades en colores y tamaños, la papa es un alimento esencial en la dieta global, preparándose de diversas formas. Actualmente se cultiva en más de 140 países, de los cuales más de 100 son países en desarrollo (14). La Figura 1 exhibe dos tipos de papa producido en la región altiplánica del Perú.

Figura 1. Variedades de papa: Imilla Negra (A) y Ccompis (B). Tomado de “Manual técnico de cultivo de papa”, por INIA, 2020, p. 21.



Se estima que más de 600.000 pequeñas explotaciones en el Perú cultivan patatas, lo que las convierte en un cultivo muy importante en el país. El crecimiento de esta raíz está directamente relacionado con el objetivo de bienestar de miles de agricultores y su núcleo familiar. Aunque es muy importante para la agricultura del país, los rendimientos aún no son los esperados, especialmente en la sierra peruana.

Esta diferencia se debe a problemas con la tecnología, el clima y la forma de gestión de las empresas involucradas (15).

2.2.1.1. Factores limitantes de producción de papa en el Perú

- Rendimientos bajos: A pesar del considerable potencial, los rendimientos promedio en el Perú son decepcionantemente bajos, registrando solo 11.70 toneladas por hectárea. Este rendimiento reducido representa un desafío considerable para la sostenibilidad y la rentabilidad de la producción de papa a nivel nacional (7).
- Variabilidad climática: La variabilidad climática emerge como un obstáculo central. El retraso en la temporada de lluvias, las sequías prolongadas con condiciones calurosas y alta radiación solar provocan la marchitez de las plantas. Además, las temperaturas descendientes, especialmente las heladas, afectan aproximadamente el 80% del follaje, contribuyendo a la baja productividad del cultivo (16).
- Impacto de precipitaciones y granizadas: Las precipitaciones intensas y las granizadas tienen un impacto considerable en el cultivo. La acelerada degradación del suelo causada por la erosión hídrica, especialmente en aquellos terrenos con características de laderas pronunciadas, resulta en una disminución significativa de la fertilidad del suelo, lo que afecta directamente a los cultivos y su calidad (7).
- Incidencia de plagas y enfermedades: Es importante mencionar que la existencia del gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* spp.) añade una capa adicional de complejidad. Este insecto plaga ocasiona daños notables tanto en el follaje como en los tubérculos, comprometiendo la calidad y cantidad de la cosecha. La aparición de enfermedades como la verruga (*Synchytrium endobioticum*) y la roña (*Spongospora subterranea*) representa otro factor limitante. Estas condiciones patológicas afectan la productividad del cultivo, incrementando la vulnerabilidad del cultivo (15).
- Agricultura de alto riesgo y baja rentabilidad: La amalgama de estos factores convierte el cultivo de la papa en una actividad de alto riesgo y baja rentabilidad. La combinación de limitaciones climáticas, eventos extremos y desafíos biológicos destaca la necesidad crítica de estrategias y prácticas agrícolas más resilientes y sostenibles en esta área (7).

2.2.1.2. Zonas de producción en el Perú

El Perú cultivó 323,745 hectáreas de papas en 2018. El país produjo la impresionante cantidad de 5.10 millones de toneladas de papas, con un rendimiento promedio de 15,76 toneladas por hectárea. Esta variedad de papas puede crecer en una amplia gama de tipos de suelo y climas en el país, desde la puna seca y húmeda hasta los valles interandinos del altiplano, las laderas orientales húmedas, las laderas occidentales semiáridas y los valles costeros semiáridos (7).

En la Figura 2 se muestra que en 19 de los 24 departamentos de Perú se siembran distintas especies de papa, lo que demuestra la cantidad que se produce. Estas son las zonas que más producen: Puno, Huánuco, La Libertad, Apurímac, Ayacucho, Junín, Cusco, Cajamarca, Arequipa y Huancavelica. La papa puede crecer en una amplia gama de climas y elevaciones, como lo demuestra su difusión geográfica. Esto demuestra su importancia como cultivo básico en la agricultura peruana (7).

Figura 2. Regiones productoras de papa. Tomado de “Manual técnico de cultivo de papa”, por INIA, 2020, p. 12.



2.2.1.3. Proceso productivo de la papa

A. Antes de la siembra

La selección adecuada del terreno para el cultivo de papa implica la consideración integral de varios factores. Se debe evaluar la disponibilidad de agua, las condiciones climáticas, el tipo de suelo, la accesibilidad al lugar elegido y la disponibilidad de personal de campo. Este enfoque holístico garantiza una planificación efectiva que maximice el rendimiento del cultivo (16).

El rango óptimo para el crecimiento de la papa se sitúa entre 18 y 20 grados centígrados, con temperaturas inferiores a 10 grados centígrados y superiores a 30 grados centígrados que sofocan el crecimiento. Las patatas pueden desarrollarse en una amplia gama de condiciones de suelo, pero se dan mejor en suelos sueltos, arcillosos o areno-arcillosos. Los suelos con un pH superior a 6,4 o inferior a 5,2 no son ideales. Las circunstancias óptimas para el desarrollo del tubérculo incluyen suelos con abundante aire y agua, buen drenaje y una profundidad de 25-30 centímetros (16).

B. Durante el proceso productivo

El proceso productivo de la papa comprende diversas etapas cruciales que garantizan un cultivo exitoso. Inicia con el surcado de la tierra, una práctica que consiste en abrir surcos en el suelo para preparar el lecho de siembra. Posteriormente, se lleva a cabo la selección de la semilla, donde se eligen cuidadosamente los tubérculos que servirán como fuente para la próxima siembra, asegurando su calidad y salud (7).

La fase de siembra sigue al surcado y selección de semilla, donde los tubérculos seleccionados se plantan en los surcos previamente preparados. La fertilización es una práctica esencial que implica la aplicación de nutrientes para optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas de papa. El levante de surcos consiste en la creación de montículos de tierra alrededor de las plantas, proporcionándoles soporte y facilitando el drenaje (15).

El control de malezas es otra tarea fundamental que involucra la eliminación o gestión de plantas indeseadas que podrían competir con las papas por recursos. El aporque, por su parte, consiste en agregar tierra alrededor de las plantas para estimular el crecimiento de más tubérculos y protegerlos de la exposición al sol. Finalmente, el control de plagas es una medida preventiva y correctiva destinada a proteger el cultivo de papas de posibles infestaciones que podrían comprometer su rendimiento. Cada una de estas fases contribuye al proceso productivo integral de la papa, asegurando un cultivo saludable y productivo (16).

C. Cosecha

La recolección de papas, conocida como escarbe, se realiza cuando los tubérculos ya no se pelan al ser frotados con los dedos. En la región altiplánica del Perú, esta actividad se lleva a cabo entre el 20 de abril y el 20 de mayo, dependiendo de factores como las variedades, plagas, enfermedades y condiciones climáticas. La cosecha en áreas más extensas se puede realizar de forma semi-mecanizada con cosechadoras que depositan los tubérculos en la superficie para su recolección manual posterior, tal como se observa en la Figura 3. Esta labor incluye también la búsqueda manual de tubérculos enterrados en el terreno (7).

Figura 3. Cosecha de papa. Manual (A) y Semi-mecanizada (B). Tomado de “Manual técnico de cultivo de papa”, por INIA, 2020, p. 31.



D. Postcosecha

El proceso de post cosechado de las papas engloba la etapa crucial del curado, donde los tubérculos recolectados se disponen en ambientes resguardados de factores ambientales adversos. Estos se organizan en forma de montones o rumas, protegidos y cubiertos con paja o brozas de avena durante un período de 15 a 20 días. La función principal de este tiempo de curación es facilitar la cicatrización de las heridas ocasionadas durante la cosecha y el transporte, propiciar el secado y la eliminación de la tierra adherida a los tubérculos, así como identificar posibles signos de pudrición (7).

Esta tarea resulta crucial para llevar a cabo una selección y clasificación adecuadas, involucrando también la inspección y clasificación de los tubérculos. Además, este proceso incluye el almacenamiento, el cual debe efectuarse en ambientes con luz difusa, buena ventilación, temperaturas bajas de 3 a 4 °C y una humedad relativa entre 85 y 90 %. Este enfoque

tiene como objetivo obtener tubérculos-semilla turgentes, saludables, con abundantes brotes, de longitud moderada y robustos (16).

2.2.2. Uso de agroquímicos

2.2.2.1. Definición

El uso de agroquímicos es la práctica agrícola que implica la aplicación de productos químicos, tales como plaguicidas y fertilizantes, con el propósito de mejorar el crecimiento y la salud de los cultivos. Este enfoque también busca proteger las plantas de posibles daños causados por plagas y enfermedades. Los agroquímicos son herramientas clave en la gestión agrícola moderna, brindando beneficios como el aumento de rendimientos, la mejora de la calidad de los cultivos y la protección contra amenazas que podrían afectar la productividad agrícola (7).

La utilización de productos agroquímicos se refiere a la aplicación de sustancias en el sistema de producción agrícola por parte de los seres humanos, con el objetivo de mejorar las circunstancias de crecimiento de las plantas cultivadas. Este enfoque agrícola incluye la utilización de insecticidas, fertilizantes y acondicionadores del suelo, todos ellos empleados estratégicamente para promover y mejorar la productividad de los cultivos (17).

En la actualidad, una gran variedad de estructuras químicas está relacionadas con los productos agroquímicos, que se utilizan ampliamente en respuesta a la frecuente aparición de plagas agrícolas. Lamentablemente, numerosas empresas emplean estos productos sin tener debidamente en cuenta el daño potencial que pueden infligir tanto a la salud humana como al medio ambiente. El uso inadecuado, la falta de responsabilidad y el desprecio ocasional por las medidas de seguridad agravan las consecuencias adversas asociadas a los productos agroquímicos (18).

2.2.2.2. Características de los agroquímicos

A. Toxicidad

La toxicidad de un producto agroquímico viene determinada por lo mucho que puede alterar la salud de una persona; para clasificarla se utilizan sus efectos agudos. Los valores de la Dosis Letal 50 (DL50 Oral o Dérmica) o la Concentración Letal 50 (CL50 Inhalación) se utilizan para evaluar la toxicidad aguda de un producto químico. El límite inferior del 50% (DL50) de un fármaco que podría causar toxicidad aguda, o intoxicación de corta duración, en animales de experimentación es la cantidad que provoca la muerte de la mitad de los animales. Puede

extrapolarse a los seres humanos, ya que suele indicarse en miligramos de sustancia química peligrosa por kilogramo de peso animal (mg/kg) (18).

B. Persistencia

La persistencia es la propiedad que evalúa la estabilidad química de una sustancia tanto en medios abióticos como bióticos. La persistencia de los plaguicidas se clasifica en tres categorías: poco estable o ligeramente persistente, moderadamente estable o persistente y muy estable o persistente. Esta característica es fundamental para comprender el impacto a largo plazo de los plaguicidas en los distintos componentes del medio ambiente (18).

C. Rango de acción

Una característica importante que indica lo dañino que es un compuesto es su rango de acción. En función de esta característica, el radio de acción de un agroquímico puede dividirse en tres grupos: estrecho, que se refiere a plaguicidas específicos; medio, que se refiere a plaguicidas oligotóxicos; y amplio, que se refiere a plaguicidas politóxicos. Para elegir y utilizar correctamente los plaguicidas en función de sus efectos y su radio de acción en el control de plagas, hay que saber cuál es su radio de acción (18).

D. Selectividad

La selectividad en los productos fitosanitarios significa que sólo pueden dañar a un tipo de plaga y no a otras del agroecosistema. Aunque no hay sustancias que sean totalmente selectivas, se desea que esta cualidad sea lo más alta posible. El rango de acción (monotóxico, oligotóxico o politóxico), el método de entrada (estomacal, asfixia, contacto o fumigación) y el movimiento en la planta (sistémico, translaminar o superficial) son algunos de los aspectos que deciden la selectividad. Para fomentar una agricultura sana y reducir al mínimo los daños a las especies no objetivo, es importante encontrar productos y métodos más selectivos (18).

E. Modo de acción

El rasgo que caracteriza el modo de acción de un tóxico es cómo influye en un proceso biológico esencial del organismo. Los insecticidas pueden dividirse en varios grupos en función de su modo de acción: metabólicos, neurotóxicos, hormonales, del desarrollo, protoplasmáticos, físicos y fumigantes. Comprender el mecanismo de acción es crucial para la administración eficaz y selectiva de plaguicidas, ya que facilita la focalización en los procesos biológicos de las especies objetivo (18).

F. Tiempo de carencia (TC)

El TC es el tiempo transcurrido desde que un cultivo fue tratado con un agente fitosanitario. La descomposición natural de los residuos depende de la naturaleza de la molécula química y del medio ambiente circundante. Esta noción establece el intervalo de días necesario entre la última aplicación de un producto fitosanitario y la cosecha o el pastoreo de los animales. El TC se refiere al tiempo transcurrido entre el último tratamiento postcosecha y el momento en que se consume el producto vegetal. La seguridad de los alimentos y la reducción de los residuos en los productos agrícolas dependen de que las personas conozca y respete el tiempo de carencia (18).

G. Periodo de reingreso

La cantidad de días que deben transcurrir tras la última aplicación de un producto fitosanitario antes de que sea seguro volver a entrar en el cultivo se conoce como periodo de reentrada. Esta precaución es esencial para evitar entrar en contacto con productos químicos que puedan ser perjudiciales para la salud (véase Vías de entrada). Respetar el intervalo de reentrada es crucial para proteger la salud de los trabajadores agrícolas y reducir los posibles efectos negativos de la exposición a los agentes fitosanitarios (18).

H. Límite Máximo de Residuo (LMR)

El LRM representa la cantidad máxima permitida por la ley de residuos de un plaguicida en un producto agrícola. Este límite es esencial para la comercialización del producto y es un concepto legal más que toxicológico. La determinación del LMR implica dos vías: una toxicológica, que busca evitar efectos nocivos a lo largo de la vida, y otra agronómica, que considera la dieta media del país y aplica factores alimentarios para establecer el nivel permisible de residuos. La evaluación de residuos reales en el momento de la recolección garantiza que los productos cumplan con estándares de seguridad alimentaria (19).

2.2.2.3. Plaguicidas

Bedmar et al. (20) señalan que los pesticidas o plaguicidas son productos químicos desarrollados y producidos específicamente para su uso en el control de plagas agrícolas y de salud pública, con el fin de aumentar la producción de alimentos y fibras, así como facilitar los métodos agrícolas modernos. Los antibióticos para controlar microorganismos no están incluidos. Por lo general, se clasifican según el tipo de plaga que se pretende controlar. Cuando

se utiliza la palabra “pesticida” sin modificación, implica un material sintetizado por seres humanos.

De acuerdo con el MINAGRI (19), los plaguicidas agrícolas son cualquier sustancia o grupo de sustancias destinadas a ahuyentar o matar plagas y otras plantas o animales no deseados que perjudican o estorban el cultivo, la transformación, el almacenamiento, el transporte o la venta de alimentos, productos agrícolas, madera y productos derivados de la madera. Este término incluye los productos químicos destinados a controlar el crecimiento de las plantas, eliminar las hojas y el agua de las plantas, y los que se ponen en los productos antes o después de la cosecha para evitar que se estropeen mientras están siendo almacenados o transportados Rodríguez et al. (21) sostienen que la persistencia, conducta y movilidad de los plaguicidas exhiben una diversidad significativa, al igual que los mecanismos asociados con su degradación y retención en los suelos. Estos procesos se observan en la Figura 4, las cuales se incluyen:

- Adsorción-Desorción: Los plaguicidas pueden unirse a las partículas del suelo (adsorción) o liberarse de ellas (desorción), afectando su disponibilidad.
- Volatilización: Algunos plaguicidas pueden convertirse en vapores y liberarse al aire, lo que influye en su dispersión y destino.
- Degradación Química y Biológica: Los plaguicidas pueden descomponerse mediante procesos químicos o biológicos en el suelo, afectando su persistencia y toxicidad.
- Absorción por las Plantas: Los plaguicidas pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas y transferirse a través de la cadena alimentaria.
- Filtración: La capacidad del suelo para retener o filtrar plaguicidas, influyendo en su movilidad y llegada a las aguas subterráneas.

Estos mecanismos interactúan de manera compleja, determinando el comportamiento ambiental de los plaguicidas y su impacto en la salud del suelo, la biodiversidad y la calidad del agua. El entendimiento detallado de estos procesos es esencial para desarrollar prácticas agrícolas sostenibles y mitigar los efectos adversos de los plaguicidas en el entorno (21).

Figura 4. Comportamiento de los plaguicidas en el medio ambiente. Tomado de “La contaminación del suelo: Una realidad oculta”, por Rodríguez et al., 2019, p. 25.



Aunque el mercado mundial de plaguicidas se está expandiendo gradualmente, está monopolizado por un pequeño número de poderosas empresas que están realizando cada vez más inversiones en el Sur Global, donde el uso de plaguicidas está permitido en virtud de leyes más laxas. Basándose en la categorización mundialmente reconocida, la lista de Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP) de PAN Internacional incluye ahora 338 plaguicidas con un alto riesgo de consecuencias humanas y medioambientales, tanto agudas como a largo plazo (1). La Figura 5 presenta las sustancias más tóxicas vendidas en 2018 por las empresas.

Figura 5. Pesticidas más tóxicos vendidos en 2018. Tomado de “Atlas de los Pesticidas”, por Fundación Heinrich Böll et al., 2023, p. 12.

Bayer	
Glifosato: Sustancia “probablemente cancerígena”, según la agencia de Investigación sobre cáncer de la OMS	USD 841.000.000
Syngenta	
Tiametoxam: Prohibido en la UE a causa de su toxicidad para las abejas	USD 242.000.000
BASF	
Glifosinato: Tiene efectos adversos sobre las funciones sexuales y la fertilidad según la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas	USD 227.000.000
FMC	
Clorantraniliprol: Altamente peligroso para organismos acuáticos	USD 255.000.000
Corteva	
Ciproconazol: “Sustancia tóxica para la reproducción”, según la UE	USD 144.000.000

A. Plaguicidas por el tipo de plaga que controlan

Según el organismo que se busca controlar, los pesticidas pueden clasificarse en diferentes categorías, como fungicidas (utilizados para el control de hongos y mohos), herbicidas (empleados para el control de malezas), insecticidas (destinados al control de insectos), moluscicidas (utilizados en el control de moluscos), rodenticidas (empleados en el control de roedores) y otros (22). En la Tabla 2 se muestra la clasificación de este tipo.

Tabla 2. Plaguicidas por el tipo de plaga que controlan

Clasificación	Organismo a Controlar	Tipo	Acción
Bactericida	Bacterias	De contacto	Mata al contacto con la plaga
Defoliante	Follaje	Erradicante	Eficaz después de infección por patógenos
Desecante	Follaje	Fumigante	Entra en las plagas como un gas
Fungicida	Hongos	No selectivos	Tóxico para ambos, cultivos y malezas
Herbicida	Malezas	De post-emergencia	Eficaz cuando se aplica después de la cosecha
Insecticida	Insectos	De Pre-emergencia	Eficaz cuando es aplicado después de la siembra y antes de la cosecha
Acaricida (miticida)	Ácaros y garrapatas	De Pre-siembra	Eficaz cuando es aplicado antes de la siembra
Molusquicida	Babosas y caracoles	Protectores	Eficaz cuando es aplicado antes de que el patógeno infecte a la planta
Nematicida	Nematodos	Selectivos	Tóxico solo para la maleza
Regulador del crecimiento vegetal	Crecimiento de cultivos	Esterilizantes del suelo	Tóxico para toda la vegetación
Rodenticida	Roedores	Veneno estomacal	Mata plagas después de su Ingestión
Conservador de la madera	Organismos destructores de la madera	Sistémicos	Transportado a través de los cultivos o plagas después de su adsorción

Nota: Tomado de "Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido", por Díaz y Betancur. Revista Científica Agroecosistema, 2018, 6 (2), p. 18.

- Insecticidas: Los insecticidas son sustancias diseñadas para eliminar o repeler insectos y especies afines. Ejemplos comunes incluyen organofosforados, organoclorados y carbamatos. Su aplicación es esencial en la protección de cultivos agrícolas, ya que previenen daños causados por plagas de insectos, asegurando así la salud y rendimiento de las plantas (23).

Los piretroides y el DDT destacan como los insecticidas más significativos en esta categoría. De acuerdo con sus modos de acción, a veces se dividen en dos tipos. El tipo 1 abarca el DDT, sus análogos y piretroides sin un grupo ciano, mientras que los compuestos del tipo 2 incluyen piretroides con un alcohol α -ciano-3- fenoxibencílico. En mamíferos, provocan síntomas ligeramente diferentes por envenenamiento. El tipo 1 causa temblores en todo el cuerpo, mientras que el tipo 2 induce salivación y coreo atetosis. Aunque los insectos también manifiestan síntomas distintos, estos no son tan claramente diferenciados (24).

El DDT y los piretroides interactúan con los canales de sodio dependientes del voltaje, prolongando el tiempo en que estos canales permanecen abiertos. Cuando están envenenados por un piretroide, la apertura y cierre de los canales de sodio se retrasa, lo que provoca una corriente residual. Este efecto es más pronunciado en los piretroides tipo 2 y puede durar minutos. Como resultado, el potencial de reposo no se alcanza y los impulsos nerviosos no se propagan claramente, presentándose como una serie de potenciales de acción (24).

- **Herbicidas:** Los herbicidas son compuestos destinados a controlar el crecimiento de hierbas no deseadas o malezas en entornos agrícolas y de jardinería. Paraquat y atrazina son ejemplos representativos. Su función principal es mantener el espacio designado libre de plantas no deseadas, permitiendo un crecimiento saludable de cultivos o plantas ornamentales (23).
- **Fungicidas:** Los fungicidas son sustancias diseñadas para combatir hongos y mohos que pueden afectar la salud de las plantas. Captan y captofol son ejemplos comunes de fungicidas utilizados en la agricultura para prevenir y tratar enfermedades fúngicas, asegurando la integridad de los cultivos (23).
- **Nematicidas:** Los nematicidas, como el bromuro de etileno, están destinados a combatir nematodos, gusanos microscópicos del suelo que pueden dañar las raíces de las plantas. Su aplicación es vital para proteger la salud de las plantas y garantizar un desarrollo adecuado de las raíces (23).

B. Plaguicidas por su estructura química

De acuerdo con Rodríguez et al. (21), los plaguicidas, clasificados según su estructura química, se dividen en doce grupos distintos, y a continuación se mencionan algunos de los principales plaguicidas en cada grupo:

- **Compuestos Organoclorados:** Contienen cloro en su estructura. Y son persistentes en el medio ambiente. Son ejemplos: DDT, Aldrin, Endosulfan.
- **Compuestos Organofosforados:** Contienen fósforo en su estructura. Y son ampliamente utilizados, pero pueden ser tóxicos. Ejemplos: Paration, Clorpirifos, Diazinon.
- **Carbamatos:** Derivados de ácido carbámico y tienen un tiempo de vida más corto en el ambiente. Ejemplos: Carbofuran, Aldicarb, Propoxur.
- **Piretroides:** Sintéticos, similares a los piretroides naturales. Ampliamente utilizados en insecticidas. Ejemplos: Cipermetrina, Permetrina, Deltametrina.
- **Neonicotinoides:** Actúan sobre el sistema nervioso de los insectos. Relativamente nuevos. Ejemplos: Imidacloprid, Acetamiprid, Tiametoxan.
- **Compuestos de Organoestaño:** Contienen estaño en su estructura. Utilizados en fungicidas. Ejemplos: Acetato de Trifenilestaño, Azociclotina.
- **Compuestos Organomercuriales:** Contienen mercurio. Uso limitado debido a la toxicidad del mercurio. Ejemplos: Cloruro de Etilmercúrico, Bromuro de Fenil Mercurio.
- **Fungicidas Ditiocarbamados:** Ampliamente utilizados en la agricultura para el control de hongos. Ejemplos: Zineb, Maneb, Mancozeb.
- **Compuestos de Benzimidazol:** Utilizados como fungicidas de amplio espectro. Ejemplos: Benomil, Carbendazim, Tiofanato de Metilo.
- **Compuestos de Clorfenoxi:** Utilizados como herbicidas. Algunos son disruptores endocrinos. Ejemplos: 2,4-D, MCPA, 2,4,5-T.
- **Dipiridilios:** Herbicidas de contacto de amplio espectro. Ejemplos: Paraquat, Diquat.
- **Diversos:** Categoría variada que incluye varios tipos de plaguicidas. Ejemplos: DNOC, Simazina, Triazamato.

C. Plaguicidas por el tipo de formulación

Las formulaciones de pesticidas consisten en mezclas de pesticidas de calidad técnica con diluyentes inertes y productos químicos auxiliares. Estas formulaciones pueden clasificarse en tres tipos principales: sólidos, líquidos y gases. Algunas formulaciones están listas para su uso directo, mientras que otras requieren ser mezcladas antes de aplicarse (23). En la Tabla 3 se detallan los pesticidas comúnmente utilizados.

Tabla 3. Plaguicidas por el tipo de plaga que controlan.

Tipo	Descripción	Uso
Sistémico	Estos son pesticidas que son absorbidos por plantas o animales y se transfieren a tejidos no tratados.	2,4 -D, glyphosate
De contacto	Actúa sobre las plagas objetivo cuando entran en contacto.	Paraquat, diquat
Veneno estomacal	Entra en el cuerpo de la plaga a través de su boca y sistema digestivo.	Malathion
Fumigantes.	Pesticidas que actúan o pueden matar las plagas objetivo al producir vapor y entrar en el cuerpo de la plaga a través del sistema traqueal.	Phosphine
Repelentes	Los repelentes no matan, pero son lo suficientemente desagradables como para mantener alejadas a las plagas del área tratada. También interfieren con la capacidad de las plagas para ubicar el cultivo.	Methiocarb

Nota: Tomado de “Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido”, por Akashe et al. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*, 2018, 9 (4), p. 147.

2.2.2.4. Fertilizantes

Los fertilizantes son compuestos o mezclas de sustancias que se pulverizan directamente sobre las plantas o en el suelo para aportar los nutrientes vitales necesarios para su desarrollo y crecimiento. Estos nutrientes incluyen micronutrientes como el zinc y el hierro, así como elementos como el potasio, el fósforo y el nitrógeno. Corregir los déficits alimentarios garantizará un desarrollo sano de las plantas y un rendimiento óptimo. El tipo de suelo y el cultivo concreto determinarán qué tipo de abono es el mejor (17).

Los fertilizantes son compuestos químicos producidos artificialmente que consisten en uno o más nutrientes minerales vitales para las plantas. Estos compuestos se administran a las plantas mediante un procedimiento comúnmente denominado fertilización. Algunos ejemplos de compuestos químicos utilizados a menudo en agricultura son la urea, el cloruro potásico, el fosfato di amónico y el superfosfato cálcico triple (15). En la Figura 6 se muestra un fertilizante inorgánico, el cloruro de potasio, un fertilizante usado en la producción de papa.

Figura 6. Cloruro de potasio. Tomado de “Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa”, por INIA, 2013, p. 6.



La fertilización implica la provisión al suelo de los nutrientes que le faltan en cantidades adecuadas para satisfacer las demandas previstas de producción. El tipo y la cantidad de fertilizantes requeridos dependen de diversas variables, como el nivel de fertilidad del suelo, las condiciones ambientales, las necesidades nutricionales del cultivo y la variedad. Se requiere un examen minucioso de las propiedades físicas y químicas del suelo para determinar la cantidad exacta de nutrientes necesarios y lograr los mejores rendimientos con el menor costo posible (7).

A. Fertilizantes orgánicos

Los abonos son el término típico para los fertilizantes derivados de materiales orgánicos. Se comercializan como fuentes de nutrientes de origen orgánico, y el proceso por el que se utilizan se conoce como compostaje. El compost, el estiércol animal, el guano de isla y la gallinaza son excelentes opciones. Cabe destacar que el guano de isla, por ejemplo, es un fertilizante superior especialmente útil para el cultivo de patatas (16). La Figura 7 ilustra el Guano de Isla, un abono orgánico utilizado en los cultivos de papa.

Figura 7. Guano de isla. Tomado de “Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa”, por INIA, 2013, p. 6.



Según su tipo, los abonos y fertilizantes se presentan en varios grados. La cantidad de nutrientes suministrados por cada 100 kg de producto viene representada por la legislación. Por ejemplo, la legislación de la urea es 45, lo que significa que hay 45 kilogramos de nitrógeno en 100 kg de urea. La legislación que rige el guano de isla es 10-10-2, lo que significa que por cada 100 kg del material hay 10 kg de nitrógeno, 10 kg de P₂O₅ y 2 kg de K₂O. En la Tabla 4 se muestran los grados de diversos productos utilizados en la producción de patatas (15).

Tabla 4. Grados de los principales abonos y fertilizantes

Abono	Fertilizante	Uso		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Urea	45	0	0
	Superfosfato triple de calcio	0	46	0
	Superfosfato simple de calcio			
Guano de isla	Cloruro de potasio	0	0	30
Gallinaza		10	10	2
		3	1.82	1.27
	Fosfato Di amónico	18	46	0

Nota: Tomado de “Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa”, INIA, 2013, p. 6.

B. Cantidad y formas de aplicación de fertilizantes

La cantidad de fertilizante para la siembra se determina considerando diversas condiciones. Las variedades comerciales requieren mayor fertilización, mientras que en zonas de elevada altitud con suelos negros se aplica menos fertilizante. Cuando un campo ha descansado más de 5 años, se necesita menos fertilizante, y en campos destinados a la producción de semilla, la cantidad requerida es menor. Se sugiere aplicar todo el fertilizante potásico y fosfórico en la siembra, y el nitrógeno de forma fraccionada, parte en la siembra y parte durante el crecimiento pleno de la planta, para optimizar la absorción de nutrientes a lo largo del ciclo de crecimiento (16).

Los bajos rendimientos de patatas (8 a 9 t/ha) se dan en algunos lugares donde la materia orgánica (estiércol) por sí sola no basta para obtener la mejor producción de patatas. Se necesita la fertilización adecuada para que crezcan suficientes patatas. Para saber cuánto abono utilizar, es importante hacer un estudio del suelo. Pero, con lo que sabemos de nuestro trabajo en las tierras altas, podemos calcular la cantidad de estiércol o abono necesaria utilizando la información de la Tabla 5 (15).

Tabla 5. Rango de dosis de fertilizantes de cultivo de papa

Rendimiento	Nitrógeno (N/ha)	Fósforo (P205/ha)	Potasio (K2O)
Unidades	100-150	80-120	0-80

Nota: Tomado de "Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa", INIA, 2013, p. 6.

En la práctica de la fertilización existen dos modalidades para realizar el abonamiento:

a) A chorro continuo:

El abonamiento de papa a chorro continuo implica la aplicación directa de abonos o fertilizantes en el fondo del surco destinado a la siembra. Posteriormente, se cubren con una capa superficial de tierra, formando un surco cerrado. Esta técnica busca asegurar que los nutrientes estén disponibles en la zona radicular de las plantas sin exponerlas al riesgo de quemaduras por contacto directo con los abonos. Es una elección eficiente,

especialmente en siembras de áreas extensas, donde la distribución efectiva de los nutrientes es fundamental (15).

b) En golpes

El abonamiento de papa en golpes implica colocar un puñado de abono o fertilizante entre cada semilla durante la siembra. Esto se observa en la Figura 8. Esta distribución puntual facilita la absorción de nutrientes por las plantas, promoviendo un crecimiento saludable. Este método es más práctico en siembras de áreas más reducidas, donde la colocación precisa de los abonos entre las semillas permite un control más preciso en la aplicación de nutrientes (15).

Figura 8. Abonamiento de papa por golpe. Tomado de “Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa”, por INIA, 2013, p. 7



2.2.3. Contaminación del suelo agrícola

2.2.3.1. Definición

La contaminación del suelo agrícola comprende la alteración de las propiedades químicas, físicas y biológicas de un suelo específico debido a la presencia de sustancias contaminantes depositadas en él como resultado de diversas actividades humanas. Estas sustancias

contaminantes pueden abarcar una variedad de elementos, incluyendo contaminantes y productos químicos agrícolas, entre otros. Este fenómeno compromete la calidad del suelo, afectando su capacidad para sustentar el crecimiento de cultivos de manera saludable y sostenible (8).

Los agroquímicos, como los fertilizantes, el estiércol animal y los pesticidas, son algunas de las causas agrícolas de la contaminación del suelo que se muestran en la Figura 9. Los metales como el cobre (Cu), el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) que se encuentran en estos productos agroquímicos también se denominan contaminantes del suelo porque pueden alterar el funcionamiento de las plantas y hacer que los cultivos sean menos productivos. Además, las fuentes de agua que se utilizan para regar pueden contaminar la tierra, sobre todo si contienen aguas residuales de granjas, fábricas o ciudades (21).

Los metales pesados y el exceso de nitrógeno (N) pueden contaminar la tierra, y cuando estos venenos llegan a los alimentos, pueden convertirse rápidamente en peligrosos para la salud humana, la calidad del agua y la seguridad alimentaria. Para proteger la salud del suelo, garantizar la seguridad de la producción de alimentos y mantener un alto nivel de abastecimiento de agua, es importante tratar estas fuentes de contaminación de forma integral (21).

Figura 9. Fuentes agrícolas de contaminación del suelo. Tomado de “La contaminación del suelo: Una realidad oculta”, por Rodríguez et al., 2019, p. 15.



2.2.3.2. Suelo agrícola

El suelo es una sustancia extraordinaria que abarca la capa más superficial de la Tierra. Sufre una alteración progresiva a lo largo del tiempo como resultado de procesos de descomposición influidos por fenómenos meteorológicos, la presencia de flora y las actividades humanas. El suelo procede de diversas fuentes, como las formaciones rocosas subyacentes, los sedimentos depositados por ríos y océanos (denominados suelos aluviales), los depósitos arrastrados por el viento, como el loess, y los suelos creados por la acumulación de cenizas volcánicas (25).

Considerado como un ecosistema, el suelo alberga muchos tipos de seres vivos, como plantas, animales (incluidos mamíferos), insectos, arañas, lombrices, nematodos, protozoos, peces y bacterias. Una estimación aproximada es que alrededor del 25% de todos los seres vivos de la Tierra viven en la tierra. Como resultado de sus interacciones entre sí y con las partes no vivas de la Tierra, estos seres vivos crean una compleja red de conexiones ecológica (26).

Un enfoque sólido para evaluar la calidad del suelo implica el empleo de índices derivados de indicadores particulares relativos a los suelos muestreados, el tipo de cultivo y las estrategias de gestión adoptadas. Dichos indicadores se refieren a características físicas, químicas o biológicas cuantificables que influyen en la capacidad del suelo para llevar a cabo sus actividades básicas (27).

De acuerdo con Un indicador de calidad o estado del suelo, independientemente de su naturaleza, debe cumplir con ciertos requisitos fundamentales (26):

- Debe ser de fácil interpretación.
- Debe tener una correlación con los procesos ecosistémicos.
- Debe incorporar las propiedades y dinámicas físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Debe ser accesible para diversos usuarios.
- Debe ser sensible a cambios en el suelo.
- Debe ser reproducible.
- Debe tener baja variabilidad espacial y temporal.
- Debe ser fácil de muestrear y analizar.

2.2.3.3. Características físicas

Las características físicas se refieren a la estructura y composición del suelo que repercuten en su capacidad para retener y distribuir agua, nutrientes y productos agroquímicos. Los criterios

mencionados abarcan atributos como la textura del suelo, la densidad aparente, la porosidad, la resistencia a la penetración y la temperatura (27).

A. Textura

Las distintas cantidades de arena, limo y arcilla del suelo se denominan textura. Los suelos se clasifican por su textura en arenosos, franco-arenosos, margosos, franco-arcillosos y arcillosos, entre otros. También se pueden clasificar los suelos en tres grupos en función de lo fáciles que sean de trabajar: “ligeros” (arenas y margas arenosas), “medios” (margas) y “pesados” (margas arcillosas y arcillas). La estructura del suelo, por su parte, es la forma en que los trozos más pequeños se adhieren entre sí para formar piezas o unidades más grandes. Aproximadamente la mitad de la cantidad de suelo bien estructurado es materia sólida, y la otra mitad es aire y agua, cada uno en una proporción del 25% (25).

Es muy importante para la fertilidad del suelo y, por extensión, para que crezcan las plantas que el suelo tenga la textura y la estructura adecuadas. Los suelos con textura gruesa, como los arenosos, no pueden retener mucha agua o nutrientes, así que se tienen que tomar cuidados extra cuando se aplican fertilizantes para evitar que nutrientes como nitrógeno y potasio se lixivien. Por otra parte, los suelos arcillosos pueden retener humedad y nutrientes, pero tienen problemas con el aire y el drenaje. Es posible mejorar la estructura del suelo añadiendo capas de caliza y materia orgánica (25).

De acuerdo con la FAO (25), las texturas típicas de un suelo se pueden determinar por el diámetro de sus partículas tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Texturas del suelo.

Texturas del suelo	
Arena gruesa	2-0.5mm
Arena fina	0.5-0.05mm
Limo	0,05-0.002mm
Arcilla	Menor de 0.002mm

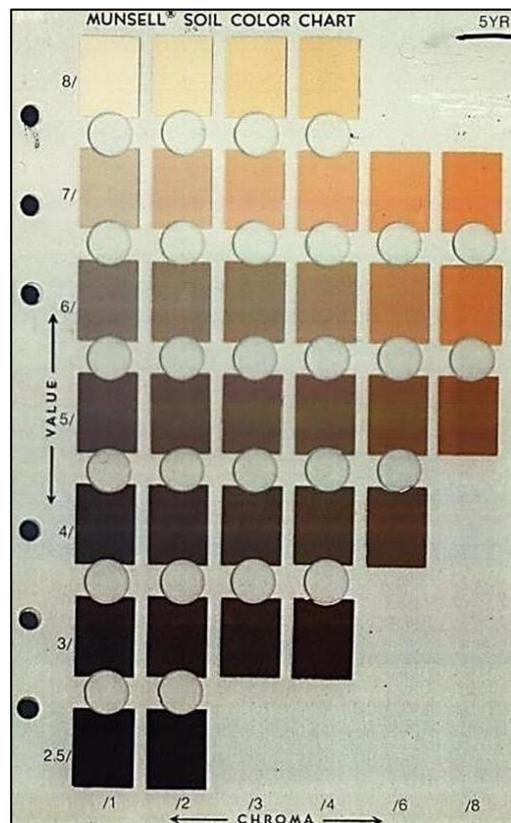
Nota: Adaptado de “Los fertilizantes y su uso”, FAO, 2002, p. 23.

B. Color

El color del suelo proporciona información significativa sobre sus condiciones y algunas de sus características. Por ejemplo, los suelos oscuros, al absorber más luz solar, se calientan más rápidamente que los suelos claros. Se utiliza el color del suelo para la clasificación en diversos grupos y para la comprensión y descripción de los tipos de suelo. Asimismo, a través del color del suelo, se pueden identificar fácilmente problemas como el exceso de sales, la pérdida de suelo, entre otros (28).

La determinación del color del suelo implica el uso del Munsell Color Chart (Figura 10) como un sistema estandarizado y preciso para su descripción. Se compara una pequeña muestra de suelo con las fichas de color estándar en el libro de color del suelo. Cada ficha de color se caracteriza por tres componentes: tono, valor y croma. El tono representa el color espectral dominante, generalmente asociado con el rojo o amarillo en el suelo. El valor indica la claridad relativa u oscuridad de un color (cantidad de luz reflejada), con un valor de cero (0) que representa el negro. El croma denota la pureza o intensidad del color dominante, con un croma de cero (0) indicando un gris neutro (28).

Figura 10. Munsell color chart. Tomado de “Soil Science: An Introduction”, por Phogat et al., 2015, p. 160.



Las notaciones de color Munsell proporcionan designaciones sistemáticas numéricas y de letras para cada uno de estos tres parámetros. Por ejemplo, una notación como 2.5YR5/6 significa un tono de 2.5YR, un valor de 5 y un croma de 6, siendo el nombre equivalente del color del suelo rojo. Los suelos presentan una amplia gama de colores, desde rojo, marrón y amarillo hasta verde. Algunos suelos son casi negros, mientras que otros son casi blancos. El color del suelo puede variar con la profundidad en el perfil del suelo y de un lugar a otro en el paisaje, pudiendo los horizontes del suelo tener colores del mismo tono, pero diferentes croma y valor (28).

C. Densidad aparente

La densidad aparente se define como el peso del suelo en relación con un volumen específico y se utiliza como indicador de compactación. En términos generales, a mayor densidad aparente, menor es el espacio poroso disponible para el movimiento del agua, el crecimiento y la penetración de raíces, así como el desarrollo de las plántulas. La medición de la densidad aparente debe realizarse en la superficie del suelo y/o en áreas compactadas, como el piso de arado, si está presente. Se recomienda llevar a cabo la medición cerca (entre 3,28 y 6,56 cm) de los sitios donde se llevan a cabo ensayos de respiración e infiltración. Para obtener una evaluación más representativa de la densidad aparente en la zona, se pueden tomar muestras adicionales (29).

D. Temperatura del suelo

Cuando las temperaturas descienden por debajo del punto de congelación, la actividad celular es muy limitada. El agua no fluye por el suelo y el tiempo parece detenerse cuando no hay hielo. Un horizonte del suelo tan frío como 5 °C dificulta el crecimiento de las raíces. Los procesos químicos y las acciones de los microorganismos dependen de la temperatura. Tras congelarse y fundirse varias veces, la tierra se expande y contrae una y otra vez. Esto cambia cómo se descomponen las rocas, cómo se construyen las estructuras y cómo crecen las raíces de las plantas (30).

La temperatura del suelo tiene un gran efecto en procesos biológicos como la germinación de las semillas, la aparición y el crecimiento de las plántulas, el desarrollo de las raíces y la acción de los microbios. La temperatura es una forma de medir el calor. La caloría o julio es la unidad de energía térmica. Kelvin (K) es la unidad de temperatura, pero los grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F) suelen ser más útiles. Para conseguir que un gramo de agua limpia alcance una temperatura de 1 °C, es necesario añadir una caloría de calor. La luz solar es la principal fuente de calor en la tierra (28).

2.2.3.4. Parámetros químicos

Los indicadores químicos están estrechamente relacionados con las características químicas del suelo, que tienen un impacto directo en varios aspectos como las interacciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Los factores englobados en esta categoría comprenden el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, las concentraciones de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno, fósforo, potasio), la conductividad eléctrica y la existencia de contaminantes químicos (27).

A. PH del suelo

El pH del suelo es una forma de medir lo ácido o básico que es el suelo. Es una parte importante para conocer las condiciones en las que crecen las plantas. En una escala de 0 a 14, un pH de 7 significa que el suelo es normal, un pH inferior a 7 significa que el suelo es ácido y un pH superior a 7 significa que el suelo es alcalino. La acidez o alcalinidad del suelo tiene un efecto directo sobre los nutrientes que necesitan las plantas. Los suelos que no tienen el pH adecuado pueden dificultar la absorción de nutrientes por parte de las plantas, lo que perjudica su crecimiento y desarrollo (30).

El método potenciométrico se utiliza para medir la reacción del suelo, que se muestra por su pH. Para realizar la medición se utilizan la tierra y el agua. Para saber si el suelo es ácido o alcalino, el pH es un número muy importante. Conocer el pH nos da información importante sobre la zona donde se encuentran los suelos. El método potenciométrico asegura que el nivel de pH se mide correctamente, lo que es importante para gestionar el suelo y asegurarse de que las plantas crecen lo mejor posible (29).

El pH del suelo es una medida fundamental que indica la acidez o alcalinidad de un suelo en particular. Un pH de 7.0 se considera neutral, lo que significa que el suelo es equilibrado en términos de acidez y alcalinidad. Si el pH es inferior a 7.0, el suelo se clasifica como ácido, sugiriendo una mayor concentración de iones de hidrógeno. Por otro lado, valores por encima de 7.0 indican suelos básicos o alcalinos, con una prevalencia de iones hidroxilo (31).

B. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica del suelo, procedente de plantas y animales, es crucial para la salud y la fertilidad del suelo. La mayoría de sus componentes proceden de tejidos vegetales con un nivel de humedad del 60-90 por ciento, aunque puede incluir desde tejidos orgánicos intactos hasta humus degradado. Los componentes secos comprenden carbono, oxígeno, hidrógeno y cantidades menores de elementos importantes como azufre, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los microorganismos y el componente más resistente o estable de la materia orgánica (humus) desempeñan funciones esenciales como la retención de nutrientes y la mejora de la estructura del suelo (32).

El carbono orgánico total (COT) destaca como un indicador crítico para medir la materia orgánica del suelo y, por tanto, su fertilidad, ya que desempeña funciones vitales en los ciclos del agua y los nutrientes. Como recurso primario para el metabolismo microbiano, tiene efectos de gran alcance en la agregación del suelo, el almacenamiento de humedad y la supervivencia de la biota del suelo. Este indicador contribuye a disminuir la densidad aparente del suelo, ya que sus partículas son menos densas que las minerales (33).

Una disminución del COT en suelos agrícolas puede indicar la necesidad de aplicar prácticas de conservación, especialmente en regiones donde las altas temperaturas favorecen una rápida mineralización de la materia orgánica. El COT se mide en entornos de producción para representar la contribución de los residuos vegetales de diversos cultivos. Cuando las tierras de cultivo se destinan a la producción de cultivos anuales, la contribución de la materia vegetal disminuye drásticamente en la capa superior del suelo, donde tiene lugar el secuestro total de carbono (33).

El COT se determina mediante la técnica de oxidación húmeda descrita por Walkley y Black. Las mediciones a semi-microescala del CO oxidable se realizan oxidando parcialmente el CO con una solución de dicromato potásico en un medio ácido. La siguiente fórmula se utiliza para cambiar el valor del carbono orgánico total (COT) de gramos por kilogramo a porcentaje de materia orgánica (MO) (33): $MO (\%) = COT (g\ kg^{-1})/10 \times 1.724$

Cuando la materia orgánica en el suelo es inferior al 0.5%, se clasifica como baja, indicando una limitada presencia de materia orgánica esencial para el desarrollo de microorganismos beneficiosos y la retención de nutrientes. Por otro lado, valores superiores al 2.0% se consideran deseables, ya que sugieren un contenido significativo de materia orgánica, lo que mejora la

estructura del suelo, la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (31).

C. Nitrógeno total

El Nitrógeno (N) desempeña un papel crucial como impulsor del crecimiento de la planta, constituyendo entre uno y cuatro por ciento del extracto seco de la misma. Se absorbe del suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+), y en la planta, se combina con los productos metabólicos de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Al ser un componente esencial de las proteínas, participa en todos los procesos fundamentales del desarrollo y rendimiento de las plantas. Un suministro adecuado de nitrógeno no solo es crucial para la planta en sí, sino también para facilitar la absorción de otros nutrientes (25).

La técnica Kjeldahl modificada utiliza un procedimiento de oxidación húmeda para calcular el nitrógeno total (Nt). En primer lugar, la muestra se oxida químicamente utilizando una solución designada y, a continuación, se determina el contenido de nitrógeno mediante una serie de procesos. Este método Kjeldahl modificado es una metodología reconocida para la determinación precisa de la concentración total de nitrógeno en muestras, que proporciona información crucial sobre el estado nutricional del suelo o de otros materiales biológicos (33).

El contenido de nitrógeno total se clasifica en tres niveles según su porcentaje en una muestra. Un porcentaje de nitrógeno total inferior a 0.05% se considera bajo, mientras que un rango de 0.05% a 0.30% se suele clasificar como normal. Por otro lado, un contenido de nitrógeno total superior al 0.30% se categoriza como alto (25).

D. Fósforo disponible

El Fósforo (P), que constituye entre el 0,1 y el 0,4 por ciento del extracto seco de la planta, desempeña un papel crucial en la transferencia de energía, siendo esencial para la fotosíntesis y otros procesos químico-fisiológicos. Su presencia es indispensable para la diferenciación celular y el desarrollo de tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. Dada su escasez en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas, su disponibilidad se ve limitada donde la fijación es un factor (25).

El fósforo disponible se evalúa a través del Método de Olsen, el cual implica la extracción de fósforo del suelo mediante el uso de una solución de bicarbonato de sodio y bicarbonato de sodio sódico. Este procedimiento proporciona una estimación del fósforo presente de manera accesible para las plantas. La solución utilizada en este método ayuda a liberar el fósforo

disponible en el suelo, permitiendo así una evaluación más precisa de la cantidad de este nutriente que está disponible para el crecimiento y desarrollo de las plantas (28).

La concentración de fósforo en el suelo se clasifica en diferentes niveles según la cantidad medida en partes por millón (ppm). Cuando la concentración es muy baja, es decir, menor a 16 ppm, se considera en la categoría “muy bajo”. Si la concentración se encuentra en el rango de 16 a 25 ppm, se clasifica como “bajo”. En el rango de 36 a 50 ppm se sitúa en la categoría “medio”, mientras que cualquier concentración superior a 50 ppm se cataloga como “alto” (31).

E. Potasio disponible

El Potasio (K), constituyendo entre el uno y el cuatro por ciento del extracto seco de la planta, desempeña múltiples funciones clave. Activa más de 60 enzimas, reguladoras químicas vitales para la vida de la planta. Por tanto, desempeña un papel vital en la síntesis de carbohidratos y proteínas. Además, mejora el equilibrio hídrico de la planta, aumenta su resistencia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien abastecidas de potasio tienden a sufrir menos enfermedades (25).

En cuanto al potasio disponible, su medición se realiza a través del Método del ácido sulfúrico. Este método implica la extracción de potasio del suelo utilizando una solución de ácido sulfúrico. La cantidad de potasio extraído refleja la fracción disponible para las plantas y ofrece información sobre la capacidad del suelo para suministrar este nutriente esencial para el crecimiento vegetal (28).

La concentración de K en el suelo se categoriza según su medida en partes por millón (ppm), proporcionando una evaluación de la disponibilidad de este nutriente crucial para el desarrollo de las plantas. Si la concentración de K es inferior a 61 ppm, se considera “baja”. En el rango de 61 a 90 ppm, se mantiene en la categoría “bajo”, mientras que en el intervalo de 91 a 130 ppm se clasifica como “medio”. La concentración óptima se sitúa entre 131 y 175 ppm, y cualquier medida superior a 175 ppm se considera “alto” (31).

F. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un indicador que define la actividad vegetal y microbiana en el suelo. En el ensayo de conductividad eléctrica, es esencial evaluar el contenido de sales en el suelo, ya que un exceso de sales puede tener efectos perjudiciales para la salud de las plantas. Estas sales no solo pueden impactar negativamente en el desarrollo de las plantas, sino que

también pueden dificultar la penetración del agua en el suelo y favorecer la compactación superficial (28).

Las muestras de suelo destinadas a medir la conductividad eléctrica se extraen a una profundidad aproximada de 0 a 3 pulgadas (7.62 cm). Es recomendable recoger muestras compuestas a lo largo de todo el lote, permitiendo la toma de dos submuestras para un análisis más detallado. Este procedimiento contribuye a una evaluación precisa de la conductividad eléctrica del suelo, proporcionando información valiosa para el manejo adecuado y la salud del entorno de cultivo (29).

Cuando la conductividad eléctrica es inferior a 500 uS/cm, se considera que el suelo permite un buen desarrollo, indicando niveles bajos de sales solubles. En el rango de 500 a 1000 uS/cm, comienzan a surgir problemas en algunos cultivos, sugiriendo un aumento moderado en la salinidad que podría afectar el rendimiento de ciertas plantas. Valores superiores a 1000 uS/cm indican dificultades significativas en muchos cultivos, ya que la alta salinidad puede afectar negativamente la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas, comprometiendo su salud y rendimiento (31).

2.2.3.5. Marcadores biológicos

Los indicadores biológicos del suelo son los seres vivos que permiten evaluar la calidad y el estado ecológico de un ecosistema, a partir del estudio de comunidades de organismos que habitan en él. Estos marcadores reflejan los efectos acumulados de las actividades antrópicas y naturales sobre el suelo, ya que responden de manera sensible y rápida a cambios físicos, químicos y biológicos. Entre los principales marcadores biológicos se encuentran la biomasa y densidad de la macrofauna del suelo, debido a que estos organismos invertebrados cumplen funciones en la descomposición de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la estructuración del suelo (26).

A. Biomasa de la macrofauna

Es la cantidad total de masa orgánica viva contenida en los organismos del suelo tales como insectos, arácnidos, miriápodos y más. La biomasa es un indicador sensible a los cambios provocados por prácticas agrícolas debido a que una disminución de esta refleja una pérdida de funciones ecológicas necesarias para la sostenibilidad del suelo. Este parámetro representa el volumen funcional de organismos que participan activamente en procesos ecológicos como la aireación del suelo, la mineralización de nutrientes y la formación de agregados (12).

Para cuantificarla, se realiza una extracción sistemática de muestras de campo, siguiendo metodologías estandarizadas. El procedimiento consiste en delimitar un monolito de suelo de 25 x 25 cm hasta una profundidad de 30 cm, el cual se excava cuidadosamente para recolectar manualmente todos los organismos presentes. Posteriormente, se los clasifica, limpia y pesa. El peso fresco (biomasa húmeda) se registra por grupo taxonómico y puede transformarse a biomasa seca mediante secado en estufa a 60°C durante 48 horas (34).

La biomasa de la macrofauna se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m²). Para calcular este valor se emplea la fórmula:

$$B = (\sum Wi)/A$$

Donde B es la biomasa total, Wi es el peso individual o por grupo funcional de los organismos recolectados, y A es el área del monolito en m^2 .

B. Densidad de la macrofauna

Es el número de individuos presentes por unidad de área, y constituye un indicador sustancial para evaluar la abundancia de organismos en un ecosistema específico. Este parámetro proporciona información sobre la actividad biológica y el equilibrio ecológico del suelo, ya que una alta densidad sugiere condiciones favorables para el desarrollo y reproducción de los organismos del suelo (35).

La medición de la densidad de la macrofauna se realiza a través de técnicas de muestreo similares a las utilizadas para la biomasa. Los organismos recolectados manualmente se almacenan en frascos con alcohol al 70% para su conservación y posterior conteo. Cada muestra representa una unidad de observación, y la repetición del muestreo en distintas zonas del cultivo posibilita estimar la densidad promedio por metro cuadrado. La identificación taxonómica básica facilita clasificar los organismos en grupos funcionales y así evaluar la composición ecológica del suelo además de su densidad (34).

Para calcular la densidad de la macrofauna, se aplica la fórmula:

$$D = N/A$$

Donde D representa la densidad (*individuos/m²*), N es el número total de organismos recolectados en el monolito, y A el área muestreada en metros cuadrados.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Agroquímicos

Son sustancias químicas como insecticidas, fertilizantes y acondicionadores del suelo que son empleados estratégicamente para promover y mejorar la productividad de los cultivos (17).

2.3.2. Abono

Los abonos son el término típico para los fertilizantes derivados de materiales orgánicos. Se comercializan como fuentes de nutrientes de origen orgánico, y el proceso por el que se utilizan se conoce como compostaje. El compost, el estiércol animal, el guano de isla y la gallinaza son excelentes abonos (16).

2.3.3. Contaminación de suelo

Son las alteraciones de las propiedades químicas, físicas y biológicas de un suelo específico debido a la presencia de sustancias contaminantes depositadas en él como resultado de diversas actividades humanas (8).

2.3.4. Conductividad eléctrica

Es un indicador que define la actividad vegetal y microbiana en el suelo. En el ensayo de conductividad eléctrica, es esencial evaluar el contenido de sales en el suelo, ya que un exceso de sales puede tener efectos perjudiciales para la salud de las plantas (28).

2.3.5. Fertilizante

Los fertilizantes son compuestos o mezclas de sustancias que se pulverizan directamente sobre las plantas o en el suelo para aportar los nutrientes vitales necesarios para su desarrollo y crecimiento. Estos nutrientes incluyen micronutrientes como el zinc y el hierro, así como elementos como el potasio, el fósforo y el nitrógeno (17).

2.3.6. Insecticida

Son sustancias diseñadas para eliminar o repeler insectos y especies afines. Ejemplos comunes incluyen organofosforados, organoclorados y carbamatos. Su aplicación es esencial en la protección de cultivos agrícolas, ya que previenen daños causados por plagas de insectos, asegurando así la salud y rendimiento de las plantas (23).

2.3.7. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo, procedente de plantas y animales, es crucial para la salud y la fertilidad del suelo. La mayoría de sus componentes proceden de tejidos vegetales con un nivel de humedad del 60-90 por ciento, aunque puede incluir desde tejidos orgánicos intactos hasta humus degradado. Los componentes secos comprenden carbono, oxígeno, hidrógeno y cantidades menores de elementos (32).

2.3.8. Papa

La papa es una planta perenne originaria de los Andes sudamericanos, cultivada durante miles de años. Sus tubérculos, parte comestible de la planta, son ricos en carbohidratos, especialmente almidón, y contienen vitaminas, minerales y fibra dietética (14).

2.3.9. Marcadores biológicos del suelo

Son los seres vivos y procesos que muestran lo sana y viva que está la tierra desde el punto de vista biológico. Algunos de ellos son los tipos y el número de microorganismos (como bacterias y hongos), la actividad de las enzimas del suelo, la cantidad de biomasa microbiana, la presencia de macrofauna y la descomposición de la materia orgánica (26).

2.3.10. Parámetros químicos del suelo

Los indicadores químicos están estrechamente relacionados con las características químicas del suelo, que tienen un impacto directo en varios aspectos como las interacciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de nutrientes (27).

2.3.11. Características físicas del suelo

Los indicadores físicos se refieren a las características de la estructura y composición del suelo que repercuten en su capacidad para retener y distribuir agua, nutrientes y productos agroquímicos. Los criterios abarcan atributos como la textura del suelo, la densidad aparente, la porosidad, la resistencia a la penetración y la temperatura (27).

2.3.12. Plaguicidas

Los pesticidas o plaguicidas son productos químicos desarrollados y producidos específicamente para su uso en el control de plagas agrícolas y de salud pública, con el fin de

aumentar la producción de alimentos y fibras, así como facilitar los métodos agrícolas modernos (20).

2.3.13. Suelo

El suelo es una sustancia extraordinaria que abarca la capa más superficial de la Tierra. Sufre una alteración progresiva a lo largo del tiempo como resultado de procesos de descomposición influidos por fenómenos meteorológicos, la presencia de flora y las actividades humanas (25).

2.3.14. Textura

Las distintas cantidades de arena, limo y arcilla del suelo se denominan textura. Los suelos se clasifican por su textura en arenosos, franco-arenosos, margosos, franco-arcillosos y arcillosos, entre otros (25).

2.3.15. Uso de agroquímicos

Es la práctica agrícola que implica la aplicación de productos químicos, tales como plaguicidas y fertilizantes, con el propósito de mejorar el crecimiento y la salud de los cultivos. Este enfoque también busca proteger las plantas de posibles daños causados por plagas y enfermedades (7).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

El estudio se realizó siguiendo el método científico. Este método es una guía o conjunto de pautas que se utilizan en la investigación para lograr obtener un conocimiento científico de la realidad. Además, se basa en procesos, reglas y técnicas previamente establecidas, que se emplean de manera sistemática para abordar una pregunta de investigación, obtener datos relevantes, analizarlos de manera crítica y llegar a conclusiones válidas (36). Dado que en este estudio se siguió un proceso ordenado para abordar el problema, obtener datos, para luego analizarlos y sacar conclusiones, se hace necesario el uso de este método general.

Como método específico se siguió el método hipotético-deductivo. Este método es una forma de pensar que parte de la formulación de hipótesis para, a continuación, tratar de demostrar o refutar esas hipótesis extrayendo conclusiones que luego se comparan con los hechos constatados (37). Para este estudio, se plantean hipótesis que fueron evaluadas a través de los resultados que se obtengan, determinando si son confirmadas o refutadas, con el fin de llegar a conclusiones que se alineen con los propósitos del estudio.

3.1.2. Tipo de la investigación

El estudio fue de tipo aplicada. Este tipo de investigación se lleva a cabo para actuar, convertir, modificar o realizar cambios en un ámbito concreto de la realidad

(38). Para este caso, este estudio es de tipo aplicada porque abordó un problema práctico y relevante en la agricultura local del distrito de Huasahuasi, Tarma: la contaminación del suelo debido al uso de agroquímicos. Los resultados de esta investigación tuvieron implicaciones prácticas para los agricultores, las autoridades y otros actores involucrados en la producción de papa en la región.

3.1.3. Población y muestra

La población comprendió estar formado por los suelos agrícolas en el distrito de Huasahuasi, Tarma utilizados en la producción de papa. La población se refiere al conjunto completo de sujetos u objetos que comparten una característica específica y se consideran en su totalidad

(39). Para este caso se consideró la totalidad de la superficie agrícola del distrito de Huasahuasi; la cual, según los datos del Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA) del MIDAGRI es de 9025.39 ha

La muestra se compuso de dos tipos de suelo en el distrito de Huasahuasi: un suelo con evidencia de uso de agroquímicos, representado por 5 parcelas con un promedio de 0.75 hectáreas cada una, y un suelo sin uso de agroquímicos, conformado por 4 parcelas de igual medida. Por lo que en total para el estudio de la muestra se consideró 7 hectáreas. Una muestra se refiere a un conjunto de elementos seleccionados de una población de acuerdo con un plan de acción predeterminado, con el objetivo de realizar generalizaciones sobre la población en su conjunto (40). Para este caso, la selección de la muestra se llevó a cabo mediante un muestreo no probabilístico y por conveniencia. Se elegirán 2 campos agrícolas representativos:

3.1.3.1. Suelo agrícola con uso de agroquímicos (muestra experimental)

- Criterios de inclusión: Áreas de suelo agrícola con evidencia clara y documentada de uso regular de agroquímicos en la producción de papa.
- Proceso de selección: Se eligió un campo agrícola específico que cumpla con los criterios de inclusión, considerando la disponibilidad y la accesibilidad de la ubicación.

3.1.3.2. Suelo agrícola sin uso de agroquímicos (muestra control)

- Criterios de Inclusión: Áreas de suelo agrícola donde no se haya evidenciado el uso de agroquímicos en un período significativo.
- Proceso de Selección: Se seleccionó un campo agrícola específico que cumpla con los criterios de inclusión, teniendo en cuenta la accesibilidad y la representatividad.

3.1.4. Diseño metodológico de la investigación

El diseño fue experimental. Este diseño consiste en desarrollar experimentos controlados donde se manipulan una o más variables para observar su efecto mientras se mantienen constantes otras variables (41). En este contexto, la variable que permaneció constante fue la contaminación del suelo agrícola, mientras que la variable manipulada por los agricultores fue el uso de agroquímicos. La evaluación de la contaminación del suelo se llevó a cabo mediante indicadores, considerando una muestra de suelo de control, donde no se haya evidenciado el uso de agroquímicos, y otra muestra de suelo que muestre evidencia de dicho uso. El diseño experimental se describe a través del siguiente esquema:

GE x O1

GC _____ O2

Donde:

- X: Uso de agroquímicos.
- GE: Muestra de suelo experimental (con uso de agroquímicos)
- GC: Muestra de suelo control (sin uso de agroquímicos)
- O1: Observación de la muestra de suelo experimental.
- O2: Observación de la muestra de suelo control
- El procedimiento experimental se desarrolló siguiendo los siguientes pasos:

3.1.4.1. Preparación de muestras

- Recolección de muestras de suelo: Se llevó a cabo la recolección de muestras de suelo en áreas representativas de la producción de papa en el distrito de Huasahuasi, Tarma. Se eligieron ubicaciones estratégicas que abarquen tanto zonas con evidencia de uso intensivo de agroquímicos como áreas donde se evita su uso.
- Etiquetado y almacenamiento: Cada muestra de suelo recolectada fue etiquetada de manera única, registrando la ubicación específica y cualquier información relevante, como el historial de uso de agroquímicos en esa área. Las muestras se almacenaron en recipientes herméticos para evitar contaminaciones cruzadas y se preservaron a temperaturas adecuadas hasta su procesamiento.
- División en grupos de control y experimental: Con base en la información recopilada y la evidencia de uso de agroquímicos, se dividieron las muestras en dos grupos: el grupo de control, compuesto por suelo donde no se ha evidenciado el uso de agroquímicos, y el grupo experimental, que incluyó suelo con clara evidencia de agroquímicos en la producción de papa.

3.1.4.2. Análisis de parámetros físicos

- Textura del suelo: Se emplearon métodos de tamizado y sedimentación para determinar la proporción de arena, limo y arcilla en cada muestra.
- Humedad del suelo: Se midió utilizando técnicas de secado y pesaje.
- Color del suelo: Se evaluó visualmente utilizando un sistema de clasificación de colores para suelos.
- Densidad aparente del suelo: Se determinó midiendo el volumen y peso de una muestra conocida de suelo.

3.1.4.3. Análisis de parámetros químicos

- pH del suelo: Se medirá utilizando un pH metro en una suspensión suelo-agua.
- Contenido de materia orgánica: Se determinará mediante métodos de oxidación química.
- Nitrógeno total: Se analizará utilizando métodos de digestión y valoración.
- Fósforo y potasio disponibles: Se cuantificarán mediante extracción y análisis con métodos específicos.
- Conductividad eléctrica: Se medirá en una solución suelo-agua para evaluar la salinidad.

3.2. Materiales y métodos (aplicación de la ingeniería)

El estudio empleó la técnica de la observación. La observación se emplea para recoger datos sobre los elementos de investigación, con el propósito de obtener información acerca de su funcionamiento. Además, este método implica el uso de los sentidos, así como también instrumentos que permiten ampliar y registrar la información obtenida (41). En este contexto, la observación se empleó para recabar información de las muestras de suelo, tanto aquellas tratadas con agroquímicos como las que no lo están. Además, se utilizaron instrumentos específicos para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.

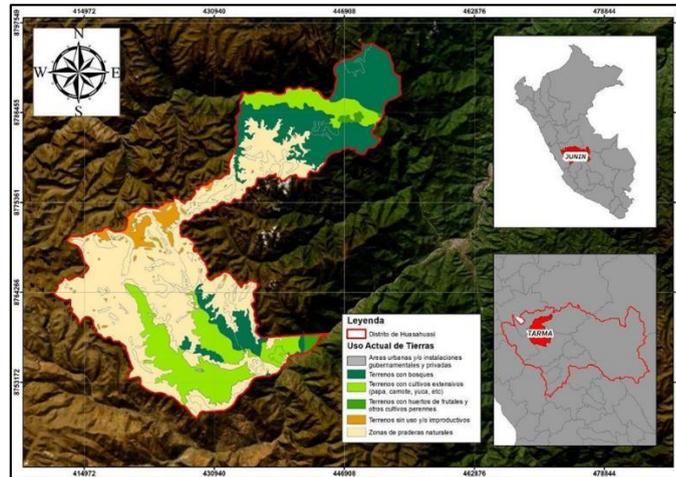
Como instrumento se empleó la Ficha de observación. Las herramientas que utiliza un investigador para explorar los fenómenos objeto de estudio y recabar de ellos los datos pertinentes se denominan instrumentos de investigación (36). Para este estudio, la Ficha de Observación desempeñó un papel crucial al permitir el registro ordenado de las observaciones relacionadas con los resultados de cada parámetro del suelo, tanto en presencia de agroquímicos como en suelo agrícola sin estos productos. Estos parámetros abarcaron aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento de la información

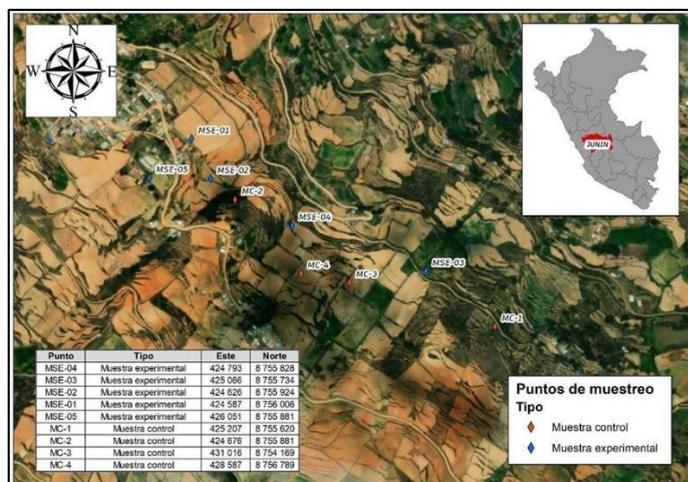
Figura 11. Mapa agrícola del Distrito de Huasahuasi



La población del estudio abarca la totalidad de la superficie agrícola del distrito de Huasahuasi, que según datos del Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA) del MIDAGRI es de 9025.39 hectáreas.

Para los resultados de este estudio se extrajeron muestras del distrito de Huasahuasi de la provincia de Tarma, región Junín, cuya característica comercial es la agricultura, dado que dicha zona y gran parte de su territorio es usado para la producción agrícola de ciertos cultivos como la papa, siendo la principal de estas, como se detalla en la Figura 11.

Figura 12. Puntos de muestreo de control y experimental



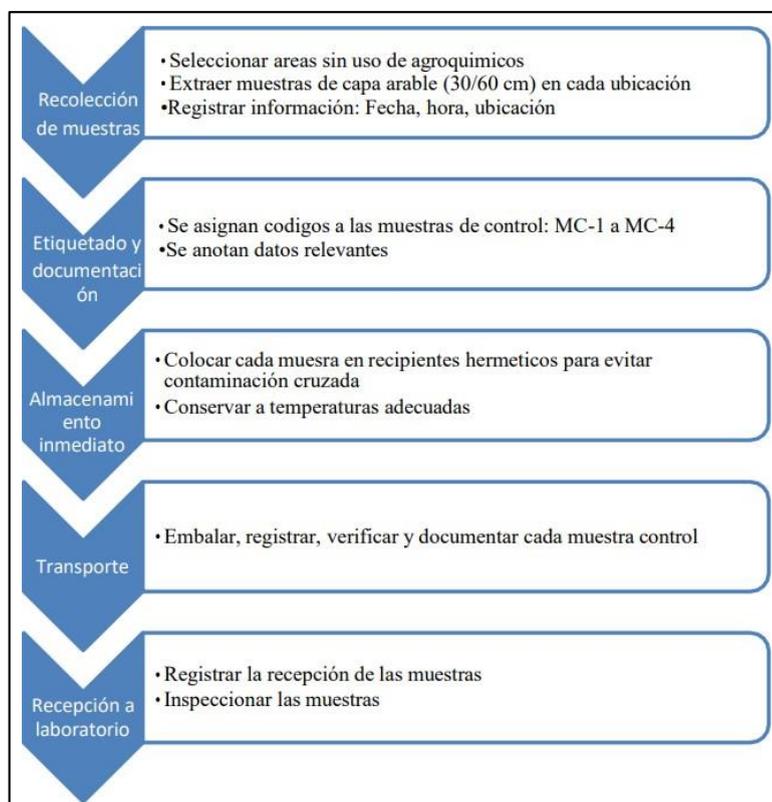
La Figura 12 detalla los puntos muestrales, los cuales fueron seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia; es decir, a criterio de nosotros los investigadores debido a la accesibilidad y la cercanía de los puntos muestrales de control y experimental. La muestra se dividió en 2 grupos:

- Muestra experimental (Puntos azules): Se conformó con cinco parcelas de entre 0.5 y 1.0 hectáreas, con un promedio de 0.75 ha, seleccionadas en áreas donde se ha utilizado de manera regular y documentada agroquímicos en la producción de papa. Estos campos fueron elegidos por su accesibilidad y representatividad.
- Muestra control (puntos rojos): Incluyó cuatro parcelas del mismo rango de extensión (entre 0.5 y 1.0 ha), ubicadas en áreas sin evidencia de uso prolongado de agroquímicos. Estas parcelas se seleccionaron por su proximidad a las áreas experimentales para asegurar la comparabilidad.

En total, la muestra se compuso por 7 hectáreas, permitiendo comparar directamente el impacto del uso de agroquímicos en la producción de papa.

4.1.1. Características del suelo

Figura 13. Cadena de custodia para el traslado a laboratorio de muestras control.



4.1.2. Muestras control

4.1.2.1. 1° muestra control

En la primera muestra control, se registró un pH de 5.1, lo que indica una condición moderadamente ácida del suelo. La conductividad eléctrica fue de 4.7 mS/m, clasificada como muy ligeramente salina. El contenido de materia orgánica alcanzó el 5.7%, considerado alto. El análisis de nitrógeno Kjeldahl arrojó 2.56 mg/g, también dentro del rango alto. El fósforo disponible se midió en 20.3 mg/kg, y el potasio disponible en 311.9 mg/kg, ambos en niveles altos. La textura del suelo fue clasificada como franco.

4.1.2.2. 2° muestra control

En la segunda muestra control, el pH fue de 5.1, indicando nuevamente una condición moderadamente ácida. La conductividad eléctrica fue de 2.5 mS/m, valor que corresponde a un nivel normal de salinidad. La materia orgánica presentó un valor del 2.6%, lo que lo sitúa en un rango medio. El nitrógeno Kjeldahl fue de 1.44 mg/g, clasificado como bajo, mientras que el fósforo disponible fue de 11.4 mg/kg, dentro de un rango medio. El potasio disponible se encontró en 74.5 mg/kg, considerado bajo, y la textura del suelo fue franco.

4.1.2.3. 3° muestra control

La tercera muestra control presentó un pH de 5.2, clasificado como moderadamente ácido. La conductividad eléctrica fue de 1.6 mS/m, lo cual indica un nivel normal de salinidad. El contenido de materia orgánica fue del 4.7%, clasificado como alto. El potasio disponible alcanzó los 89.75 ppm (alto), mientras que el fósforo disponible fue de 12.4 mg/kg (medio). El nitrógeno total Kjeldahl fue de 6.63 mg/g (alto). Se clasificó como franco arenoso la textura del suelo, con un 57% de arena, 37% de limo y 6% de arcilla.

4.1.2.4. 4° muestra control

En la cuarta muestra control, el pH fue de 4.8, lo que indica una condición moderadamente ácida. Alcanzó el 3.8 mS/m respecto a la conductividad eléctrica, correspondiente a un nivel normal de salinidad. De la muestra tomada la materia orgánica fue del 6.3%, considerado alto. Respecto al potasio disponible fue de 294.30 ppm (alto), y el fósforo disponible alcanzó los 29.7 mg/kg (alto). El nitrógeno total Kjeldahl fue de 8.88 mg/g, también en un rango alto. La textura del suelo fue clasificada como franco, con un 47% de arena, 35% de limo y 18% de arcilla.

4.1.3. Muestras experimentales

Figura 14. Cadena de custodia para el traslado a laboratorio de muestras experimentales.



4.1.3.1. 1° muestra experimental

En la primera muestra experimental, el pH fue de 4.4, clasificado como fuertemente ácido. La conductividad eléctrica fue de 14.9 mS/m, lo que indica un nivel moderadamente salino. El contenido de materia orgánica fue del 2.6%, dentro del rango medio. El nitrógeno Kjeldahl fue de 1.58 mg/g (bajo), mientras que el fósforo disponible fue de 114.4 mg/kg (alto). El potasio disponible alcanzó los 478.5 mg/kg (alto), y la textura del suelo se clasificó como franco.

4.1.3.2. 2° muestra experimental

En la segunda muestra experimental, el pH fue de 5.0, clasificado como moderadamente ácido. La conductividad eléctrica alcanzó los 14.7 mS/m, indicando una salinidad moderada. El contenido de materia orgánica fue del 2.9%, clasificado como medio. El nitrógeno Kjeldahl fue de 1.86 mg/g (bajo), mientras que sobre la disponibilidad del fósforo fue de 122.1 mg/kg (alto).

La disponibilidad del potasio fue de 509.2 mg/kg (alto), y se clasificó como franco la textura del suelo.

4.1.3.3. 3° muestra experimental

En la tercera muestra experimental, el pH fue de 5.9, dentro del rango moderadamente ácido. La conductividad eléctrica fue de 8.4 mS/m, considerada normal. La muestra alcanzó el 0.5% de materia orgánica, clasificado como bajo. El nitrógeno Kjeldahl fue de 0.61 mg/g (bajo), mientras que el fósforo disponible alcanzó los 65.7 mg/kg (alto). Respecto a la disponibilidad de potasio fue de 45.5 mg/kg (bajo), y se clasificó como franco la textura del suelo.

4.1.3.4. 4° muestra experimental

En la cuarta muestra experimental, el pH fue de 4.4, lo que indica una condición fuertemente ácida. La conductividad eléctrica fue de 18.0 mS/m, clasificada como fuertemente salina. El contenido de materia orgánica fue del 5.7% (alto). El nitrógeno Kjeldahl fue de 2.76 mg/g (alto), mientras que el fósforo disponible alcanzó los 276.8 mg/kg (alto). Respecto a la disponibilidad de potasio fue de 268.5 mg/kg (alto), y se clasificó como franco la textura del suelo.

4.1.3.5. 5° muestra experimental

Finalmente, en la quinta muestra experimental, el pH fue de 4.9, lo que indica una condición moderadamente ácida. La conductividad eléctrica fue de 10.1 mS/m, clasificada como moderadamente salina. Se alcanzó el 2.5% (medio) de materia orgánica, y lo que corresponde al nitrógeno Kjeldahl fue de 1.61 mg/g (bajo). El fósforo disponible alcanzó los 108.5 mg/kg (alto), mientras que la disponibilidad del potasio fue de 294.2 mg/kg (alto). Fue clasificada como franco arcilloso la textura del suelo, con un 34% de arena, 37% de limo y 28% de arcilla.

4.1.4. Agroquímicos empleados

Los agroquímicos usados durante el proceso de cultivo se detallan a continuación:

4.1.4.1. Preparación del terreno

El uso de las herbicidas viene siendo utilizado en áreas extensas para la eliminación de las malezas que dificultan en proceso de roturación y/o trazado del terreno para la siembra, las cuales son usados los siguientes herbicidas:

- ✓ BAZUCA
- ✓ S – BRASSA
- ✓ RALLO 500FW
- ✓ FUEGO

4.1.4.2. Siembra

La siembra generalmente se lleva a cabo en surcos con una separación de entre 0.90 y 1.00 metros, variando según la variedad de papa y los objetivos de producción. El aporte nutricional necesario para el adecuado crecimiento y rendimiento del cultivo se garantiza mediante la aplicación de fertilizantes y/o abonos orgánicos. Los fertilizantes se aplican siguiendo la fórmula de 120-100-80 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), respectivamente. Además, se utilizan calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), junto con micronutrientes como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo).

- ✓ MOLIMAX PAPA SIERRA
- ✓ UREA
- ✓ FOSFORO
- ✓ POTASIO

4.1.4.3. Control de plagas y enfermedades

- ✓ DIMETOMORPH
- ✓ FITOKLIN
- ✓ SPIRIO
- ✓ MANCOZEB
- ✓ HELIOS
- ✓ FASTAC
- ✓ FOLICUR
- ✓ INFINITO

- ✓ ATTACK
- ✓ MILDIU -STOP
- ✓ REZIO 75WP
- ✓ MERTECT

Figura 15. Fungicida agrícola

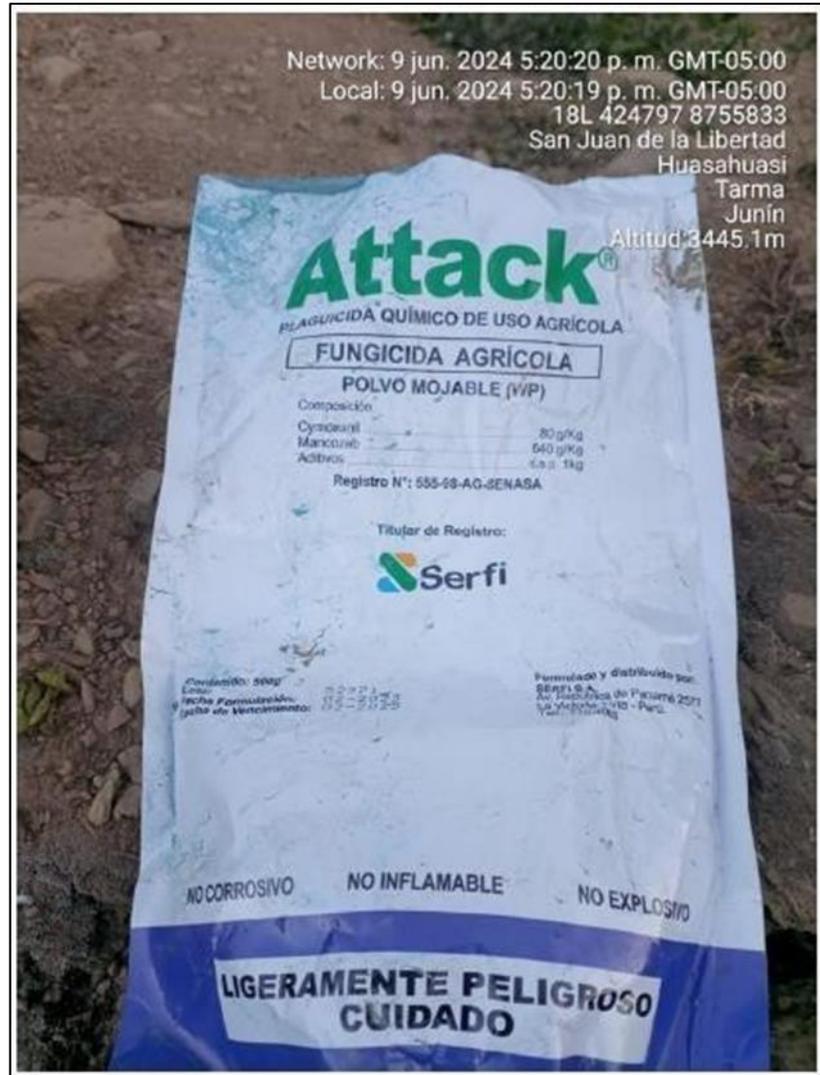
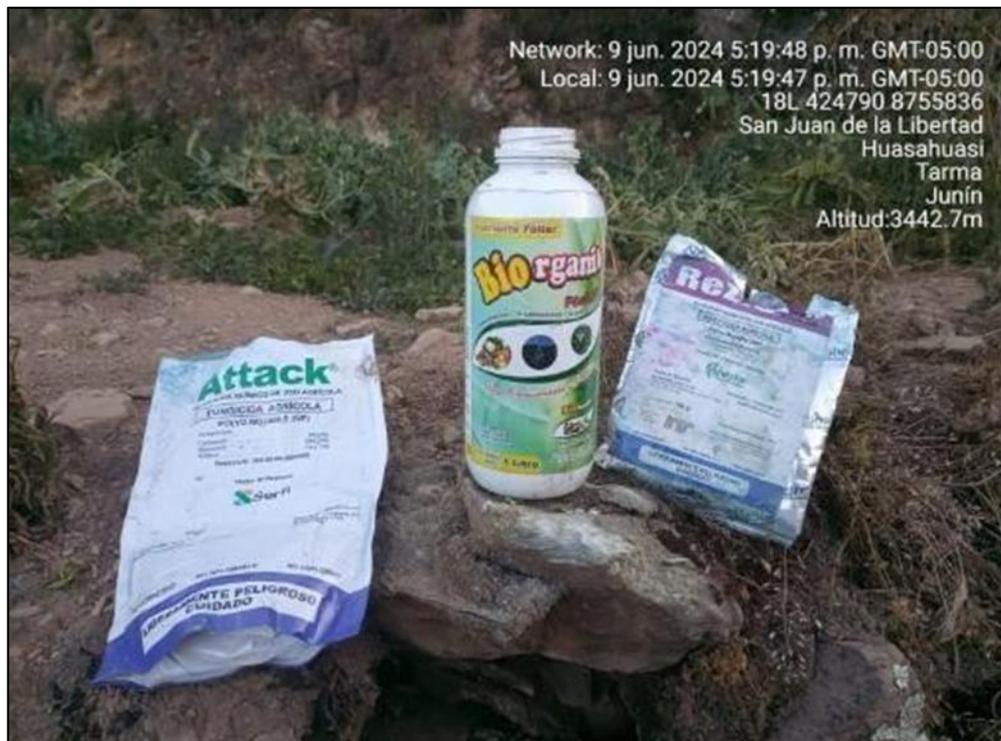


Figura 16. Insecticida agrícola



Figura 17. Agroquímicos empleados



4.1.5. Resultados descriptivos

4.1.5.1. Parámetros físicos

Tabla 7. Frecuencia descriptiva de la textura

		Frecuencia	Porcentaje
Textura —	Franco	7	77.8
	Franco Arenoso	1	11.1
	Francos Arcilloso	1	11.1
	Total	9	100.0

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

La Tabla 7 describe que las muestras tomadas de las áreas agrícolas del distrito de Huasahuasi, el 77.8% de las muestras presentan una textura de tipo franco, y de solo 1.1 de textura franco-arenosa y también franco arcilloso.

Tabla 8. Frecuencia descriptiva del color de suelo Seco

		Frecuencia	Porcentaje
Color de suelo Seco	Marrón	5	55.6
	Amarillento	1	11.1
	Marrón Fuerte	1	11.1
	Marrón Oscuro	2	22.2
	Total	9	100.0

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

La Tabla 8 muestra la frecuencia del color del suelo en estado seco, donde el 55.6% muestra una pigmentación marrón, el 22.2% presenta un color marrón oscuro, el 11.1 presenta un marrón fuerte y por último el 11.1% tiene un color amarillento. Siendo estas las características de color de suelo en estado seco de las parcelas extraídas del distrito de Huasahuasi, Tarma.

Tabla 9. Frecuencia descriptiva del color de suelo Húmedo

	Frecuencia	Porcentaje	
Color de suelo Húmedo	Marrón	1	11.1
	Marrón Fuerte	1	11.1
	Marrón Oscuro	1	11.1
	Amarillo rojizo	1	11.1
	Marrón Amarillento	1	11.1
	Marrón Claro	3	33.3
	Marrón Pálido	1	11.1
	Total	9	100

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

La Tabla 9 presenta los colores de suelo que se encontró de las parcelas extraídas pero en condiciones húmedas, por lo que el 33.3% de la muestra presenta una pigmentación de Marrón Claro, y pues el resto de colores en estado húmedo se hayan en 11.1% cada una, por otro lado se puede observar que hay una escala de colores más amplia y diversa, con escalas de marrón y presencia de la pigmentación amarillenta a rojizo, como características del suelo agrícola del distrito de Huasahuasi, Tarma.

Tabla 10. Descriptivos de la Densidad y Temperatura

	Media	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Densidad (g/cm³)	1.29	1.54	0.87	0.28
Temperatura (C°)	23	27	18	4

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

La Tabla 10 detalla las características centrales de la densidad y temperatura de las parcelas analizadas, encontrando que media de lo que conformó la muestra es de 1.29 g/cm³ respecto a la densidad, así mismo, el mínimo valor fue de 0.87 g/cm³ y como máximo valor fue de 1.54 g/cm³, y con una desviación estándar de 0.28. La temperatura promedio hallada fue de 23 C°, con una mínima temperatura halla en 18 C° y un máximo alcanzado en 27 C° y todo en conjunto con una desviación estándar de 4. De modo que los datos afirman que hay una varianza general

en cuanto a la densidad y temperatura en las parcelas agrícolas extraídas del distrito de Huasahuasi, Tarma.

4.1.5.2. Parámetros químicos

Tabla 11. Descriptivos de los parámetros químicos

	Media	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Ph	4.98	5.9	4.4	0.45
Conductividad Eléctrica (mS/m)	8.74	18	1.6	6.04
Materia Orgánica (%)	3.72	6.3	0.5	1.95
Nitrógeno Kjeldahl (mg/g)	3.1	8.88	0.61	2.77
Fósforo Disponible (mg/kg)	84.59	276.8	11.4	85.06
Potasio Disponible (mg/kg)	262.93	509.2	45.5	167.44

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

En la Tabla 11 es impreso las evidencias de la media del pH es de 4.98, con un rango que varía entre 4.40 y 5.90. Esto indica que el suelo es moderadamente ácido, es importante mencionar que la acidez del suelo puede influir en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo de papa. Respecto al valor promedio de la conductividad eléctrica es de 8.74 mS/m, con un máximo de 18.00 mS/m y un mínimo de 1.60 mS/m, acompañado de una desviación estándar de 6.04 mS/m, en general teniendo el conocimiento que la salinidad del suelo se evalúa a través de la conductividad eléctrica, de modo que unos valores elevados pueden indicar acumulación de sales, lo cual puede ser perjudicial para el crecimiento de la papa, afectando la absorción de agua y nutrientes. Respecto al contenido promedio de materia orgánica es de 3.72%, con un rango que va de 0.50% a 6.30%, es sabido que este nivel de materia orgánica es moderado, pero su importancia es crítica para la fertilidad del suelo, ya que mejora la estructura, retiene agua y nutrientes, y es una fuente importante de nitrógeno y otros elementos esenciales. Respecto al contenido medio de nitrógeno total (Kjeldahl) es de 3.10 mg/g, con un extremo máximo de 8.88 mg/g y un extremo mínimo de 0.61 mg/g, de modo que en conocimiento El nitrógeno es indispensable para el adecuado crecimiento de las estructuras vegetativas de los cultivos,

aunque la media de nitrógeno es adecuada, la alta desviación estándar (2.77 mg/g) indica variabilidad en su distribución. Respecto al fósforo disponible presenta una media de 84.59 mg/kg, con un rango que oscila entre 11.40 mg/kg y 276.80 mg/kg, y una desviación estándar de 85.06 mg/kg, por lo que este nutriente sustenta el desarrollo de las raíces y el crecimiento de tubérculos en el cultivo de papa. Todo se sintetiza en que, los datos obtenidos del laboratorio muestran que los suelos con fines al cultivo de papa tienen una acidez moderada, con una variabilidad considerable en la composición de nutrientes esenciales como ya mencionados el nitrógeno, fósforo y potasio. Esto sugiere que sería beneficioso implementar estrategias de manejo de fertilización específicas para las diferentes áreas del terreno, bajo el propósito de corregir las deficiencias respecto a los nutrientes y optimizar las condiciones para la producción de papa. Además, la conductividad eléctrica no parece ser un problema grave en términos de salinidad, pero debería seguirse de cerca para evitar problemas en el futuro.

4.1.6. Prueba de hipótesis

4.1.6.1. Prueba de normalidad

Tabla 12. Prueba de normalidad de los parámetros físicos

T	<u>Shapiro-Wilk</u>			
		Estadístico	gl	Sig.
Textura	Control	0.630	4	0.001
	Experimental	0.552	5	0.000
Color Seco	Control	0.863	4	0.272
	Experimental	0.684	5	0.006
Color Humedad	Control	0.993	4	0.972
	Experimental	0.676	5	0.005
Densidad (g/cm ³)	Control	0.767	4	0.055
	Experimental	0.962	5	0.823
Temperatura (C°)	Control	0.945	4	0.683
	Experimental	0.771	5	0.046

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

Como se detalla en la Tabla 12 que la mayoría de los parámetros no siguen una distribución normal, por lo que en conjunto se procedió a realizar una prueba no paramétrica.

Tabla 13. Prueba de normalidad de los parámetros químicos

t	Shapiro-Wilk			
		Estadístico	gl	Sig.
pH	Control	0.840	4	0.195
	Experimental	0.810	5	0.098
Conductividad Eléctrica (mS/m)	Control	0.975	4	0.871
	Experimental	0.902	5	0.423
Materia Orgánica (%)	Control	0.928	4	0.584
	Experimental	0.912	5	0.483
Nitrógeno Kjeldahl (mg/g)	Control	0.924	4	0.560
	Experimental	0.950	5	0.734
Fósforo Disponible (mg/kg)	Control	0.892	4	0.393
	Experimental	0.788	5	0.064
Potasio Disponible (mg/kg)	Control	0.868	4	0.291
	Experimental	0.923	5	0.548

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

Respecto a los parámetros físicos de la Tabla 13 detalla que la mayoría de los factores muestran una distribución normal, por lo que se determinó que se usen estadísticos paramétricos.

4.1.6.2. Prueba de la primera hipótesis específica

A. Hipótesis formulada

El uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

B. Estadístico de prueba

Tabla 14. Prueba de diferencias de medianas parámetros físicos

	Textura	Color Seco	Color Humedad	Densidad (gcm ³)	Temperatura (C°)
U de Mann-Whitney	10.000	9.000	4.000	3.000	0.000
W de Wilcoxon	25.000	19.000	14.000	13.000	10.000
Z	0.000	-0.270	-1.495	-1.715	-2.502
Sig. asintótica(bilateral)	1.000	0.787	0.135	0.086	0.012
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	1,000 ^b	0,905 ^b	0,190 ^b	0,111 ^b	0,016 ^b

C. Conclusión

Según la Tabla 14 los parámetros físicos no muestran significancia, excepto el parámetro de Temperatura, sin embargo, los resultados de laboratorio muestran diferencias directas tras la comparación del suelo virgen y el suelo con agroquímicos, Las muestras experimentales muestran mayor salinidad (promedio 13.22 mS/m vs. 3.15 mS/m), menor materia orgánica (2.84% vs. 4.83%) y nitrógeno (1.68 mg/g vs. 4.88 mg/g), pero niveles más altos de fósforo (137.5 mg/kg vs. 18.45 mg/kg) y potasio (319.18 mg/kg vs. 192.61 mg/kg). Además, presentan mayor acidez (pH promedio 4.92 vs. 5.05) y una textura con más arcilla (28% vs. 6%) comparado con las muestras control. De modo que se acepta la hipótesis dado que los agroquímicos afectan de manera directa los parámetros físicos, desde el factor de la textura, color de suelo, densidad y más notable en la temperatura de los suelos dedicados al cultivo de papa.

4.1.6.3. Prueba de la segunda hipótesis específica

A. Hipótesis formulada

El uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.

B. Estadístico de prueba

Tabla 15. Prueba t de los parámetros químicos

Prueba t para la igualdad de medias								
		T	gl	Sig. (bilateral)	Dif. de medias	Dif. de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
pH	var. =	0.98	7.00	0.36	10.30	10.48	-14.48	35.08
	var. ≠	1.11	4.07	0.33	10.30	9.26	-15.23	35.83
Conductividad Eléctrica (mS/m)	var. =	-2.44	7.00	0.04	-68.30	27.95	-134.40	-2.20
	var. ≠	-2.73	4.64	0.04	-68.30	25.03	-134.20	-2.40
Materia Orgánica (%)	var. =	1.68	7.00	0.14	19.85	11.82	-8.10	47.80
	var. ≠	1.71	6.90	0.13	19.85	11.62	-7.71	47.41
Nitrógeno Kjeldahl (mg/g)	var. =	2.03	7.00	0.08	319.35	157.60	-53.32	692.02
	var. ≠	1.80	3.23	0.16	319.35	177.23	-222.20	860.90
Fósforo Disponble (mg/kg)	var. =	-2.89	7.00	0.02	-1190.50	411.87	-2164.41	-216.59
	var. ≠	-3.27	4.11	0.03	-1190.50	364.23	-2191.17	-189.83
Potasio Disponble (mg/kg)	var. =	0.42	7.00	0.69	753.70	1813.97	-3535.67	5043.07
	var. ≠	0.39	4.34	0.72	753.70	1949.41	-4496.81	6004.21

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

C. Conclusión

La Tabla 15 detalla los niveles de significancia por medio de la prueba t, respecto a los parámetros químicos en la comparación entre suelo virgen y aquel afectado por agroquímicos, en consecuencia, el estadístico muestra algunos parámetros significativos, como el nitrógeno, el fósforo y la conductividad eléctrica, y el resto de parámetros no tienen significancia, sin embargo, los datos obtenidos del laboratorio denotan que el uso de agroquímicos afecta directamente a los parámetros químicos de los suelos, marcando diferencias en los suelos no expuestos y aquellos que si fueron afectados por agroquímicos por motivos de aumentar la productividad de sus cosechas o buscar un cambio en el resultado del cultivo de papa.

4.1.6.4. Prueba de hipótesis general

A. Hipótesis formulada

El impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma es significativo, manifestándose en cambios en los parámetros físicos y químicos del suelo.

B. Conclusión

Según lo interpretado en los numerales 4.1.4.2 y 4.1.4.3, cuales pertenecen a la evaluación de hipótesis específicas, por lo que se notaron tras los resultados hay cambios significativos en los parámetros físicos, respecto a la temperatura de los suelos, que al incrementar agroquímicos a los suelos agrícolas se presencia cambios significativos de temperaturas, entre un suelo virgen y aquel afectado. Por otro lado, respecto a los parámetros químicos, los suelos tratados con agroquímicos presentan menor pH, mayor conductividad eléctrica y niveles elevados de fósforo y potasio en comparación con los suelos vírgenes, que además muestran mayor materia orgánica y nitrógeno. Esto indica que el uso intensivo de agroquímicos altera significativamente las propiedades del suelo, afectando su calidad y fertilidad (ver Tabla 16).

Tabla 16. Tabla comparativa de concentración química entre la muestra experimental y de control

Parámetro	Valor Promedio en Muestras Control	Valor Promedio en Muestras Experimentales
	5.05	4.92
pH	(moderadamente ácido)	(moderadamente ácido a fuertemente ácido en algunos casos)
	3.15	
Conductividad Eléctrica (mS/m)	(normal, muy ligeramente salina)	13.22 (elevada)
	18.45	137.5
Fósforo Disponible (mg/kg)	(medio)	(muy alto)
	192.61	319.2
Potasio Disponible (mg/kg)	(medio)	(alto)

Nota: obtenido del proceso de datos de los resultados de laboratorio

4.2. Discusión de resultados

Como resultado general, se verificó que el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa es significativo, ya que se manifestaron cambios en los parámetros físicos y químicos. Según los valores de referencia para análisis de suelo del gobierno argentino los suelos tratados muestran un pH promedio de 4,92 (ideal: 5,0–6,0) y una conductividad de 13,22 dS/m (valor normal <2–8 dS/m). La materia orgánica y el nitrógeno son bajos (2,84% y 1,68 mg/g), mientras que fósforo y potasio se acumulan excesivamente (137,5 y 319,2 mg/kg, respectivamente). Estos desequilibrios evidencian una degradación significativa de la calidad y fertilidad del suelo. Dicho resultado se asemeja con los de Cotrina et al. (9), en el 2021, dado que, analizaron como los agricultores sabían utilizar y manejar los productos químicos en el cultivo de la patata, estos cultivadores dijeron que mezclaban los productos químicos en cantidades comprendidas entre 100 y 750 g por depósito de 200 litros. Basándose en lo que sabían por experiencia, el 51% de los cultivadores de patatas utilizaban productos fitosanitarios para deshacerse de las distintas plagas que atacaban el cultivo. Un número muy elevado de cultivadores (64%), dijo no conocer ninguna forma de controlar las plagas y

enfermedades que no implicara el uso de productos químicos. Por tanto, los agricultores conocían y utilizaban productos químicos para mantener sanos los campos de patatas, además, el uso lo hacían mezclando los productos químicos en grandes cantidades, efectuando cambios en los parámetros químicos y físicos. Por su lado, Guevara (10), al averiguar cómo cambiaba el número de problemas fitosanitarios cuando un productor de patatas utilizaba productos químicos para controlarlos, los resultados mostraron que plantar el cultivo durante la estación seca hacía que las enfermedades fúngicas fueran menos comunes, pero aumentaba el número de casos de *Phthorimaea operculella*. El uso inteligente de insecticidas como el Benzoato de emamectina y el Dimetoato, entre otros, permitió una cura rápida y eficaz. Cuando se utilizaron insecticidas a base de Ethoprophos durante la fase de plantación, se redujo el número de *Cricodemella* sp en un 78% *Pratylenchus* sp en 25% y *Globodera* spp en un 86%. De ello, la correcta gestión de los plaguicidas y la elección de la estación de crecimiento adecuada pueden ayudar a deshacerse de las enfermedades fúngicas y las plagas, lo que hace que el cultivo de la patata sea más eficiente y rentable.

Seguido en esta línea, Rojas et al. (11) en el 2019, tomaron muestras de suelo al principio, a la mitad y al final del ciclo de crecimiento de los cultivos de ciclo corto estudiados de siembra de papa. Con 26.7 mg/kg de residuos totales y una frecuencia de detección del 100%, los resultados mostraron que la etapa intermedia exhibía la mayor concentración y diversidad de sustancias químicas. Paraquat (15 mg/kg), carbendazim (8mg/kg), mancozeb (3.7 mg/kg) y carbofurano (1,2mg/kg) fueron las sustancias químicas más destacadas que se encontraron. Las dosis calculadas de exposición diaria eran de 1.5, 0.8, 0.37 y 0.12 g/día, todas inferiores a los niveles máximos de ingesta tolerables. Por lo mencionado, los residuos de plaguicidas en los suelos de la microcuenca variaban en concentración y tipo en función de la fase del cultivo, con la excepción del carbendazim, cuyos niveles se mantenían estables durante todo el periodo de producción, lo que sugería un posible uso excesivo. Y, Oré et al. (12), al caracterizar tres suelos agrícolas utilizados para el cultivo de patatas, guisantes y avena. El sistema de guisante presentó una textura franco-arcillosa, una densidad aparente típica y una resistencia a la penetración fuerte. El sistema de la patata y el de la avena presentaban texturas margosas, densidades aparentes normales y una resistencia alta a la penetración. Los indicadores químicos para el guisante fue el más neutro, mientras que el de patatas y avena fue el más ácido. En los tres contextos, la materia orgánica y el fósforo se encontraban en niveles bajos o medios, el nitrógeno en niveles medios y el potasio en niveles bajos. La densidad de especies fue de 15 ind/m² y la biomasa de 5,3 g/m² en el sistema de cultivo de patatas, mientras que fue de 11 ind/m² y 3,1 g/m² en el sistema de cultivo de avena. El estudio concluyó que el sistema con

cultivo de papa presentó mayor densidad y biomasa de especies, mientras que los valores más bajos se reportaron en suelos con cultivos de avena, verificando que si hubo una modificación en los parámetros físicos y químicos.

Con respecto a los postulados teóricos, INIA afirma que el uso de agroquímicos es la práctica agrícola que implica la aplicación de productos químicos, tales como plaguicidas y fertilizantes, con el propósito de mejorar el crecimiento y la salud de los cultivos. Este enfoque también busca proteger las plantas de posibles daños causados por plagas y enfermedades (7). En la actualidad, Pacheco e Itati, señalan que una gran variedad de estructuras químicas está relacionada con los productos agroquímicos, que se utilizan ampliamente en respuesta a la frecuente aparición de plagas agrícolas. Lamentablemente, numerosas empresas emplean estos productos sin tener debidamente en cuenta el daño potencial que pueden infligir tanto a la salud humana como al medio ambiente. El uso inadecuado, la falta de responsabilidad y el desprecio ocasional por las medidas de seguridad agravan las consecuencias adversas asociadas a los productos agroquímicos (18). Una de estas consecuencias se deriva a las características físicas del suelo, las cuales se refieren a la estructura y composición del suelo que repercuten en su capacidad para retener y distribuir agua, nutrientes y productos agroquímicos. Los criterios mencionados abarcan atributos como la textura del suelo, la densidad aparente, la porosidad, la resistencia a la penetración y la temperatura (27). Asimismo, a los parámetros químicos, los cuales están estrechamente relacionados con las características químicas del suelo, que tienen un impacto directo en varios aspectos como las interacciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Los factores englobados en esta categoría comprenden el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, las concentraciones de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno, fósforo, potasio), la conductividad eléctrica y la existencia de contaminantes químicos (27).

Como 1er resultado específico, se halló que el uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa. Dicho hallazgo fue semejante al de Shaw y Topno (13), estos autores averiguaron cuánto sabían los agricultores sobre cómo afectaba al medio ambiente el uso de agroquímicos en el cultivo de la patata; el 65,6% sabía que el uso de fertilizantes en los campos de cultivo puede hacer que la tierra pierda sus nutrientes. El 2,7% hacía análisis del suelo para ver su fertilidad. Por otra parte, la cantidad de productos químicos utilizados depende de factores como el tipo de patata, el número de plagas y la presencia de enfermedades de las plantas. A menudo se utilizaban cantidades de insecticidas superiores a las recomendadas. Esto se debe sobre todo a que no sabían qué hacer y pensaban que así los productos químicos actuarían más rápidamente. El 70% de los agricultores había

observado que las plagas eran resistentes a los productos químicos. Alrededor del 32,5% de los agricultores dijeron que utilizaban biofertilizantes e insecticidas a base de plantas. Alrededor del 58,7% de los agricultores dijeron que rotaban sus cultivos. En suma, existía un grado significativo de conciencia entre los agricultores en lo que respecta a la pérdida de fertilidad del suelo y el uso de fertilizantes, pero no se usan con frecuencia, ya que modifican los parámetros físicos del suelo.

Asimismo, Jiménez (14), concuerda en que, el uso de agroquímicos en ambas microcuencas demostró la presencia de restos de pesticidas en la tierra. Estos residuos incluían compuestos organoclorados y organofosforados. Las muestras procedían de suelos de textura media y composición limosa que podían retener y absorber el agua. A su vez, esto hacía que la tierra fuera menos permeable, lo que ayudaba a que los compuestos químicos se acumularan y no se movieran. Se observó un cambio en el pH, que mostraba que la tierra estaba en el rango normal (pH=6.6), lo que significa que sus propiedades químicas también habían cambiado. Había menos de un organismo de las familias Nematoda y Arcella sp. por gramo de suelo, lo que significa que el suelo era biológicamente denso. Entonces, el uso de agroquímicos para cultivar patatas perjudica las características físicas, químicas y biológicas del suelo; lo cual tiene efectos sobre la salud y la fertilidad del suelo agrícola. No obstante, Flores (15) identificó cómo afectaba el uso de plaguicidas a la calidad del suelo en los sistemas de cultivo de patatas, de ello, las pruebas mostraron que el suelo tenía una textura franca arcillo arenosa, lo que facilitaba el lavado de los venenos cuando había agua. La humedad del suelo se encontraba en un rango moderado. El pH era de 5,42, y la conductividad eléctrica era de 0,14 ds/m. La cantidad de plomo encontrada fue de 87,03 ppm, superior a la permitida. La cantidad de cadmio encontrada fue de 0,09 ppm, que también está dentro de lo permitido y no afectaba al suelo. También se observó que había microorganismos buenos para la calidad del suelo. También se observó que se superaba el número estándar de unidades formadoras de colonias, lo que significa que había microorganismos buenos para la calidad del suelo. La investigación concluyó que el uso de plaguicidas no ejerció influencia en la calidad física, química ni biológica del suelo. A partir de ello, se discrepa de los hallazgos de la tesis.

Este resultado concuerda con la teoría establecida por Nuñez et al., quienes afirman que las características físicas se refieren a la estructura y composición del suelo que repercuten en su capacidad para retener y distribuir agua, nutrientes y productos agroquímicos. Los criterios mencionados abarcan atributos como la textura del suelo, la densidad aparente, la porosidad, la resistencia a la penetración y la temperatura (27). Sin embargo, ante los componentes agroquímicos en la siembra de papa, se altera la textura del suelo, así como el color, la densidad

aparente del suelo y la temperatura del suelo. Ya que los componentes agroquímicos, como plaguicidas y fertilizantes generan toxicidad en el suelo. Los agroquímicos, como los fertilizantes, el estiércol animal y los pesticidas, son algunas de las causas agrícolas de la contaminación del suelo. Los metales como el cobre (Cu), el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) que se encuentran en estos productos agroquímicos también se denominan contaminantes del suelo porque pueden alterar el funcionamiento de las plantas y hacer que los cultivos sean menos productivos. Además, las fuentes de agua que se utilizan para regar pueden contaminar la tierra, sobre todo si contienen aguas residuales de granjas, fábricas o ciudades (21).

Como 2do resultado específico, se certificó que el uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa. Este hallazgo concuerda con lo identificado por Anaya (16), ya que identificó los impactos ambientales derivados de la producción de papa, sus resultados mostraron que la cantidad media de N era del 0,12%, los niveles de P y K eran de 15,54 ppm y 88,1 ppm, respectivamente. Los métodos de cultivo utilizados para deshacerse de plagas y enfermedades tenían efectos negativos en el medio ambiente, especialmente en medios orgánicos como las plantas de patata. El análisis de cromatografía de las papas descubrió que el 55,6% de las muestras tenían niveles de residuos de organofosfatos superiores a los 0,05 ppm permitidos. Esto se debía a que se habían utilizado demasiados herbicidas en las plantas. De ello, el cultivo de patatas en el periodo y el lugar analizados tenía efectos negativos en el medio ambiente del suelo debido a la mala gestión de los residuos agrícolas, el uso de demasiados fertilizantes y la pulverización de demasiados pesticidas en los cultivos, verificando que el uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa.

En tanto, Bautista (17), halló que las propiedades fisicoquímicas del suelo eran diferentes en los lugares que habían sido fumigados antes y después en comparación con el suelo de control. Encontró siete bacterias y siete hongos, a las que la realizaron pruebas de degradación como parte del estudio. Realizó pruebas durante quince días y los resultados mostraron que las bacterias se deshicieron del 54%, 71% y 56% del carbofurano, mientras que los hongos se deshicieron del 57%, 73% y 81,6% del producto químico. Asimismo, se observó que el grupo microorganismos fue capaz de deshacerse del 91,7% del pesticida presente en el suelo en el mismo periodo de tiempo. Entonces, la tierra estudiada presentaba las condiciones fisicoquímicas adecuadas para sustentar una amplia gama de bacterias y hongos que podían sobrevivir a químicos como el carbofurano. Por su lado, Aguilar et al. (18), al examinar las repercusiones socioambientales del sistema de producción de patatas, halló que los atributos

físicos, químicos y biológicos del suelo sufrieron modificaciones, ya que el 94% de los productores aplicaban productos agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas. La degradación de la calidad del aire se identificó como consecuencia de las aplicaciones foliares de plaguicidas, que se realizaron con una frecuencia media de cada 15 días. El mayor impacto observado fue la disminución de las especies florísticas de la región, según el 23,5% de los agricultores, que citaron la tala de bosques para el cultivo de la patata. Además, la fauna experimentó la disminución más significativa de la biodiversidad como consecuencia de los efectos producidos por la aplicación de plaguicidas foliares al cultivo. En conclusión, la investigación puso de relieve que la industria de la patata contribuía significativamente a la degradación de los ecosistemas de páramo, por lo que era necesario adoptar estrategias de desarrollo agrícola sostenibles para mitigar las consecuencias socioambientales. Y, Guzmán (19) demostró que, las propiedades del suelo, resultados para el suelo sin agroquímicos revelaron un pH de 5.24, densidad aparente de 0.95 g/cm³, humedad del 81%, y materia orgánica del 8.55%. Por otro lado, los resultados promedio para el suelo con agroquímicos fueron un pH de 5.71, densidad aparente de 1.16 g/cm³, humedad del 66.45%, y materia orgánica del 3.94%. Ambos suelos presentaron una textura arcillosa. Por tanto, los suelos de la localidad de Lavadero estaban afectados de forma moderada a grave.

Finalmente, desde el aspecto teórico, este hallazgo concuerda con el de Núñez et al., quienes mantienen el sustento de que los indicadores químicos están estrechamente relacionados con las características químicas del suelo, que tienen un impacto directo en varios aspectos como las interacciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Los factores englobados en esta categoría comprenden el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, las concentraciones de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno, fósforo, potasio), la conductividad eléctrica y la existencia de contaminantes químicos (27). Ello, al usar agroquímicos, se alteran estos indicadores, por tanto, los agroquímicos, como los fertilizantes, el estiércol animal y los pesticidas, son algunas de las causas agrícolas de la contaminación del suelo. Los metales como el cobre (Cu), el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) que se encuentran en estos productos agroquímicos también se denominan contaminantes del suelo porque pueden alterar el funcionamiento de las plantas y hacer que los cultivos sean menos productivos. Además, las fuentes de agua que se utilizan para regar pueden contaminar la tierra, sobre todo si contienen aguas residuales de granjas, fábricas o ciudades (21).

CONCLUSIONES

Según el fin general, al analizar el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma, se verificó el impacto directo y significativo del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa; debido a que, hay cambios significativos en los parámetros físicos (sig.=0.012), respecto a la temperatura de los suelos (media de 23, entre un valor min de 18 al valor máximo de 27), que al incrementar agroquímicos a los suelos agrícolas se presencia cambios significativos de temperaturas, entre un suelo virgen y aquel afectado. Así como, en los parámetros químicos (sig.=0.020 a 0.080), hay cambios significativos en los parámetros como el nitrógeno (media de 3.10, entre un valor min de 0.61 al valor máximo de 8.88), el fósforo (media de 84.59, entre un valor min de 11.40 al valor máximo de 276.80) y la conductividad eléctrica (media de 3.72, entre un valor min de 0.50 al valor máximo de 6.30) de los suelos, observando esto también en los resultados de laboratorio, demostrando que al agregar agroquímicos hay una manifestación de cambios significativos en el suelo una vez aplicados las soluciones contaminando el suelo agrícola en la producción de papa.

Según el 1er fin específico, se identificó directa y significativa del uso de agroquímicos en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma (sig.=0.012); dado que, los resultados de laboratorio muestran diferencias directas tras la comparación del suelo virgen y el suelo con agroquímicos, de modo que se acepta la hipótesis dado que los agroquímicos afectan de manera directa los parámetros físicos, desde el factor de la textura (77.8% franco), color de suelo (55.6% marrón), densidad (media de 1.29) y más notable en la temperatura (media de 29) de los suelos agrícolas destinados a la producción de papa.

Según en 2do fin específico, se investigó el efecto directo y significativo del uso de agroquímicos en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma (sig.=0.020 a 0.080); a razón de que, algunos parámetros significativos, como el nitrógeno (media de 3.10), el fósforo (media de 84.59) y la conductividad eléctrica (media de 8.74), y el resto de parámetros no tienen significancia, sin embargo, los datos obtenidos del laboratorio denotan que el uso de agroquímicos afectan directamente a los parámetros químicos de los suelos, marcando diferencias en los suelos no expuestos y aquellos que si fueron afectados por agroquímicos por motivos aumentar la productividad de sus cosechas o buscar un cambio en el resultado del cultivo de papa.

RECOMENDACIONES

A las autoridades del distrito de Huasahuasi, considerar los hallazgos logrados de la aplicación de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola al sembrar papa. Ello permitirá que identifiquen los riesgos que origina dichos componentes en las propiedades químicas y físicas del suelo. evitando la alteración del suelo.

A los agricultores de Tarma, mantenerse informados sobre las consecuencias que originan los agroquímicos en los parámetros físicos, como textura, color, densidad y temperatura, para seleccionar con mayor pertinencia el tipo de químico que no causa daños muy severos en los cultivos de papa.

A los estudiantes, ahondar y promover más estudios sobre el impacto de los agroquímicos en los parámetros químicos, evitando su consumo en la comunidad agrícola, por la variación del pH del suelo, materia orgánica, nitrógeno, fosforo, potasio y conductividad eléctrica del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FUNDACIÓN HEINRICH BÖLL; *Amigos de la Tierra*; PAN Europa. Atlas de los Pesticidas. Hechos y cifras sobre químicos tóxicos en nuestra agricultura. Primera ed.: Fundación Heinrich Böll; 2023.
2. INGEMMET. *Valle del río Mantaro: Una de las principales fuentes de suelos con fines multipropósito*. [Online]; 2022. Acceso 14 de Noviembre de 2023. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/ingemmet/noticias/587519-valle-del-rio-mantaro-una-de-las-principales-fuentes-de-suelos-con-fines-multiproposito>.
3. FAO y PNUMA. *Evaluación mundial de la contaminación del suelo – Resumen para los formuladores de políticas*. Roma.978-92-5-135794-1.
4. FAO. *Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta*. [Online]; 2020. Acceso 15 de Noviembre de 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>.
5. CEPAL. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*. San José, Costa Rica.978-92- 9248-866-6.
6. CÁMARA DE COMERCIO DE LIMA. *La importancia de los agroquímicos para el agro peruano*. [Online]; 2022. Acceso 14 de Noviembre de 2023. Disponible en: <https://lacamara.pe/la-importancia-de-los-agroquimicos-para-el-agro-peruano/>.
7. INIA. *Manual Técnico*. Manejo integrado del cultivo de la papa. Primera ed. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); 2020.
8. MINAM. *Guía para Muestreo de Suelos*. En el marco del Decreto Supremo N° 002- 2013-MINAM, Estándares de Lima: Ministerio del Ambiente; 2014.

9. COTRINA GG, ESTEBAN ED, HUANHUAYO KM. *Uso de Plaguicidas Químicos en el cultivo de Papa (Solanum tuberosum L), su relación con Medio Ambiente y la Salud*. 2021;5(2): p. 1-22.
10. GUEVARA G. *Frecuencias y concentraciones de agroquímicos y su impacto en los costos de producción del cultivo de papa*. 2021; 7(2).
11. ROJAS JA, BENITEZ PR, RIVAS EA, MIRANDA L. *Plaguicidas en suelos de uso agrícola y riesgo de exposición en la microcuenca los Zarzales, municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela*. 2019; 35(2): p. 307-315.
12. ORÉ LE, CALLIRI MS, RENGIFO JP, LOARTE WC. *Evaluación de los indicadores fisicoquímicos y biológicos del suelo en sistemas de uso agrícola: arveja, papa y avena en la provincia de Chupaca – Junín, 2022*. 2022; 2(1): p. 105-124.
13. SHAW M, TOPNO S. *Pesticides use in potato cultivation: A sample survey study from the Hooghly district, West Bengal, India*. 2022; 5(2): p. 5668-5675.
14. KROSCHELI J, ALCÁZAR J, CALEDO V. *Producción de papa orgánica en la región andina del Perú: el manejo integrado de plagas lo hace posible*. 2013; 1(1): p. 165-181.
15. INIA. *Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de papa*. Primera ed. Cajamarca: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Estación Experimental Agraria Baños del Inca - Cajamarca; 2013.
16. SENASA. *Guía para la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para el cultivo de Papa Lima: Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA); 2020*.

17. PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA); Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA). *Uso seguro de Plaguicidas e Insumos agrícolas Medellín: Comunicaciones AUGURA; 2009.*
18. PACHECO MR, ITATIE. *Manual de uso seguro y responsable de agroquímicos en cultivos frutihortícolas Bella Vista, Corrientes: Ediciones INTA; 2017.*
19. MINAGRI. *Reglamento del Sistema Nacional de Plaguicidas de Uso Agrícola.* Lima.
20. BEDMAR F, WOLANSKY MJ, MARTÍNEZ A, FERRARO D, Rositano F. *Informe especial sobre plaguicidas agrícolas.* 2011; 21(122).
21. RODRÍGUEZ N, MCLAUGHLIN M, PENNOCK D. *La contaminación del suelo: Una realidad oculta Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); 2019.*
22. DÍAZ O, BETANCOURT CR. *Los pesticidas; clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión.* 2018; 6(2): p. 14-30.
23. AKASHE M, PAWADE U, ASHWIN N. *Classification of pesticides: a review.* 2018; 9(4): p. 144-150.
24. STENERSEN J. *Chemical pesticides: mode of action and toxicology Boca Raton, Florida: CRC Press; 2005.*
25. FAO. *Los fertilizantes y su uso Washington D.C. : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); 2002.*
26. BRACAMONTES L, FUENTES M, RODRÍGUEZ LM, MACEDAS J. *Manual de indicadores biológicos de la salud del suelo. Primera ed.: Universidad Autónoma Metropolitana; 2018.*

27. NUÑEZ JL, PÉREZ J, PRADO JV. *Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México*. 2022; 14(6): p. 1-14.
28. PHOGATH, V., TOMAR, Dahiya R. *Soil Science: An Introduction.: Indian Society of Soil Science*; 2015.
29. USDA. *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo Washington DC*: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA); 1999.
30. FOTH H. *Fundamentals of soil science*. Octava ed. Michigan: Wiley; 2009.
31. ESPINOZA L, SLATON N, MOZAFFARI M. *Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos*. Arkansas.
32. FAO. *The importance of organic soil matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production* Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2005.
33. ROJAS J, MÓRTOLA N, ROMANIUK R, RUSSO E. *Guía para evaluación de la calidad de suelos bajo agricultura en chaco subhúmedo Buenos Aires*: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); 2019.
34. CASTILLO S, ÑIQUE M. *Soil macrofauna as biological indicator of the state of conservation in agroforestral systems of the sector el Choclino in San Martín - Peru*. Revista Tayacaja. 2019; 2(2): p. 46-62.
35. CALLIRIM. *Indicadores físicos químicos y biológicos del suelo en tres sistemas de uso Centro Poblado Menor Huarisca Grande, distrito Ahuac, provincia Chupaca - Junín*. Tesis de grado. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de La Selva, Facultad de recursos naturales renovables.
36. MUÑOZ C. *Metodología de la investigación*. Primera edición ed. México D.F.: Progreso S.A; 2015.
37. BERNAL CA. *Metodología de la investigación*. Tercera ed. Palma O, editor. Bogotá: Pearson Educación; 2010.

38. ESCOBAR P, ASTUÑAUPA S, HUANCA W. *Metodología de la investigación científica Huancayo*: Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú; 2015.

39. SANTOS ED, GERALDO LA, TITO PL. *Metodología y herramientas de investigación científica*. Primera ed. Ponta Grossa-Paraná: Atena Editora; 2022.
40. SALAZAR C, DEL CASTILLO S. *Fundamentos básicos de estadística* Quito: Cámara Ecuatoriana del Libro; 2018.
41. ESPINOZA C. *Metodología de investigación tecnológica Huancayo*: Imagen Gráfica SAC; 2010.

ANEXOS

Anexo A: Instrumento de recolección de datos

UNIVERSIDAD CONTINENTAL			
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
			
FICHA DE OBSERVACIÓN			
PROYECTO:	CONTAMINACIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA POR EL USO DE AGROQUÍMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA, DISTRITO HUASAHUASI, TARMA		
VARIABLE INDEPENDIENTE	Contaminación del suelo		
TÉCNICA:	Observación		
LUGAR:			
FECHA:			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
Características	Descripción y/o valor		
Textura	< 0.002: Arcilla	0.002 - 0.05: Limo	0.05 - 2.0: Arena
Color	Amarillo	Rojo	Oscuro
Densidad aparente (g/cm³)			
Temperatura del suelo (°C)			

PARÁMETROS QUÍMICOS

Indicadores	Descripción y/o valor		
PH del suelo	Acido<7	Neutro=7	Alcalino>7
Contenido de materia orgánica (%)	Bajos:<0.5	Deseable:>2%	
Nitrógeno total (%)	Bajo:<0.05	Normal:0.05 a 0.30	Alto:>0.30
Fósforo disponible (ppm)			
Alto:>50			
Óptimo: 36-50			
Medio:26.35			
Bajo: 16-25			
Muy bajo: <16			
Potasio disponible (ppm)			
Alto:>175			
Óptimo: 131-175			
Medio:91-130			
Bajo: 61-90			

Muy bajo: <61	
Conductividad eléctrica (uS/cm)	
< 500, buen desarrollo	
500-1000, aparición de problemas en algunos cultivos	
> 1000, dificultades en muchos cultivos	
MARCADORES BIOLÓGICOS	
Marcadores	Descripción y/o valor
Biomasa de la macrofauna (g/m ²)	
Densidad de la macrofauna (individuos/m ²)	

Anexo B: Matriz de consistencia

Título: CONTAMINACIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA POR EL USO DE AGROQUÍMICOS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA DEL DISTRITO DE HUASAHUASI, TARMA.

Autores: Bach. Chavez Ccanto, Angela Cyntia; Bach. Sucño Carrasco, Saul

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿Cuál es el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma?</p> <p>Problemas Específicos: •¿Cómo influye el uso de agroquímicos a los parámetros físicos del suelo agrícola</p>	<p>Objetivo General: Analizar el impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.</p> <p>Objetivos Específicos:</p>	<p>Hipótesis General: Ho: El impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma no es significativo, ya que no se manifiestan cambios en los parámetros</p>	<p>VD: Contaminación del suelo D1: Parámetros Físicos - Textura - Humedad - Color - Densidad aparente - Temperatura del suelo D2: Parámetros químicos - PH del suelo - Contenido de materia orgánica - Nitrógeno total - Fósforo disponible - Potasio disponible - Conductividad eléctrica</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Explicativo</p> <p>Método General: Método científico</p> <p>Método específico: Hipotético deductivo</p> <p>Diseño: Experimental</p>	<p>Población: Suelos agrícolas en el distrito de Huasahuasi, Tarma utilizados en la producción de papa</p> <p>Muestra: 2 muestras de suelo (suelo con uso de agroquímicos y suelo sin presencia de</p>	<p>Técnicas: Observación</p> <p>Instrumentos: Ficha de observación</p>

<p>de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma?</p> <p>•¿Cómo afecta el uso de agroquímicos en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma?</p>	<p>•Identificar la influencia del uso de agroquímicos en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.</p> <p>•Investigar el efecto del uso de agroquímicos en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.</p>	<p>físicos, químicos del suelo.</p> <p>Ha: El impacto del uso de agroquímicos en la contaminación del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma es significativo, manifestándose en cambios en los parámetros físicos, químicos del suelo.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>X</p>	<p>VI: Uso de agroquímicos</p> <p>-Plaguicidas</p> <p>-Fertilizantes</p>		<p>agroquímicos) del distrito de Huasahuasi.</p> <p>Muestreo: No probabilístico</p>	
--	---	--	---	--	--	--

		<p>Ho: El uso de agroquímicos no afecta de manera directa en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.</p> <p>Ha: El uso de agroquímicos afecta de manera directa en los parámetros físicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.</p> <p>Ho: El uso de agroquímicos no afecta de manera directa en los parámetros químicos del suelo agrícola de producción de papa del distrito de Huasahuasi, Tarma.</p> <p>Ha: El uso de agroquímicos</p>				
--	--	---	--	--	--	--

		afecta de manera directa en los parámetros químicos del suelo.				
--	--	--	--	--	--	--

Anexo C: Resultados de laboratorio

Muestra	TIPO	Nomenclatura	pH	Conductividad		Materia Orgánica (%)	Nitrógeno Kjeldahl I (mg/g)	Fósforo Disponible (mg/kg)	Potasio Disponible (mg/kg)	Textura	Color Seco	Color Humedad	Densidad (gcm ³)	Temperatura (C°)
				Eléctrica (mS/m)										
control	CONTROL 1	SU2758- SA-24	5.1	4.7		5.7	2.56	20.3	311.9	Franco	Marrón	Marrón Fuerte	0.98	18
control	CONTROL 2	SU2759- SA-24	5.1	2.5		2.6	1.44	11.4	74.5	Franco	Marrón	Amarillo rojizo	0.87	19
control	CONTROL 3	SU3283- SA-24	5.2	1.6		4.7	6.63	12.4	89.75	Franco Arenoso	Amarillento	Marrón Amarillento	1.49	20
control	CONTROL 4	SU3284- SA-24	4.8	3.8		6.3	8.88	29.7	294.3	Franco	Marrón Fuerte	Marrón Oscuro	0.91	19
experimental	EXPERIMENTAL1	SU2760- SA-24	4.4	14.9		2.6	1.58	114.4	478.5	Franco	Marrón	Marrón Claro	1.5	25
experimental	EXPERIMENTAL2	SU2761- SA-24	5	14.7		2.9	1.86	122.1	509.2	Franco	Marrón Oscuro	Marrón	1.42	25
experimental	EXPERIMENTAL3	SU2762- SA-24	5.9	8.4		0.5	0.61	65.7	45.5	Franco	Marrón	Marrón Pálido	1.39	26

experimental	EXPERIMENTAL4	SU2763- SA-24	4.4	18	5.7	2.76	276.8	268.5	Franco	Marrón Oscuro	Marrón Claro	1.48	27
experimental	EXPERIMENTAL5	SU2764- SA-24	4.9	10.1	2.5	1.61	108.5	294.2	Franco Arcilloso	Marrón	Marrón Claro	1.54	25

Anexo D: Certificado de laboratorio

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

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

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA – INIA - LABORATORIO DE SUELOS AGUAS Y FOLIARES

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Carretera Saños Grande – Hualahoyo km 8 Santa Ana, El Tambo, Huancayo, Provincia y departamento de Junín.

Con base en la norma

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

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

Fecha de Acreditación: 13 de diciembre de 2022
Fecha de Vencimiento: 12 de diciembre de 2025



Firmado digitalmente por AGUILAR
RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU
20600263015 soft
Fecha: 2022/12/23 08:44:14-0500
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 15 de diciembre de 2022



Cedula N° : 459-2022-INACAL/DA
Contrato N° : 061-2022-INACAL-DA
Registro N° : LE-200

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

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

DA-acr-01P-02M Ver. 03

Anexo E: Resultados del laboratorio acreditado



inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200**



INACAL
DA - DAAG
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN

INFORME DE ENSAYO
N° 06-0469-24/SU/ LABSAF - SANTA ANA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Chavez Coanto Angela
 Propietario / Productor : Chavez Coanto Angela
 Dirección del cliente : Jr. Torre Tagle San Martín
 Solicitado por : Chavez Coanto Angela
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestra
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente
 Procedencia de muestra(s) : Junin-Tarma-Huasahuasi
 Fecha(s) de muestreo : 2024-08-09 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2024-08-14
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF Santa Ana
 Fecha(s) de análisis : 2024-07-01
 Cotización del servicio : 178-24-SA
 Fecha de emisión : 2024-07-04

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6																																																	
Código de Laboratorio	SU2764-SA-24	-	-	-	-	-																																																	
Matriz Analizada	Suelo Agrícola	-	-	-	-	-																																																	
Fecha de Muestreo	2024-06-09	-	-	-	-	-																																																	
Hora de Inicio de Muestreo (h)	18:00:00	-	-	-	-	-																																																	
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-	-																																																	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	MSE-05	-	-	-	-	-																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Ensayo</th> <th>Unidad</th> <th>LC</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>unid. pH</td> <td>0.1</td> <td>4.9</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Conductividad Eléctrica</td> <td>mS/m</td> <td>1.0</td> <td>10.1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Materia Orgánica</td> <td>%</td> <td>0.2</td> <td>2.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Nitrógeno Kjeldahl</td> <td>mg/g</td> <td>0.5</td> <td>1.61</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Fósforo Disponible (**)</td> <td>mg/Kg</td> <td>0.5</td> <td>108.5</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Potasio Disponible (**)</td> <td>mg/Kg</td> <td>3.0</td> <td>294.2</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo	Unidad	LC	Resultados				pH	unid. pH	0.1	4.9	-	-	-	Conductividad Eléctrica	mS/m	1.0	10.1	-	-	-	Materia Orgánica	%	0.2	2.5	-	-	-	Nitrógeno Kjeldahl	mg/g	0.5	1.61	-	-	-	Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	0.5	108.5	-	-	-	Potasio Disponible (**)	mg/Kg	3.0	294.2	-	-	-						
Ensayo	Unidad	LC	Resultados																																																				
pH	unid. pH	0.1	4.9	-	-	-																																																	
Conductividad Eléctrica	mS/m	1.0	10.1	-	-	-																																																	
Materia Orgánica	%	0.2	2.5	-	-	-																																																	
Nitrógeno Kjeldahl	mg/g	0.5	1.61	-	-	-																																																	
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	0.5	108.5	-	-	-																																																	
Potasio Disponible (**)	mg/Kg	3.0	294.2	-	-	-																																																	
Arena (**)	%	-	34	-	-	-																																																	
Limo (**)	%	-	37	-	-	-																																																	
Arcilla (**)	%	-	28	-	-	-																																																	
Clase Textural (**)	-	-	Franco Arcilloso	-	-	-																																																	





Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

LABSAF

Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliáres
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Carretera Saños Grande - Hualahoyo km. 8 Santa Ana, El Tambo - Huancayo - Junín

Página 1 de 3
Fecha: 06/08/24
www.inia.gob.pe

INFORME DE ENSAYO
N° 06-0469-24/SU/ LABSAF - SANTA ANA

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU2764-SA-24	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo Agrícola	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2024-05-09	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	18:00:00	-	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	MSE-05	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Color del Suelo Húmedo						
Descripción	-	-	7.5YR 6/4	-	-	-
Color	-	-	Marrón claro	-	-	-
Color del Suelo Seco						
Descripción	-	-	7.5YR 4/4	-	-	-
Color	-	-	Marrón	-	-	-



INFORME DE ENSAYO
N° 06-0469-24/SU/ LABSAF - SANTA ANA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.7, AS-09: 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	ISO 11261:1995, First Edition, 1995. Soil Quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.11, AS-11, 2000. Fósforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros (Procedimiento de Bray y Kurtz 1).
Potasio Disponible	Potasio disponible: MET-18. (Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002) Item 7.1.12, AS-12 y EPA 8010 D, Revisión 5, 2023). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Humedad	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUA CON FINES DE RIEGO-INIA
Color	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUA CON FINES DE RIEGO-INIA
Densidad aparente	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUA CON FINES DE RIEGO-INIA

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los items sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C

(*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) correspondi(n) a método(s) de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL DA.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandra Méndez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.



[Firma]
Ing. Iván Cortés Juro
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO
N° 06-0468-24/SU/ LABSAF - SANTA ANA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Chavez Ccanto Angela
 Propietario / Productor : Chavez Ccanto Angela
 Dirección del cliente : Jr. Torre Tagle San Martín
 Solicitado por : Chavez Ccanto Angela
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 05 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente
 Procedencia de muestra(s) : Junin-Tarma-Huasahuasi
 Fecha(s) de muestreo : 2024-06-09 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2024-08-14
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF Santa Ana
 Fecha(s) de análisis : 2024-07-01
 Cotización del servicio : 178-24-SA
 Fecha de emisión : 2024-07-04

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU2758-SA-24	SU2759-SA-24	SU2760-SA-24	SU2761-SA-24	SU2762-SA-24	SU2763-SA-24		
Matriz Analizada	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola		
Fecha de Muestreo	2024-06-09	2024-06-09	2024-06-09	2024-06-09	2024-06-09	2024-06-09		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:00:00	17:00:00	15:15:00	15:40:00	16:40:00	17:30:00		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	MSC-01	MSC-02	MSE-01	MSE-02	1	MSE-04		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	0.1	5.1	5.1	4.4	5.0	5.9	4.4
Conductividad Eléctrica	mS/m	1.0	4.7	2.5	14.9	14.7	8.4	18.0
Materia Orgánica	%	0.2	5.7	2.6	2.6	2.9	0.5	5.7
Nitrógeno Kjeldahl	mg/g	0.5	2.66	1.44	1.58	1.86	0.61	2.76
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	0.5	20.3	11.4	114.4	122.1	65.7	278.8
Potasio Disponible (**)	mg/Kg	3.0	311.9	74.5	478.5	509.2	45.5	288.5
Arena (**)	%	-	51	44	38	38	44	44
Limo (**)	%	-	33	43	37	35	45	37
Arcilla (**)	%	-	18	12	24	26	10	18
Clase Textural (**)	-	-	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco



INFORME DE ENSAYO
N° 06-0468-24/SU/ LABSAF - SANTA ANA

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SUZ758-SA-24	SUZ759-SA-24	SUZ760-SA-24	SUZ761-SA-24	SUZ762-SA-24	SUZ763-SA-24		
Matriz Analizada	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola		
Fecha de Muestreo	2024-08-09	2024-06-09	2024-06-09	2024-05-09	2024-05-09	2024-06-09		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:00:00	17:00:00	15:15:00	15:40:00	16:40:00	17:30:00		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	MSC-01	MSC-02	MSE-01	MSE-02	1	MSE-04		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Color del Suelo Húmedo								
Descripción	-	-	7.5YR 4/6	7.5YR 6/6	7.5YR 6/4	7.5YR 5/4	10YR 6/3	7.5YR 6/3
Color	-	-	Marrón fuerte	Amarillo rojizo	Marrón claro	Marrón	Marrón pálido	Marrón claro
Color del Suelo Seco								
Descripción	-	-	7.5YR 4/4	7.5YR 4/4	7.5YR 4/4	7.5YR 3/4	10YR 5/3	7.5YR 3/4
Color	-	-	Marrón	Marrón	Marrón	Marrón oscuro	Marrón	Marrón oscuro



INFORME DE ENSAYO
N° 06-0468-24/SU/ LABSAF - SANTA ANA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-09, 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	ISO 11261:1995, First Edition, 1995. Soil Quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.11, AS-11, 2000. Fósforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros (Procedimiento de Bray y Kurtz 1).
Potasio Disponible	Potasio disponible: MET-18 (Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D, Revisión 5, 2023). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Humedad	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUA CON FINES DE RIEGO-INIA
Color	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUA CON FINES DE RIEGO-INIA
Densidad aparente	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUA CON FINES DE RIEGO-INIA

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
 - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
 - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
 - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
 - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
 - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
 - Medición de pH realizada a 25 °C
 - Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.
(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandra Méndez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.



[Firma]
Ing. Ivapa Cortéz Juro
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliaves
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Carretera Saños Grande - Hualahoyo km. 8 Santa Ana, El Tambo - Huancayo - Junín

INFORME DE ENSAYO
N° 070584 / SU / LABSAF - SANTA ANA



I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Chavez Ccanto Angela
 Propietario / Productor : Chavez Ccanto Angela
 Dirección del cliente : Jr. Torre Tagle N° 2702
 Solicitado por : Chavez Ccanto Angela
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 2
 Producto declarado : Suelo
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : Junin-Tarma -Huasahuasi
 Fecha(s) de muestreo : 2024-07-13
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2024-07-18
 Lugar de ensayo : LABSAF SANTA ANA
 Fecha(s) de análisis : Del 2024-07-31 al 2024-08-19
 Cotización del servicio : 231-24-SA
 Fecha de emisión : 2024-08-19

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU3283-SA-24	SU3284-SA-24	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)	2024-07-13	2024-07-13	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	14:30	15:30	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	MSC-03	MSC-04	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0.1	5.2	4.8	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	1.0	1.6	3.8	-	-
Materia Orgánica	%	0.2	4.7	6.3	-	-
Potasio Disponible	ppm	3.00	89.75	294.30	-	-
Fósforo Disponible	mg/kg	0.5	12.4	29.7	-	-
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/g	0.90	6.63	8.88	-	-
Textura						
Arena	%	-	57	47	-	-
Arcilla	%	-	6	18	-	-
Limo	%	-	37	35	-	-
Clase Textural	-	-	Franco Arenoso	Franco	-	-
Densidad Aparente (*)	g/cm ³	-	1.49	0.91	-	-
Humedad (*)	%	-	6.7	10.3	-	-
Color Seco (Descripción) (*)	-	-	10YR 5/4	10YR 5/6	-	-
Color Seco (*)	-	-	amarillento	Marrón fuerte	-	-
Color Húmedo (Descripción) (*)	-	-	10YR 3/6	7.5YR 3/4	-	-
Color Húmedo (*)	-	-	Marrón amarillento	Marrón oscuro	-	-



INFORME DE ENSAYO
N° 070584 / SU / LABSAF - SANTA ANA



III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA Method 9045 D Rev. 4 2004 Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994 / Cor 1:1996 1994 Soil quality -- Determination of the specific electrical conductivity
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000; 2da Sección: 2002; ítem 7.1.7 AS-07 2002 Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black)
Acidez y Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002); ítem 7.3.29, AS-33 2002 Determinación de Acidez y Aluminio Intercambiable (AS-33 método de Cloruro de Potasio)
Carbonato De Calcio Equivalente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002); ítem 7.3.25, AS-29 2002 Determinación de los carbonatos de calcio equivalente (AS-29 Método de neutralización ácida)
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002); ítem 7.1.10, AS-11 2002 Determinación de fósforo extraíble en suelos neutros y ácidos (AS-11 Método de Bray y Kurtz)
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002); ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D, Revisión 5, 2018), Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002); ítem 7.1.9, AS-09 2002 Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos)

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

(***) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Lidiana Rene Alejandra Méndez - Responsable de Laboratorio del LABSAF - SANTA ANA



Firma
Ing Ivana Cortez Juro
Directora de la EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Anexo F: Panel Fotográfico

TOMA DE MUESTRA DEL SUELO CON AGROQUÍMICOS



TOMA DE MUESTRA DE OTRA PARCELA AFECTADO POR AGROQUÍMICOS



TOMA DE MUESTRA DE SUELO VIRGEN



TOMA DE MUESTRA DE OTRO TERRENO DE SUELO VIRGEN



TOMA DE MUESTRA PARA SU TRASLADO



TOMAS DE MUESTRA PARA SU TRASLADO

