

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS EN LA
CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE
RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025**

PRESENTADA POR:

YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



12.41%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 11 NOV 2025, 9:00 AM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.85%

● CHANGED TEXT
11.55%

Report #29899751

YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA // INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025 RESUMEN L

a presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la contaminación por residuos sólidos del botadero del distrito de Juliaca en las características fisicoquímicas del suelo en Puno durante el año 2025, mediante una metodología de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, comparativo y explicativo. Las muestras se obtuvieron a partir de calicatas en puntos de muestreo dentro de la zona de influencia del botadero Chilla, conformando una muestra compuesta, y se compararon con un suelo limpio sin exposición a residuos sólidos. Se analizaron propiedades físicas como textura, humedad y densidad aparente, así como características químicas como nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), pH y contenido de materia orgánica. Los resultados revelaron que el suelo contaminado, clasificado como franco arenoso, presentó una humedad de 18.7 %, frente al 4.8 % del suelo limpio (287 % superior), y una densidad aparente de 1.74 g/cm³, frente a 1.37 g/cm³ (27.3 % mayor). Además, mostró una deficiencia de nitrógeno, con valores de 0.021 % frente a 0.087 %, y de materia orgánica, con 0.85 % frente a 3.52 % (75.8 % menos). El contenido de fósforo fue de 9.2 ppm en el suelo contaminado y 17.8 ppm en el suelo limpio

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS
INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS EN LA
CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE
RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025
PRESENTADA POR:
YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA
PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

PRIMER MIEMBRO

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Mtra. NATALY SILVIA GARCIA VILCA

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias ambientales

Puno, 20 de noviembre del 2025

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y las oportunidades que me permitieron llegar hasta aquí. A mí querida madre, la mujer más valiente y generosa que conozco, por ser mi guía, mi refugio y mi mayor inspiración. Gracias por tu amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba de mí, y por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo, fe y con todo el corazón. A mi padre y hermanos, por su apoyo constante, por sus consejos que siempre llegan en el momento justo y por enseñarme el valor del trabajo, la humildad y la responsabilidad.

Este logro es el reflejo de todo lo que me enseñaron: amor, perseverancia y esperanza. A ustedes les debo no solo este título, sino la persona en la que me he convertido.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la perseverancia y la humildad. Gracias, mamá y papá, por creer siempre en mí y ser mi mayor motivación para seguir adelante. A mis hermanos, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y por acompañarme en cada paso de este camino académico. Su presencia ha sido un pilar fundamental en mi vida.

Al Ing. Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, mi asesor, por su guía, paciencia y dedicación durante todo el desarrollo de esta investigación. Su orientación y compromiso fueron esenciales para culminar con éxito este trabajo. A los miembros del jurado, por sus valiosas observaciones y recomendaciones que enriquecieron significativamente este estudio.

A todos ustedes, expreso mi más sincero y profundo agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
ACRÓNIMOS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.2. ANTECEDENTES	18
1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	27
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	27
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS

2.1. MARCO REFERENCIAL	28
2.2. MARCO NORMATIVO	35
2.3. HIPÓTESIS	36
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	36

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	36
------------------------------	----

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	37
-----------------------------	-----------

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	37
---------------------------------	-----------

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES	38
----------------------------------	-----------

3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO	40
---	-----------

3.4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINAR LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE AGUA EMPLEANDO EL MÉTODO DE DOBLE ANILLO EN SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025	40
---	----

3.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DEL SUELO DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025.	41
---	----

3.4.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025	43
--	----

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	44
---	-----------

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE AGUA EMPLEANDO EL MÉTODO DE DOBLE ANILLO EN SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA	47
--	-----------

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DEL SUELO DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA.	49
--	-----------

4.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	49
--------------------------------	----

4.2.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	54
---------------------------------	----

4.3. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025	61
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Rangos de velocidad de infiltración básica de los diferentes tipos de suelo	31
Tabla 02: Operacionalización de las variables	46
Tabla 03: Velocidad de infiltración de agua en suelo contaminado por residuos sólidos del botadero de Chilla	47
Tabla 04: Características físicas de los suelos contaminados vs suelo no contaminado	50
Tabla 05: Características químicas del suelo contaminado con RRSS y no contaminado	54
Tabla 06: Prueba de normalidad de la velocidad de infiltración	61
Tabla 07: Prueba t -student	62

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Curvas características de la velocidad de infiltración instantánea y acumulada de un suelo	29
Figura 02: Curva de variación de la velocidad de infiltración según tipos de textura de suelo	30
Figura 03: Anillos concéntricos infiltrómetros	33
Figura 04: Método de anillos concéntricos infiltrómetros	33
Figura 05: Velocidad de infiltración promedio de suelo contaminado por RRSS vs suelo no contaminado.	48
Figura 06: Textura de suelo contaminado y no contaminado por RRSS	51
Figura 07: % Humedad de suelo contaminado y suelo no contaminado por RRSS	52
Figura 08: Densidad de suelo contaminado vs suelo no contaminado por RRSS	53
Figura 09: Contenido de nitrógeno (N) en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado	55
Figura 10: Contenido de fósforo (P) en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado	56
Figura 11: Contenido de potasio (K) en suelo contaminado con RRSS y suelo no contaminado	57
Figura 12: pH en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado	59
Figura 13: Materia orgánica en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado	60
Figura 14: Acumulación de residuos sólidos en el botadero del distrito de Juliaca.	81
Figura 15: Vista del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca, mostrando la acumulación de desechos sólidos en la zona de estudio.	81
Figura 16: Recolección de muestras de suelo en la zona afectada por residuos.	82
Figura 17: Recolección de muestras de suelo en la zona afectada por residuos.	82
Figura 18: Almacenamiento temporal de muestras de suelo en bolsas etiquetadas.	83

Figura 19: Rotulación de muestras de suelo en bolsas etiquetadas.	83
Figura 20: Pruebas del proceso de infiltración en suelos contaminados.	83
Figura 21: Acabado de rotular las bolsas con las muestras.	83
Figura 22: Almacenamiento de muestras de suelo en bolsas etiquetadas.	84
Figura 23: Traslado de las muestras al laboratorio de análisis.	84

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025	73
Anexo 02: Instrumentos de recolección de datos	74
Anexo 03: Informes de laboratorio	79
Anexo 04: Memoria fotográfica	81

ACRÓNIMOS

Acrónimos fisicoquímicos del suelo

pH – Potencial de Hidrógeno: mide la acidez o alcalinidad del suelo.

CE – Conductividad Eléctrica: indica la salinidad del suelo.

CIC – Capacidad de Intercambio Catiónico: refleja la capacidad del suelo para retener nutrientes.

MO – Materia Orgánica: componente esencial que influye en la estructura y fertilidad del suelo.

CRA – Capacidad de Retención de Agua: cantidad de agua que el suelo puede almacenar.

FC – Capacidad de Campo: nivel de humedad que el suelo retiene después del drenaje.

WP – Punto de Marchitez Permanente: humedad mínima que las plantas pueden extraer del suelo.

PAW – Agua Aprovechable por las Plantas: diferencia entre FC y WP.

pF – Potencial de Retención de Agua: logaritmo de la tensión con la que el agua está retenida en el suelo.

Relacionados con infiltración y estructura del suelo

HC – Conductividad Hidráulica: velocidad con la que el agua se infiltra en el suelo.

BD – Densidad Aparente (Bulk Density): masa del suelo por unidad de volumen, afecta la porosidad.

TP – Porosidad Total: proporción de espacio vacío en el suelo.

Ksat – Coeficiente de Saturación Hidráulica: medida de infiltración en suelos saturados.

Relacionados con residuos sólidos y gestión ambiental

RSU – Residuos Sólidos Urbanos: desechos generados en áreas urbanas.

RSM – Residuos Sólidos Municipales: categoría que incluye RSU y otros residuos gestionados por municipios.

LIX – Lixiviados: líquidos generados por la descomposición de residuos.

GIRSU – Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos: enfoque técnico y ambiental para el manejo de residuos.

PEIGIRS – Plan Estratégico Institucional de Gestión Integral de Residuos Sólidos: documento de planificación municipal.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la contaminación por residuos sólidos del botadero del distrito de Juliaca en las características fisicoquímicas del suelo en Puno durante el año 2025, mediante una metodología de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, comparativo y explicativo. Las muestras se obtuvieron a partir de calicatas en puntos de muestreo dentro de la zona de influencia del botadero Chilla, conformando una muestra compuesta, y se compararon con un suelo limpio sin exposición a residuos sólidos. Se analizaron propiedades físicas como textura, humedad y densidad aparente, así como características químicas como nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), pH y contenido de materia orgánica. Los resultados revelaron que el suelo contaminado, clasificado como franco arenoso, presentó una humedad de 18.7 %, frente al 4.8 % del suelo limpio (287 % superior), y una densidad aparente de 1.74 g/cm³, frente a 1.37 g/cm³ (27.3 % mayor). Además, mostró una deficiencia de nitrógeno, con valores de 0.021 % frente a 0.087 %, y de materia orgánica, con 0.85 % frente a 3.52 % (75.8 % menos). El contenido de fósforo fue de 9.2 ppm en el suelo contaminado y 17.8 ppm en el suelo limpio (48.2 % menor), mientras que el potasio fue mayor, con 410 ppm frente a 325 ppm, respectivamente. En cuanto al pH, el suelo contaminado presentó un valor ligeramente alcalino (8.4), en comparación con el suelo limpio (7.1). Finalmente, la velocidad de infiltración de agua fue de 2.6 cm/h en el suelo contaminado y de 4.02 cm/h en el suelo limpio, concluyendo que la presencia de residuos sólidos influye significativamente en la disminución de la capacidad de infiltración del suelo.

Palabras claves: Botadero, Infiltración, Residuos sólidos, Suelos.

ABSTRACT

The present investigation aimed to evaluate the influence of solid waste contamination from the Juliaca district landfill on the physicochemical characteristics of the soil in Puno during the year 2025, using a quantitative approach methodology and a non-experimental, comparative, and explanatory design. The samples were obtained from test pits at sampling points within the area of influence of the Chilla landfill, forming a composite sample, and compared with clean soil without exposure to solid waste. Physical properties such as texture, humidity, and apparent density were analyzed, as well as chemical characteristics such as nutrients nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), pH, and organic matter content. The results revealed that the contaminated soil, classified as sandy loam, had a humidity of 18.7%, compared to 4.8% for the clean soil (287% higher), and an apparent density of 1.74 g/cm³, compared to 1.37 g/cm³ (27.3% higher). In addition, it showed a deficiency of nitrogen, with values of 0.021% versus 0.087%, and of organic matter, with 0.85% versus 3.52% (75.8% less). The phosphorus content was 9.2 ppm in the contaminated soil and 17.8 ppm in the clean soil (48.2% lower), while potassium was higher, with 410 ppm versus 325 ppm, respectively. Regarding pH, the contaminated soil presented a slightly alkaline value (8.4), compared to the clean soil (7.1). Finally, the water infiltration rate was 2.6 cm/h in the contaminated soil and 4.02 cm/h in the clean soil, concluding that the presence of solid waste significantly influences the decrease in the soil's infiltration capacity.

Keywords: Landfill, Infiltration, Solid waste, Soils.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los suelos por disposición inadecuada de residuos sólidos constituye un problema ambiental creciente en diversas ciudades del Perú, especialmente en aquellas con limitada infraestructura para la gestión integral de los desechos. Los botaderos a cielo abierto generan impactos directos sobre la calidad del suelo, modificando sus propiedades físicas y químicas, lo que repercute en la fertilidad, el equilibrio ecológico y los servicios ecosistémicos que este proporciona (MINAN, 2020).

Entre las alteraciones más frecuentes se encuentran los cambios en la textura, la densidad aparente, la retención de humedad, así como en el contenido de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio), materia orgánica y pH. Dichas modificaciones afectan la capacidad productiva del suelo y la dinámica del agua, condicionando también la salud ambiental de las comunidades cercanas. Evaluar estas variaciones resulta fundamental para comprender la magnitud del impacto de los residuos sólidos en la sostenibilidad de los ecosistemas edáficos (OEFA, 2023).

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la influencia de la contaminación por residuos sólidos del botadero del distrito de Juliaca en las características fisicoquímicas del suelo, Puno – 2025, considerando tanto parámetros físicos (textura, humedad, densidad aparente e infiltración) como químicos (nutrientes, pH y materia orgánica), a fin de establecer comparaciones entre suelos contaminados y no contaminados.

La investigación se estructuró en cuatro capítulos principales:

Capítulo I: Planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación

Se expone la problemática del botadero de residuos sólidos en Juliaca y su impacto en la capacidad de infiltración del suelo. Se presentan antecedentes relevantes y se establecen los objetivos orientados a analizar la influencia de las características fisicoquímicas en dicha capacidad.

Capítulo II: Marco teórico e hipótesis de la investigación

Se desarrollan los conceptos teóricos sobre propiedades fisicoquímicas del suelo y su relación con la infiltración. Se plantea la hipótesis de que estas características influyen directamente en la capacidad de infiltración en el área de estudio.

Capítulo III: Metodología e hipótesis de la investigación

Se describe el enfoque metodológico, incluyendo el muestreo, análisis de laboratorio y tratamiento estadístico. Se detalla el procedimiento para comprobar la hipótesis mediante la correlación entre variables fisicoquímicas y la infiltración.

Capítulo IV: Exposición y análisis de los resultados

Se presentan e interpretan los resultados obtenidos, evidenciando la relación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y su capacidad de infiltración. Se discuten las implicancias para la gestión ambiental del botadero

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entre las actividades antrópicas que provocan gran impacto al suelo, está la generación de residuos sólidos, considerada como una de las principales problemáticas a nivel mundial. Pues, la descomposición de estos residuos se intensifica y, combinada con los líquidos de fuentes externas, como la lluvia que penetra en el relleno, da lugar a un fluido altamente tóxico llamado lixiviado, el cual ejerce un impacto significativo en los elementos físicos, químicos y biológicos del entorno. Cuando el lixiviado se filtra en el suelo, contamina las aguas subterráneas y genera olores desagradables durante el proceso de descomposición (Gualteros y Suárez, 2019).

Respecto a la generación de residuos sólidos urbanos, según el informe “Global Waste Management Outlook 2024” la producción de estos pasará de 2,100 millones de toneladas en 2023 a 3,800 millones de toneladas para 2050 a nivel mundial. Esta problemática acarrea un costo directo asociado a su gestión; es así que, para el 2020, estos representaron 252,000 millones de dólares; también involucra unos costos indirectos asociados a la contaminación, afecciones en la salud y al cambio climático debido a inadecuada eliminación o manejo, representando hasta 361,000 millones de dólares (Naciones Unidas, 2024).

A nivel nacional, el Ministerio de Ambiente informó que en 2020 se generaron 7.9 millones de toneladas de residuos sólidos municipales (RSM), de los cuales el 55.7% corresponden a residuos orgánicos y el 20.7% a inorgánicos. Estos residuos deben ser

gestionados adecuadamente, abarcando su recolección, transporte, tratamiento o reciclaje, hasta su disposición final segura, responsabilidad de las entidades gubernamentales, como las municipalidades provinciales y distritales. No obstante, según datos del Registro Nacional de Municipalidades, un 11.9% de los municipios no cuentan con un plan de gestión de RSM, y solo un 55% tiene un Plan de Manejo de Residuos Sólidos (Comex Perú, 2022).

Los botaderos de basura inducen a la degradación de espacios denominados “áreas degradadas por residuos sólidos municipales (ADRSM)”, las cuales se localizan en espacios públicos o privados de áreas urbanas, baldías o rurales. Para el año 2023, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2023), reportó un total de 1783 ADRSM a nivel nacional de las cuales 123 se ubican en la región de Puno, representando la tercera región con más ADRSM.

En específico, la ciudad de Puno, según un estudio de Rojas (2022), generaba 119.93 toneladas diarias de residuos sólidos domiciliarios en 2019, cifra que actualmente ha incrementado debido al crecimiento poblacional. En este sentido, se ha observado múltiples sitios de disposición final de residuos sólidos manejados inadecuadamente, los cuales han perdurado con el tiempo, entre ellos, el botadero de Chilla en la ciudad de Juliaca, el cual ha sido declarado área degradada y por ende, se ha clausurado.

Considerando que los suelos de la región de Puno dependen de factores como la altitud, la capacidad de retención de agua y nutrientes, la erosión y el manejo adecuado de las prácticas agrícolas y donde su diversidad ofrece oportunidades para el cultivo de una amplia gama de productos, la presente investigación centra sus esfuerzos en evaluar cómo influye la contaminación por residuos sólidos del botadero del distrito de Juliaca, en las características fisicoquímicas del suelo a fin de obtener un conocimiento sobre su futuro manejo especializado para prevenir la degradación y aprovechar su potencial a largo plazo.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida las características fisicoquímicas influyen en la capacidad de infiltración de los suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca– 2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo es la velocidad de infiltración de agua empleando el método de doble anillo en suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025?
- ¿Cómo influye la presencia de residuos sólidos en la velocidad de infiltración de los suelos del botadero del distrito de Juliaca - 2025?

1.2. ANTECEDENTES

De acuerdo con las indagaciones realizadas sobre el tema de estudio, existen escasos estudios tanto a nivel internacional como nacional que aborden la capacidad de infiltración o conductividad hidráulica del agua en suelos, y más aún, en aquellos afectados por residuos sólidos municipales como es el presente caso estudio. Ante ello, se describen algunos estudios que aportan en algún aspecto similar a la presente investigación.

A nivel internacional

Dávila et al. (2024) efectuaron un estudio que tuvo como objetivo evaluar los impactos ambientales generados en el aire, el agua y el suelo por la infiltración de lixiviados en un relleno sanitario ubicado en San Antonio la Isla (Estado de México), así como identificar los factores que ocasionan efectos en la salud mediante el uso de una matriz causa-efecto. En el estudio se llevó a cabo la caracterización elemental del lixiviado, del suelo y del agua asociados al relleno sanitario. Asimismo, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de una muestra de agua subterránea proveniente de un pozo ubicado a 1.5 km del relleno sanitario, así como del propio lixiviado. Los resultados mostraron que los lixiviados presentan una alta carga orgánica, con una importante presencia de compuestos nitrogenados y cloruros, además de un bajo índice de

biodegradabilidad ($DBO_5/DQO = 0.18$), lo que indica una materia orgánica difícil de degradar. Por otra parte, la concentración de contaminantes atmosféricos se mantiene dentro de los límites permisibles, atribuible a las características abiertas del área y a la velocidad del viento, que favorece la dispersión de los contaminantes. En cuanto al suelo, se determinó que los metales pesados provenientes de los lixiviados son retenidos en su matriz, lo que reduce el riesgo de migración hacia el agua subterránea.

San Martín (2022), con el objetivo de examinar la eficacia del método de los anillos infiltrómetros (AI), utilizando el método del pozo invertido (PI) como estándar de referencia. Los dos anillos, fabricados en metal, presentan diámetros de 33 y 56 cm y una altura de 35 cm, y se instalan a una profundidad de 20 cm. Las mediciones se efectuaron en 15 puntos distribuidos dentro de un área de suelo de 35 m², realizándose en intervalos de tiempo fijos de 5, 10, 15, 20 y 30 minutos. Los resultados mostraron un promedio de 0.3355 m/día para el método de anillos infiltrómetros (AI) y de 0.4642 m/día para el método del pozo invertido (PI), siendo estas diferencias no significativas ($p > 0.05$). Se concluye que el método de los anillos infiltrómetros puede emplearse como alternativa viable para medir la conductividad hidráulica en suelos saturados.

Estrada et al. (2021), evaluaron los parámetros hidrológicos y las propiedades fisicoquímicas del suelo, determinando su relación con la tasa de infiltración y estimando un indicador de calidad ambiental en el ciclo hidrológico de las subcuencas estudiadas. El muestreo se dividió en dos series: "Serie A", correspondiente a áreas en proceso de restauración del monte nativo y, "Serie B", en zonas no intervenidas. Los resultados indican que las variaciones en los parámetros evaluados responden a los factores de formación del suelo. Las zonas bajo restauración (Serie A) presentan tasas de infiltración más elevadas en comparación con las zonas sin intervención (Serie B), lo que se asocia con mejoras en las propiedades físicas del suelo, favoreciendo la infiltración del agua y reduciendo la escorrentía superficial.

Rodríguez y Pérez (2020), evaluaron la contaminación del suelo por residuos sólidos urbanos en la provincia de Santa Clara, Cuba. El estudio tuvo como objetivo determinar el

efecto de la acumulación de residuos sólidos en las propiedades fisicoquímicas del suelo, analizando parámetros como el pH, la conductividad eléctrica y la materia orgánica. Los resultados mostraron una disminución significativa de la fertilidad del suelo y una alteración en su estructura debido a la acumulación de desechos. Este antecedente guarda relación con la presente investigación, ya que evidencia cómo la disposición inadecuada de residuos sólidos modifica las propiedades fisicoquímicas del suelo, afectando su capacidad de infiltración y calidad ambiental.

Saavedra (2021), estudió la degradación de suelos por efecto de los residuos sólidos (Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte). El objetivo del estudio fue describir los tipos de degradación (física, química, biológica, hídrica, eólica) sufridos por suelos afectados por residuos sólidos. Los resultados indicaron que la degradación hídrica fue la más significativa (15,55 %) y la biológica la menor (4,15 %). Entre los residuos predominantes se encontraron alimentos (67 %), residuos de cocina (27,16 %), papel (22,75 %) y vidrio/cartón (11,33 %). repositorio.upn.edu.pe+1. Este antecedente es pertinente porque demuestra que la acumulación de residuos sólidos altera múltiples dimensiones de los suelos incluyendo la capacidad de retener agua, lo cual complementa el análisis de infiltración planteado en la presente investigación.

A nivel nacional,

Cachay y Robles (2024), realizaron una investigación en la cual determinaron la influencia de la deficiente disposición de residuos sólidos en el botadero Rumiallana sobre la calidad del suelo. En el estudio se llevó a cabo un muestreo de identificación que comprendió cuatro estaciones de monitoreo dentro del área de influencia y una muestra control (blanco de campo) ubicada a 500 metros de distancia. Se efectuó una excavación de 60 cm de profundidad, de la cual se recolectaron aproximadamente 3 kg de suelo, posteriormente transportados a un laboratorio acreditado por el INACAL para la determinación de parámetros inorgánicos (Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Arsénico (As), Bario (Ba), Cromo VI, Mercurio (Hg) y Cianuro libre). Asimismo, se evaluaron parámetros complementarios como el pH, la conductividad eléctrica y el porcentaje de materia

orgánica. Los resultados obtenidos para los parámetros inorgánicos fueron comparados con los valores establecidos en el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, mientras que los valores de pH se contrastaron con lo dispuesto en el Decreto Supremo N.º 016-2009-AG. El estudio concluyó que la disposición inadecuada de los residuos sólidos incide negativamente en la calidad del suelo del botadero Rumiallana, evidenciándose concentraciones de Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Arsénico (As) superiores a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Además, se determinó que el suelo presenta un pH ácido, una conductividad eléctrica elevada y un bajo contenido de materia orgánica, condiciones que reflejan contaminación significativa y falta de aptitud para usos agrícolas o residenciales.

Janampa (2024), en su estudio, Biorremediación para neutralización de metales pesados en suelos y aguas contaminadas por lixiviados de residuos sólidos (Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola). El estudio realizó una revisión sistemática de 97 artículos (2016-2022) sobre técnicas de fitorremediación, enzimática y microbiana para suelos y aguas afectadas por lixiviados de residuos sólidos. Los hallazgos mostraron que los lixiviados con metales pesados (Cd, Cr, Pb) afectan suelos y aguas, y que dichas técnicas presentan viabilidad para mitigar la contaminación. Este antecedente se relaciona con la investigación porque aborda la contaminación de suelos por residuos sólidos y los efectos sobre propiedades químicas del suelo, aspecto que refuerza el fundamento teórico del presente trabajo sobre suelos contaminados por botaderos.

Alvis y Pariente (2022), efectuaron un estudio el cual plantearon como objetivo analizar la presencia de contaminantes asociada a la presencia de un botadero de residuos sólidos en distintos tipos de suelos en el distrito de Luya, Amazonas. En el estudio se desarrolló un proceso metodológico estructurado que inició con el reconocimiento y levantamiento georeferenciado del área de estudio, identificando la ubicación precisa del botadero a cielo abierto. Posteriormente, se efectuó un muestreo de suelos orientado a la determinación de parámetros fisicoquímicos y concentraciones de contaminantes a diferentes profundidades, siguiendo rigurosamente el protocolo de muestreo establecido

para su análisis correspondiente. El análisis de las muestras se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM) y en la empresa Servicios Analíticos Generales S.A.G. S.A.C., utilizando métodos analíticos validados. Con los resultados obtenidos, se efectuó una simulación del comportamiento de los contaminantes mediante el uso del software MATLAB, con el propósito de modelar la dispersión y migración de metales pesados en el subsuelo a lo largo del tiempo y en función de la profundidad. Los resultados revelaron concentraciones de metales pesados superiores a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por la normativa nacional, lo que evidenció un riesgo potencial de contaminación del suelo y del agua subterránea. Este antecedente puso de manifiesto la necesidad de evaluar de manera integral los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de residuos sólidos y de establecer estrategias de mitigación para prevenir la expansión de los contaminantes en el entorno.

Carrizales y Panca (2020), evaluaron el impacto ambiental generado por la disposición de residuos sólidos urbanos (RSU) sobre los recursos agua y suelo. La investigación comprendió mediciones de campo y análisis de laboratorio con el propósito de determinar las características fisicoquímicas de las muestras obtenidas. En el punto de muestreo M2, se registraron los siguientes valores: pH (9,8), conductividad eléctrica (4940 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (70%), dureza total (217,8 mg/L), alcalinidad (836 mg/L), cloruros (826,56 mg/L), sulfatos (310 mg/L), fósforo (260 mg/L), nitrógeno amoniacal (7,2 mg/L), hierro (0,2 mg/L), DBO₅ (260 mg/L), DQO (520 mg/L) y Sólidos Suspendidos Totales (SST, 240 mg/L). Todos los parámetros fueron determinados mediante métodos analíticos estandarizados y validados. Los resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa peruana y con los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS), verificando que varios parámetros excedían los límites normativos. Este hallazgo evidenció un importante impacto ambiental negativo asociado a la generación y filtración de lixiviados provenientes del botadero de Puno, los cuales afectan directamente la calidad del agua y del suelo circundante. Este antecedente

resalta la necesidad de una gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos y la implementación de sistemas de control ambiental que permitan mitigar los efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud pública.

Chávez Fuentes (2023), en su investigación titulada “Nivel de riesgo ambiental generado por los lixiviados en el botadero de residuos sólidos de la ciudad de Chota, 2021”, realizada en la Universidad Nacional Autónoma de Chota, evaluó el impacto ambiental que generan los lixiviados sobre los componentes del suelo y el agua subterránea. En su estudio determinó que los suelos del área de influencia del botadero presentaban alteraciones significativas en sus propiedades fisicoquímicas, evidenciadas por valores elevados de conductividad eléctrica y pH alcalino, producto de la descomposición de los residuos. Asimismo, concluyó que el nivel de riesgo ambiental era alto debido a la presencia de metales pesados y materia orgánica, recomendando un control adecuado de los lixiviados y la implementación de un sistema de drenaje. Estos resultados sustentan la importancia de evaluar las características fisicoquímicas del suelo en zonas de disposición final de residuos, ya que tales parámetros influyen directamente en la capacidad de infiltración, tal como se aborda en la presente investigación.

Saavedra La Torre (2020), en su estudio titulado “Contaminación del suelo por lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuque, San Martín, 2019”, desarrollado en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, evaluó los impactos ocasionados por los lixiviados sobre las propiedades del suelo en la zona de disposición final de residuos. La autora determinó que los suelos del área presentaban altos niveles de materia orgánica y un incremento en la conductividad eléctrica y salinidad, factores que alteran la estructura y permeabilidad del suelo. Además, señaló que la acumulación de lixiviados genera procesos de compactación y disminuye la capacidad de infiltración, afectando la regeneración natural del terreno.

Este antecedente guarda relación directa con la presente investigación, ya que evidencia cómo los cambios fisicoquímicos del suelo producidos por los residuos sólidos inciden negativamente en su capacidad de infiltración.

Díaz (2019), evaluó la contaminación del suelo afectado por lixiviados del botadero municipal del Distrito de San Pablo en Cajamarca. Para ello, se analizaron muestras de suelo de tres puntos de muestreo diferentes: P1: suelo agrícola, P2: suelo central del botadero, P3: suelo de control o suelo inicial del botadero a las cuales se les midió el contenido de metales pesados como Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cromo VI (Cr+6) y Cromo Total (Cr Total). Los resultados mostraron que, para el Cd se encontraron valores superiores a los establecidos en los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo de tipo agrícola.

Ferradas y Guerra (2019), determinaron la relación entre el impacto de la disposición final de residuos sólidos municipales y la calidad del suelo en el botadero "San Ildefonso", situado en el distrito de Laredo. Se llevó a cabo un muestreo de identificación mediante la excavación de 4 calicatas en un área de 9 m², con una profundidad de 60 cm, para analizar la presencia de metales pesados (As, Ba, Cd, Cr VI, Pb y Hg), el pH, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica como indicadores de la calidad del suelo. Además, se incluyó un punto de muestreo en una zona agrícola situada a 500 metros del botadero, utilizado como punto de control. Se concluye que la disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales tiene un impacto negativo en la calidad del suelo del botadero "San Idelfonso" al encontrarse niveles de cromo VI que exceden los límites permitidos, junto con altos niveles de pH y salinidad y un bajo contenido de materia orgánica.

A nivel regional y local.

Quispe (2022), evaluó las propiedades fisicoquímicas del suelo en zonas impactadas por residuos sólidos en la ciudad de Puno. Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional del Altiplano. El estudio tuvo como objetivo analizar las propiedades del suelo en áreas afectadas por la disposición de residuos sólidos, midiendo parámetros como el pH, la textura, la conductividad eléctrica y la materia orgánica. Los resultados indicaron que la acumulación de desechos sólidos reduce la capacidad de infiltración y modifica las características naturales del suelo, afectando su funcionalidad ecológica. Este

antecedente se relaciona directamente con la investigación actual, ya que aborda la influencia de las propiedades fisicoquímicas del suelo en su capacidad de infiltración dentro del contexto regional de Puno.

Ticona y Apaza. (2020), evaluó el impacto de la contaminación de los residuos sólidos sobre suelo y agua del botadero sanitario de Cancharani – Puno (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano – Puno). El estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto ambiental generado por la disposición de residuos sólidos urbanos en el botadero sanitario de Cancharani, ubicado a 8 km de la ciudad de Puno, sobre la calidad del suelo y del agua. Para ello, se realizaron análisis fisicoquímicos que incluyeron parámetros como pH, conductividad eléctrica, salinidad, fósforo y nitrógeno amoniacal. Los resultados evidenciaron un impacto ambiental negativo significativo, con valores elevados de pH (9,8), conductividad eléctrica (4 940 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y salinidad (70 %), lo que demuestra una alteración en las propiedades naturales del suelo y contaminación de las aguas subterráneas. Este antecedente se relaciona directamente con la presente investigación, ya que demuestra cómo la disposición inadecuada de residuos sólidos modifica las características fisicoquímicas del suelo, afectando su capacidad de infiltración, dentro de un contexto geográfico y ambiental similar al de la ciudad de Juliaca.

Velásquez (2021), evaluó los niveles de contaminación de agua y suelo generados por los lixiviados del botadero de Chilla en Juliaca, 2021 (Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo). El estudio tuvo como objetivo evaluar los niveles de contaminación del agua y del suelo provocados por los lixiviados del botadero de Chilla, ubicado en la ciudad de Juliaca. Se analizaron parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad eléctrica, los metales pesados y la materia orgánica.

Los resultados evidenciaron concentraciones elevadas de contaminantes, especialmente metales pesados como el plomo y el cadmio, que superaron los límites máximos permitidos. Esto demuestra un deterioro significativo en la calidad del suelo y del agua. Este antecedente se relaciona con la presente investigación, ya que evidencia cómo los

residuos sólidos del botadero de Juliaca modifican las características fisicoquímicas del suelo, afectando su capacidad de infiltración.

Pacompia (2023), investigó sobre el efecto por lixiviados del botadero municipal en el suelo por metales pesados, distrito de Ilave – 2023 (Tesis de licenciatura, Universidad Privada San Carlos). El objetivo del estudio fue determinar la concentración de metales pesados en suelos impactados por los lixiviados del botadero municipal de Ilave. Se emplearon métodos analíticos para medir la presencia de plomo, cromo, cadmio y zinc. Los resultados mostraron que los niveles de plomo y cadmio exceden los estándares ambientales establecidos por la normativa peruana, alterando las propiedades químicas del suelo y generando riesgos ecológicos. Este antecedente guarda relación con la presente investigación, ya que aborda el efecto de los residuos sólidos sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en una región altiplánica similar a la de Juliaca.

Chambi (2024), realizó el análisis de los parámetros físicos y químicos en suelos de zonas impactadas por disposición de residuos: estudio aplicado en Puno (Tesis de licenciatura, Universidad Privada San Carlos). El estudio tuvo como finalidad analizar los parámetros físicos y químicos del suelo en zonas afectadas por la acumulación de residuos sólidos. Se evaluaron propiedades como la textura, densidad aparente, humedad, pH y conductividad eléctrica. Los resultados indicaron que los suelos cercanos a los botaderos presentan una mayor densidad y menor porosidad, reduciendo su capacidad de infiltración. Este antecedente respalda la presente investigación, al demostrar la relación entre la alteración de las propiedades fisicoquímicas y la disminución de la capacidad de infiltración del suelo.

Ramos (2023), determinó la concentración de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en pozos artesanales adyacentes al botadero de Chilla – Juliaca (Informe técnico, Universidad Nacional del Altiplano). El estudio tuvo como objetivo analizar la calidad del agua subterránea cercana al botadero de Chilla mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Se midieron variables como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y presencia de coliformes. Los resultados mostraron contaminación

significativa del agua y suelos circundantes debido a la infiltración de lixiviados, afectando la calidad ambiental del entorno. Este antecedente se vincula con la presente investigación, al evidenciar que los lixiviados del botadero de Juliaca afectan directamente las propiedades del suelo y la infiltración del agua.

Quispe (2024), realizó el análisis de la contaminación del botadero del centro poblado Chilla y su relación con las características del suelo de la urbanización (Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo). El propósito del estudio fue analizar la contaminación del suelo ocasionada por los residuos sólidos del botadero de Chilla, considerando variables fisicoquímicas como pH, conductividad, humedad y materia orgánica. Los resultados revelaron que los suelos presentan altos niveles de conductividad eléctrica y un pH alcalino, indicadores de contaminación por lixiviados. Este antecedente se relaciona directamente con la presente investigación, al abordar el mismo contexto geográfico y las mismas variables de análisis.

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de las características fisicoquímicas en la capacidad de infiltración de los suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca– 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la velocidad de infiltración de agua empleando el método de doble anillo en suelos contaminados por residuos sólidos del botadero de Juliaca, Puno – 2025.
- Determinar las características fisicoquímicas del suelo de botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025.
- Determinar la influencia de los residuos sólidos en la velocidad de infiltración de los suelos del botadero del distrito de Juliaca– 2025.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS

2.1. MARCO REFERENCIAL

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua de la atmósfera se introduce en el suelo, atravesando una interfaz que, aunque es definible, no es tangible. Este proceso es fundamental en el ciclo del agua en los ecosistemas terrestres, ya que afecta el equilibrio hídrico de la vegetación, la posible pérdida de la capa superficial del suelo por erosión, el flujo de escorrentía y la recarga de las aguas subterráneas (Garate et al., 2022).

La velocidad de infiltración influye en la cantidad de agua que se escurre por la superficie, lo que a su vez determina el riesgo de erosión hídrica (Batres y Barahona, 2017). Se trata de la relación entre la cantidad de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo. Por lo general, se expresa en unidades de cm/h o mm/min. La velocidad de infiltración no se mantiene constante; tiende a reducirse a medida que pasa el tiempo desde el inicio de la aplicación continua de agua en el suelo; por ello, puede ser representada por el modelo expresado en la ecuación 1, propuesto por Kostiaikov en 1932 (Delgadillo y Pérez, 2016).

$$I = \alpha t^b \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

I: velocidad de infiltración expresada en mm/h, cm/h, etc.

T: tiempo de oportunidad, de contacto con el suelo expresado en minutos u horas.

α : coeficiente que representa la velocidad de infiltración en el tiempo inicial.

b: exponente que varía entre 0 y -1 y es adimensional.

La infiltración acumulada, denominada también lámina infiltrada acumulada, tiene en cuenta la suma de los valores individuales de infiltración obtenidos a partir de la curva de

velocidad de infiltración instantánea. El objetivo es obtener la ecuación 2, la cual se deriva calculando el área bajo dicha curva entre los ejes, lo cual se realiza integrando la ecuación dentro de los límites: t inicial = 0 y t final (Delgadillo y Pérez, 2016).

$$I_{acumulada} = At^B \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$$B = b + 1 \quad (0 < B < 1)$$

$$A = \alpha / B$$

En la Figura 1, se puede observar una representación de las curvas de infiltración instantánea y acumulada.

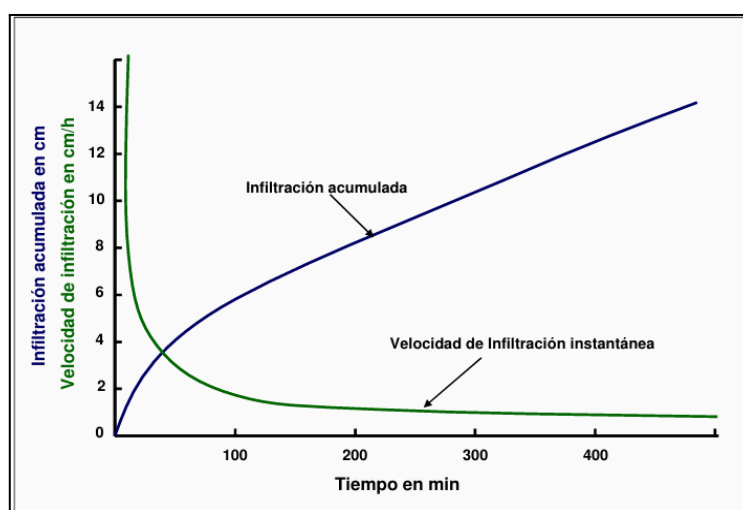


Figura 01: Curvas características de la velocidad de infiltración instantánea y acumulada de un suelo

Fuente: Delgadillo y Pérez (2016).

En cuanto a la infiltración básica, el Departamento de Agricultura de los EE. UU. (SCS) la define como la tasa de infiltración de agua en el suelo cuando su variación en el tiempo se vuelve lenta y constante. Generalmente, esta condición se alcanza cuando el suelo llega a su capacidad de campo. Gráficamente (Figura 2), la velocidad de infiltración básica se identifica cuando la curva de infiltración se vuelve asintótica respecto al eje horizontal. Esta velocidad depende en gran medida de la textura del suelo, por lo que

tanto el tiempo necesario para alcanzarla como su valor varían según la textura del suelo (Delgadillo y Pérez, 2016).

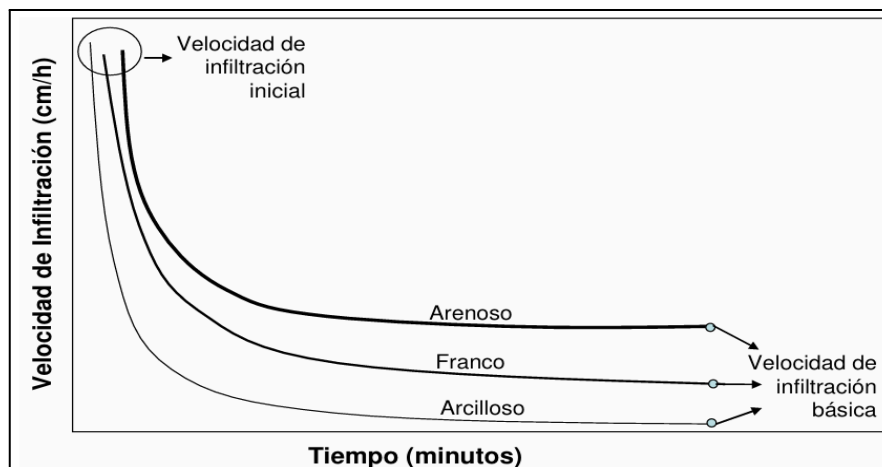


Figura 02: Curva de variación de la velocidad de infiltración según tipos de textura de suelo

Fuente: Delgadillo y Pérez (2016).

Considerando que, la infiltración básica es la tasa de infiltración registrada cuando, en un período de una hora, el cambio en la velocidad de infiltración es igual o inferior al 10 %, su cálculo se realiza sustituyendo el tiempo (t) de la ecuación 1, por $-10b$ quedando la expresión para su cálculo, como se muestra en la ecuación 3.

$$I_{básica} = a(-10b)^b \quad \text{Ecuación 3}$$

Para este caso, los coeficientes a y b se hallan por lo general, de la ecuación 2 de la infiltración acumulada. Así mismo, en la Tabla 1 se muestran unos rangos de infiltración básica en función de varios tipos de suelos que pueden ayudar para los cálculos.

Tabla 01: Rangos de velocidad de infiltración básica de los diferentes tipos de suelo

Tipo de suelo	Velocidad de Infiltración (mm/h)
Arenoso	Más de 30
Franco arenoso	20 – 30
Franco	10 – 20
Franco arcilloso	5 – 10
Arcilloso	1 - 5

Fuente: Delgadillo y Pérez (2016).

Factores que afectan la infiltración

Existen diversos factores que influyen en la velocidad de infiltración de agua en el suelo, Serger (2006) citado por Huamán (2016) describe los siguientes:

- **Características del suelo.** Cuanto mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el grado de fisuras en el suelo, mayor será su permeabilidad y, en consecuencia, su capacidad de infiltración. En cuanto a la textura, un suelo con abundante presencia de limos y arcillas es susceptible a la disgregación y al arrastre de estos materiales por el agua, lo que resulta en el llenado de poros a mayor profundidad. Respecto a la estructura del suelo, la presencia de poros grandes disminuye la tensión capilar, pero facilita directamente la entrada de agua. Además, el calor específico del suelo influye en su capacidad de almacenar calor, lo cual afecta la temperatura del agua que se infiltra y, en consecuencia, su viscosidad.
- **Humedad.** La infiltración disminuye a medida que aumenta la humedad del suelo; en otras palabras, un suelo húmedo tiene una menor capacidad de infiltración en comparación con un suelo seco. Cuando un suelo ya ha alcanzado su capacidad máxima de absorción de agua al inicio de una precipitación, es claro que podrá admitir una cantidad mucho menor de agua adicional.
- **Precipitación.** El impacto del agua de lluvia sobre el suelo favorece la compactación de su superficie, lo que reduce la capacidad de infiltración. Además, el agua arrastra partículas finas que disminuyen la porosidad de la superficie, humedeciendo y

saturando los horizontes cercanos, lo cual incrementa la resistencia a la penetración del agua.

- **Cubierta vegetal.** Una densa cubierta vegetal facilita la infiltración y reduce el escurrimiento superficial del agua. Después de que cesa la lluvia, las raíces extraen la humedad del suelo, lo que incrementa la capacidad de infiltración para futuras precipitaciones.
- **Actividades del hombre y animales.** Un buen manejo del uso de la tierra favorece el proceso de infiltración; sin embargo, cuando el terreno es sometido a un uso intensivo, ya sea por el tránsito de animales o el paso constante de vehículos, la superficie se compacta, reduciendo su capacidad de permeabilidad.
- **Temperatura.** Las bajas temperaturas dificultan la infiltración, ya que pueden ser suficientemente frías para congelar el agua en el suelo. La capa de hielo que se forma actúa como una barrera casi impermeable. Sin embargo, el agua de lluvia puede aportar calor suficiente para derretir esta capa inicial y permitir que el agua penetre en el suelo.

Método de doble anillo

El método consiste en saturar una porción de suelo delimitada por dos anillos concéntricos y luego medir la variación del nivel de agua en el anillo interior. Los infiltrómetros constan de dos anillos, uno de diámetro superior al otro, por lo general, los de mayor tamaño son de 60 cm y los de menor, 30 cm. Además, incluyen una regla con escala graduada en centímetros y milímetros para realizar las mediciones de forma precisa (Delgadillo y Pérez, 2016; Huamán, 2016).

Los anillos de infiltración se utilizan para realizar pruebas que determinan la permeabilidad del suelo, simulando el proceso de infiltración de agua en éste. Las pruebas se efectúan enterrando dos anillos colocados de forma concéntrica. Se llenan ambos anillos con agua y se mide la tasa de descenso en el anillo interior. Este procedimiento permite que el flujo de agua en el suelo sea lo más vertical posible, ya que la infiltración en el anillo exterior limita el flujo lateral del agua que penetra en el anillo

interior, reduciendo así la distorsión de los datos obtenidos (Delgadillo y Pérez, 2016). En la Figura 3, se puede observar un ejemplo de anillos concéntricos y en la Figura 4, un esquema del método.

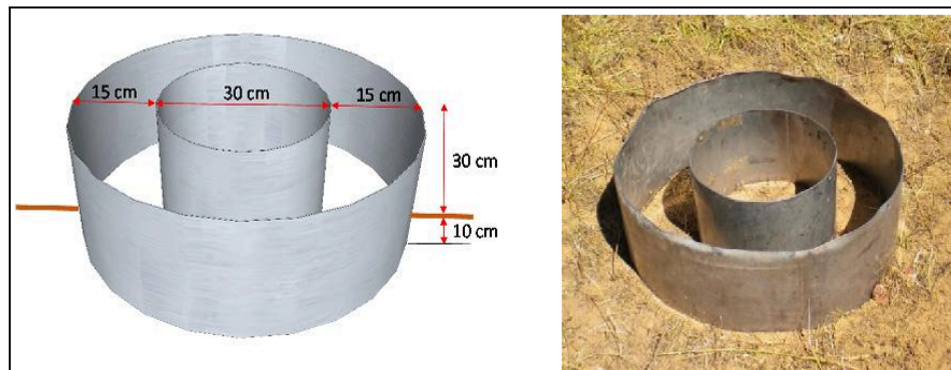


Figura 03: Anillos concéntricos infiltrómetros

Fuente: Delgadillo y Pérez (2016).

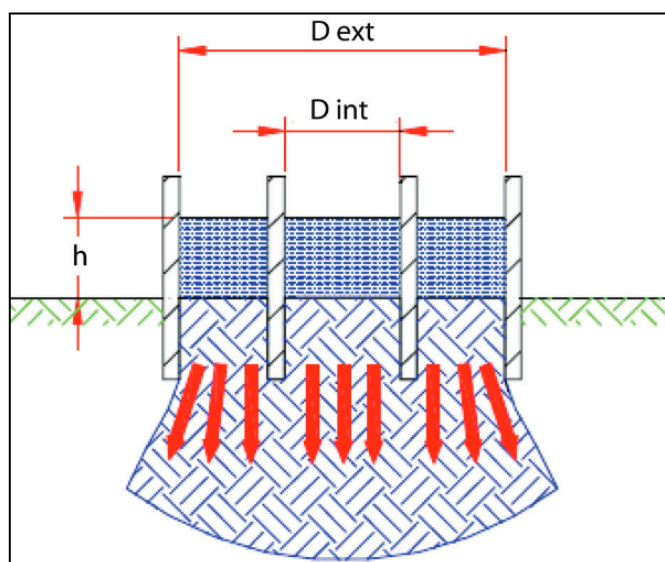


Figura 04: Método de anillos concéntricos infiltrómetros

Fuente: Batres y Barahona (2017).

Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo están vinculadas a su capacidad para ofrecer diversos usos beneficiosos para el ser humano. La productividad de un suelo depende no solo de su contenido de nutrientes, sino también de sus condiciones físicas. Estos estudios de suelos, deben considerar la ubicación de la prueba experimental y distinguirse por tipos, los cuales deben caracterizarse para identificar sus principales propiedades físicas. Esto

permitirá realizar un análisis adecuado en la búsqueda de posibles relaciones entre estos parámetros y la conductividad hidráulica saturada del suelo (Flores y Alcalá, 2010; San Martín, 2022).

- **Densidad real.** Hace referencia a la densidad de las partículas sólidas tomadas en conjunto, expresada como la relación entre la masa total de dichas partículas y su volumen total, excluyendo el espacio ocupado por los poros entre ellas (Ramírez et al., 2015).
- **Densidad aparente.** Corresponde a la relación entre la masa y el volumen total ocupado por las partículas de suelo, incluyendo el espacio poroso. En otras palabras, la densidad aparente del suelo (D_a) es la proporción entre el volumen total del suelo y su masa (Alvarado y Forsythe, 2005).
- **Humedad.** La humedad del suelo se define como la cantidad de agua presente por unidad de masa de sólidos del suelo. La humedad del suelo es altamente dinámica y está influenciada por el clima, la vegetación, la profundidad del suelo, así como por las características y condiciones físicas del perfil del suelo (Flores y Alcalá, 2010).
- **Textura.** La textura se refiere al tamaño de las partículas presentes en el suelo y a la proporción de sus componentes inorgánicos (arena, limo y arcilla). Esta característica influye en la fertilidad del suelo, así como en su capacidad para retener agua, permitir la aireación y contener materia orgánica (San Martín, 2022).
- **Porosidad.** La porosidad total (P_t) se refiere al porcentaje del volumen del suelo que no está ocupado por sólidos. Aproximadamente, el suelo se compone de un 50% de materiales sólidos y un 50% de espacio poroso, permitiendo la circulación de nutrientes, aire, gases y agua (San Martín, 2022).

Propiedades químicas del suelo

La composición química del suelo es esencial para comprender su calidad y, por lo tanto, su capacidad de soporte para los cultivos. El suelo se compone de una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y aire, cuya proporción varía significativamente según

la región y el tipo de suelo (Infoagro, 2017). A continuación, se describen las características químicas principales:

- **Minerales.** Los suelos albergan una diversidad de minerales, como silicatos, óxidos de hierro, carbonatos y arcillas. Estos minerales no solo aportan nutrientes esenciales, sino que también influyen en la textura y estructura del suelo (Infoagro, 2017).
- **Materia orgánica.** Este componente es fundamental para la fertilidad del suelo, ya que la materia orgánica mejora la retención de agua, la aireación y la actividad biológica. Los suelos con alto contenido de materia orgánica suelen ser más productivos (Infoagro, 2017).
- **Nutrientes esenciales.** Nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio son esenciales para el desarrollo de las plantas. Su disponibilidad está altamente influenciada por la composición química del suelo y su nivel de pH (Infoagro, 2017).
- **Potencial de hidrógeno (pH).** El pH del suelo indica su nivel de acidez o alcalinidad, lo cual influye en la disponibilidad de nutrientes. De acuerdo al grado de pH, los suelos pueden clasificarse de la siguiente manera: suelos ácidos ($\text{pH} < 6$), En este tipo de suelos, ciertos nutrientes, como el fósforo, pueden ser menos accesibles, lo que impacta el desarrollo de las plantas. Asimismo, en condiciones ácidas, puede aumentar la toxicidad de los metales pesados. Suelos neutros (pH entre 6 y 7), estos son óptimos para la mayoría de las plantas, ya que favorecen la disponibilidad de nutrientes. Suelos alcalinos ($\text{pH} > 7$), en este tipo, ciertos cultivos pueden adaptarse, sin embargo, el exceso de bicarbonatos y carbonatos puede restringir la absorción de nutrientes, impactando negativamente su crecimiento (Infoagro, 2017).

2.2. MARCO NORMATIVO

Ley General del Ambiente – Ley N.º 28611

Establece principios y normas para la protección del ambiente, incluyendo el suelo como componente ambiental. Señala que los suelos deben ser utilizados sosteniblemente y protegidos contra la contaminación.

Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos – Ley N.º 1278

Esta ley regula la gestión de residuos sólidos desde su generación hasta su disposición final. Prohíbe el uso de botaderos informales y promueve rellenos sanitarios autorizados, además, busca evitar la contaminación de suelos y cuerpos de agua por residuos mal gestionados.

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo – D.S. N.º 011-2017- MINAM

Establece los límites máximos permitidos de contaminantes en suelos. Se aplica especialmente en suelos agrícolas, residenciales, industriales, etc. Evalúa sustancias como metales pesados, hidrocarburos, pesticidas, entre otros.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las características fisicoquímicas influyen en la capacidad de infiltración de los residuos sólidos del distrito de Juliaca – 2025.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Aplicando el método de doble anillo se determina la velocidad de infiltración de agua en el suelo del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca- 2025.
- Las características fisicoquímicas del suelo del botadero son alteradas por la disposición permanente de residuos sólidos del distrito de Juliaca– 2025.
- La disposición permanente de residuos sólidos influye en la velocidad de infiltración de los suelos del botadero del distrito de Juliaca - 2025.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el botadero Chilla, que está ubicado en las coordenadas UTM 15.300285 E y -70.061700 N, de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, la cual se sitúa a 3824 m s. n. m. en la meseta del Collao, al noroeste del Lago Titicaca, en las proximidades de la laguna de Chacas, del río Maravillas y de las Chullpas de Sillustani. Es el mayor centro económico del departamento y una de las mayores zonas comerciales del país.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Palomino et al. (2015) definen la población como el conjunto de individuos, elementos o casos sobre los que se llevan a cabo las observaciones para la recolección de datos. Sobre este particular, la población estuvo compuesta por los suelos contaminados por residuos sólidos de los sitios de disposición final Chilla (Juliaca).

La muestra se consideró como compuesta, es decir, como el conjunto de submuestras simples tomadas de diferentes puntos de un mismo lote, área o unidad de estudio, que luego se mezclaron y homogeneizaron para formar una sola muestra representativa. Esto tiene como objetivo, reducir la variabilidad natural del suelo y obtener un promedio más fiel de sus propiedades físicas, químicas o biológicas.

El muestreo realizado fue sistemático, mediante el método de la cuadrícula sobre las zonas del botadero, formando intersecciones gráficas que constituyen puntos de muestreo para seleccionar. Para aplicar ejecutarla, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- i) Definición del área del estudio: se consideró el área del botadero accesible para realizar los muestreos.
- ii) Diseño de cuadrícula o rejilla: se realizó una superposición de una cuadrícula regular sobre el área de estudio, de manera física in situ.
- iii) Ajuste de la cuadrícula: se adecuó el tamaño de las celdas de la cuadrícula de acuerdo con los propósitos del estudio y el grado de precisión empírico según lo observado.
- iv) Espaciado entre puntos: se eligió un espaciado uniforme entre cada punto, considerando el área total para el estudio.
- v) Identificación de coordenadas: se registraron las coordenadas espaciales de los puntos de muestreo (las intercepciones).
- vi) Recolección e identificación de muestras: se recolectan muestras de suelos mediante calicatas de 30 cm de profundidad en cada punto de muestreo, a partir de los cuales se obtuvo una muestra compuesta. De 1 kg de suelo contaminado y 1 kg de suelo no contaminado (referencia).

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por su finalidad, la investigación es de tipo básica, siendo aquella que busca ampliar el conocimiento teórico y fundamental sobre un fenómeno, sin enfocarse en aplicaciones prácticas inmediatas. Su propósito es entender los principios y fundamentos que subyacen en un área de estudio específica (Carrasco, 2017). En este sentido, se buscó determinar cómo influye la contaminación por residuos sólidos del botadero de Juliaca en las características fisicoquímicas del suelo, Puno – 2025.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación corresponde al no experimental, el cual, según Hernández y Mendoza (2018), se distingue por observar los fenómenos tal como se presentan en su entorno natural, sin intervención o manipulación intencional de las variables independientes. En este tipo de estudio, el investigador no altera las condiciones, sino

que examina las relaciones existentes entre variables ya definidas. Así mismo, es de orden transeccional, ya que la recolección de datos se llevará a cabo en un momento dado.

El nivel de la investigación es descriptiva - comparativa, este tipo de estudio implica la aplicación de métodos o procedimientos para plantear problemas o conjeturas y recoger datos de la realidad objetiva para su verificación, con el fin de dar respuesta a las interrogantes planteadas y generar nuevas leyes y teorías (Palomino et al., 2015). También es explicativa, ya que, se establecen las causas de los fenómenos de estudio, la cual profundizó más allá de la descripción y relación entre las variables (Hernández et al., 2014).

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se empleó el método cuantitativo, el cual se basa en la recolección y análisis de datos numéricos mediante instrumentos estructurados, con el objetivo de probar hipótesis, identificar patrones y establecer relaciones causales a través de métodos estadísticos (Hernández y Mendoza, 2018).

MATERIALES

- **Materiales de campo:** juego de anillos concéntricos de acero inoxidable, regla de 30 cm, nivel, flexómetro, cronómetro, bolsas plásticas herméticas, elementos de protección personal, pala, wincha.
- **Materiales de laboratorio:** materiales y equipos del Laboratorio Analítico del Sur.
- **Materiales de oficina:** libreta de notas, etiquetas, plumón, hojas bond, calculadora.

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se empleó la observación directa, cuyo propósito es recopilar y registrar de manera ordenada los datos relacionados con el tema seleccionado como objeto de estudio (Baena, 2017).

Para medir la velocidad de infiltración, se empleó la técnica de anillos infiltrómetros. Las pruebas se llevan a cabo enterrando dos anillos colocados de forma concéntrica, es decir, uno con un diámetro mayor que el otro. La técnica consiste en llenar con agua ambos

anillos y se mide la tasa de descenso en el anillo interior. Esto se hace para asegurar que el flujo de agua en el suelo sea lo más vertical posible, ya que la infiltración en el anillo exterior restringe el flujo lateral del agua que penetra en el anillo interior, reduciendo así la distorsión en los datos obtenidos.

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el registro de los datos de campo y laboratorio, se emplearon la ficha de observación (Anexo 2). Fueron validados mediante el método de juicio de expertos, el cual permite que especialistas evalúen la estructura, claridad, relevancia y coherencia de los indicadores o criterios presentes en la ficha, asegurando que se alineen con los objetivos del estudio y que permitan observar los aspectos clave de manera precisa. Por lo general, se realizan 3 validaciones (Anexo 3).

3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

3.4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINAR LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE AGUA EMPLEANDO EL MÉTODO DE DOBLE ANILLO EN SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

La velocidad de infiltración del agua se midió en campo mediante el método del doble anillo según se describe a continuación:

- Se seleccionó un punto representativo del terreno.
- Se colocaron dos anillos metálicos concéntricos (uno de 30 cm de diámetro interno y otro de 60 cm externo) y se introdujeron unos 10 a 15 cm en el suelo.
- Se llenaron ambos anillos con agua a la misma altura inicial (5 a 10 cm).
- Se midió el descenso del nivel de agua en el anillo interno cada 5 minutos durante los primeros 30 minutos, y luego cada 10 minutos, hasta la estabilización.
- La velocidad de infiltración se calculó dividiendo el volumen infiltrado por unidad de tiempo y área.

3.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025.

Para determinar las características físicas del suelo, se realizaron los siguientes métodos:

- **Textura:** con este indicador se busca determinar la proporción de arena, arcilla y limo que constituyen el tipo de suelo. Se empleó el método hidrométrico el cual consiste en los siguientes procedimientos:
 - Se dispersa una muestra de suelo con un agente químico que puede ser el hexametáfosfato de sodio.
 - Se agita y se deja decantar en una columna de agua.
 - Se mide la sedimentación de partículas con un hidrómetro en intervalos de tiempo específicos (40 segundos y 2 horas).
 - Se determina la clase de suelo textural mediante el triángulo textural del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).
- **Densidad aparente:** tiene por finalidad medir la cantidad de suelo seco por unidad de volumen. Se determinó mediante el método del cilindro o anillo de volumen conocido, de acuerdo con el siguiente procedimiento:
 - Se introduce un cilindro metálico de volumen conocido entre 100 y 133 cm³ en el suelo.
 - Se extrae y se limpia el exceso de suelo.
 - Se somete a secado la muestra a una temperatura de 105°C hasta alcanzar peso constante.
 - Se pesa y se emplea la relación peso seco sobre volumen del cilindro (g/cm³) para obtener el valor de la densidad aparente.
- **Humedad:** el propósito de este indicador es conocer la cantidad de agua que tiene el suelo en un momento dado. Para ello, se aplicó el método gravimétrico, que consiste en lo siguiente:
 - Se pesa una muestra representativa de suelo.

- Se pesa la muestra húmeda.
- Se somete a secado constante a 105°C durante 24 horas.
- Se pesa nuevamente la muestra secada.
- Luego se estima la humedad mediante la expresión siguiente:

$$\%humedad = \frac{Peso\ húmedo - Peso\ seco}{Peso\ seco} \times 100$$

Las características químicas de los suelos se obtuvieron de la siguiente manera:

- **pH:** se midió aplicando el método potenciométrico, el cual se describe de la siguiente manera:
 - Se seca y tamiza (malla 2 mm) una muestra de suelo.
 - Se pesan entre 10 y 20 g de la muestra de suelo.
 - Se realiza una solución con agua destilada en una relación de 1 de suelo por 2 de agua.
 - Se deja reposar por unos minutos y luego se mide con el pH-metro calibrado.
- **Materia orgánica:** se determinó mediante el método de oxidación húmeda de Walkley y Black según se describe a continuación:
 - Se pesa una muestra de suelo seca y tamizada de aproximadamente 1 gramo.
 - Se mezcla con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4). Esto hace que se oxide la materia orgánica del suelo.
 - El exceso de dicromato que no reaccionó se titula con ferro sulfato para calcular cuánta materia orgánica fue oxidada.
 - Se aplica un factor de corrección (normalmente 1.33) porque no toda la MO se oxida completamente y se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$\%MO = C_{oxidado} \times 1.33 \times 1.724$$

- **Fósforo:** el análisis de fósforo disponible se realizó mediante el método de Bray I, recomendado para suelos de reacción ácida como los presentes en la región de Puno. Este método utiliza una solución extractante de fluoruro de amonio (NH_4F 0.03 M) y ácido clorhídrico (HCl 0.025 M), la cual permite liberar el fósforo ligado a

compuestos de hierro y aluminio. La muestra de suelo, previamente secada al aire y tamizada a 2 mm, se mezcla con la solución extractante en una relación suelo:solución de 1:7. Se agita durante 1 minuto y se filtra. El fósforo en el extracto se cuantifica por espectrofotometría UV-Visible a 880 nm, mediante el desarrollo de color azul por la reacción con molibdato de amonio.

- **Potasio:** el contenido de potasio intercambiable se determinó mediante el método de extracción con acetato de amonio 1N a pH 7, técnica ampliamente empleada en suelos agrícolas. Las muestras de suelo fueron previamente secadas al aire y tamizadas con una malla de mm. Luego, se prepara una mezcla en proporción suelo:solución de 1:10, la cual se agita durante 30 minutos. Posteriormente, se filtrará la suspensión y el extracto es analizado mediante fotometría de emisión de llama, a fin de cuantificar el potasio disponible.
- **Nitrógeno:** el contenido de nitrógeno total en el suelo es determinado mediante el método de digestión Kjeldahl, recomendado para suelos agrícolas. Las muestras son previamente secadas al aire y tamizadas a 2 mm. Posteriormente, son sometidas a digestión con ácido sulfúrico (H_2SO_4) en presencia de un catalizador, lo cual permitirá la conversión del nitrógeno orgánico a formas amoniacales. El amonio formado es destilado y capturado en una solución de ácido bórico, y luego se valora por titulación con ácido estándar.

3.4.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

Para determinar la influencia de la presencia de residuos sólidos en la velocidad de infiltración de suelos en Puno, se realizó un análisis estadístico de comparación de medias de muestras independientes considerando los siguientes criterios:

- Si los datos de la velocidad de infiltración medidos en campo tienen un comportamiento normal, se emplea la prueba t – student de lo contrario, se emplearía la prueba de U Mann Whitney – Wilcoxon. La prueba de normalidad se determinó

mediante la prueba de normalidad Shapiro Wilk y se comprobó según los siguientes criterios estadísticos:

- Hipótesis nula (H_0): los datos siguen una distribución normal.
- Hipótesis alterna (H_a): los datos no siguen una distribución normal.
- Nivel de probabilidad 95%.
- Significancia 0.05.
- Si significancia ≤ 0.05 existen diferencias estadísticamente significativas por lo cual se rechaza la hipótesis nula, por el contrario, se acepta.
- Las comparaciones se realizaron entre las mediciones de la variable de un suelo no contaminado de la zona y del suelo contaminado, cada grupo por separado.
- Para comprobar la hipótesis, se establecen los siguientes criterios estadísticos:
 - Hipótesis nula (H_0): la presencia de residuos sólidos no influye en la velocidad de infiltración en suelos en Puno.
 - Hipótesis nula (H_a): la presencia de residuos sólidos influye en la velocidad de infiltración en suelos en Puno.
 - Nivel de probabilidad 95%.
 - Significancia 0.05.
 - Si significancia bilateral ≤ 0.05 existen diferencias estadísticamente significativas, por tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

- **Características fisicoquímicas del suelo**

Definición conceptual: La productividad de un suelo depende no solo de su contenido de nutrientes, sino también de sus condiciones físicas como la densidad, textura, humedad y porosidad.

Dimensiones: Características físicas y características químicas.

Tipo de variable: Independiente.

Indicadores: densidad real, densidad aparente, textura, humedad y porosidad; velocidad de infiltración, pH, N, P, K y materia orgánica.

Escala de medición: de razón.

- **Capacidad de infiltración del suelo**

Definición conceptual: La capacidad de infiltración del suelo se define como la velocidad con la que el agua penetra desde la superficie hacia el interior del suelo, dependiendo de factores como la textura, estructura, porosidad, contenido de materia orgánica y grado de compactación. Este parámetro refleja la capacidad del suelo para absorber y retener agua, siendo un indicador esencial de su funcionalidad y salud ambiental.

Dimensiones: Textura, estructura del suelo, porosidad, permeabilidad, velocidad de infiltración (método del doble anillo).

Tipo de variable: Dependiente

Indicadores: Tasa de infiltración inicial (mm/h), Tasa de infiltración estable (mm/h) y tiempo de infiltración total (minutos).

Escala de medición: de razón.

A continuación, en la Tabla 2 se muestra la operacionalización de las variables dependiente e independiente.

Tabla 02: Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala
Independiente: características fisicoquímicas	Características físicas	Suelo no contaminado (referencia)	De Razón
		Textura	
		Densidad aparente	
		Humedad (%)	
		Velocidad de infiltración (cm/min)	
	Características químicas	Potencial de hidrógeno (pH)	
		Materia orgánica (%)	
		Fósforo	
		Potasio	
		Nitrógeno	
Dependiente: Suelos contaminados por residuos sólidos	Textura y estructura del suelo.	Tasa de infiltración inicial (mm/h).	
	Porosidad y permeabilidad.	Tasa de infiltración estable(mm/h).	
	Velocidad de infiltración	Tiempo de infiltración total (minutos).	

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE AGUA EMPLEANDO EL MÉTODO DE DOBLE ANILLO EN SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA

Para medir la velocidad de infiltración de agua mediante el método de doble anillo, se identificaron 5 puntos de análisis tanto para el suelo del botadero como para el suelo de referencia no contaminado, donde se tomaron lecturas de altura de agua al pasar un tiempo de 60 minutos. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 03: Velocidad de infiltración de agua en suelo contaminado por residuos sólidos del botadero de Chilla

Grupo de estudio	PM	Infiltrado	Tiempo	Velocidad (cm/h)
		(cm)	(min)	
Suelo contaminado - Botadero Chilla	1	2.5	60	2.50
	2	2.7	60	2.70
	3	2.8	60	2.80
	4	2.6	60	2.60
	5	2.5	60	2.50
Suelo no contaminado (control)	1	4.0	60	4.00
	2	4.5	60	4.50
	3	3.8	60	3.80
	4	4.2	60	4.20

5 3.6 60 3.60

De la Tabla 3, se puede observar que la velocidad de infiltración del suelo contaminado varía entre 2.5 cm/h hasta 2.8 cm / h, mientras que en el suelo no contaminado, la velocidad resultó mayor en todos los puntos, variando de 3.6 cm/h hasta 4.20 cm /h. La media de la velocidad de infiltración por tipo de suelo, se compara en la Figura 5.

Este resultado concuerda con lo reportado por Chávez Fuentes (2023) en la ciudad de Chota, quien encontró que los lixiviados provenientes del botadero municipal redujeron la velocidad de infiltración del suelo en un 30% en comparación con suelos sin contaminación, además de modificar su textura, disminuir su capacidad de drenaje y afectar la retención de agua.

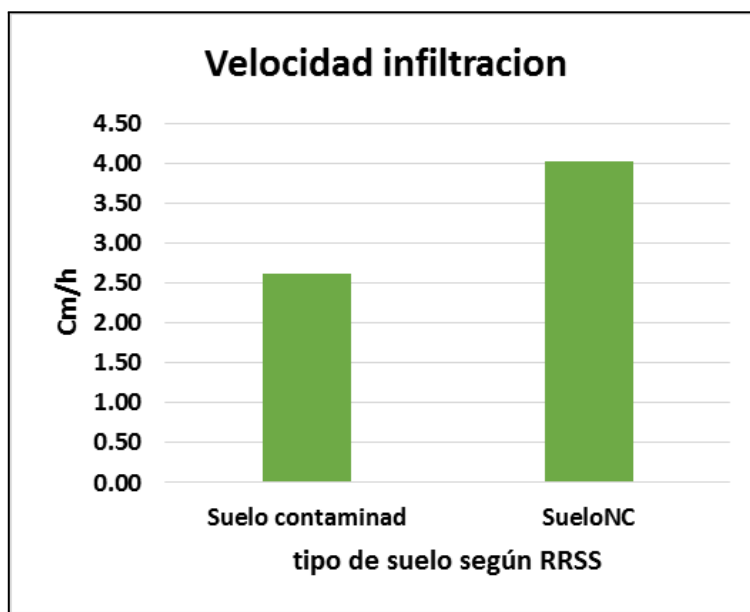


Figura 05: Velocidad de infiltración promedio de suelo contaminado por RRSS vs suelo no contaminado.

Nota: NC: no contaminado.

Como se puede apreciar en la Figura 5, la velocidad de infiltración del suelo contaminado por residuos sólidos es mucho menor al suelo no contaminado, esto quiere decir que, la presencia de residuos sólidos altera su estructura y porosidad, haciendo que el agua no

penetre con la misma facilidad que en un suelo limpio, lo que degrada su calidad y funciones ambientales.

Investigaciones como la de Huamán (2016) donde se evaluó la capacidad de infiltración de agua en el suelo, utilizando infiltrómetros de doble anillo, se determinó que la velocidad de infiltración depende de la textura del suelo; en suelos arenosos, donde la compactación es menor, el agua se infiltra rápidamente, mientras que, en suelos arcillosos, la infiltración ocurre de forma más lenta. Lo cual coincide con lo hallado en la presente investigación, donde los suelos analizados se clasificaron como franco arenoso alcanzando velocidades de infiltración de 2.6 cm /h en el afectado por residuos sólidos y hasta 4.02 cm/h en suelo limpio, en comparación con los suelos analizados por San Martín (2022), que fueron franco arenoso y obtuvo una velocidad de infiltración de 1.4 cm/h (0.3355 m/día).

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL SUELO DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En la Tabla 3, se muestran las características físicas del suelo contaminado por residuos sólidos del botadero de Chilla en contraste con las del suelo no contaminado de la misma zona.

Tabla 04: Características físicas de los suelos contaminados vs suelo no contaminado

Grupo de estudio	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clasificación	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm³)
Suelo contaminado						
con RRSS - Botadero Chilla	78	8	14	Franco arenoso	9.28	1.176
Suelo no contaminado (control)	77	7	16	Franco arenoso	2.4	0.924
Diferencia:	1.3%	14.3%	-12.5%	NA	287%	27.3%

Se puede apreciar de la Tabla 4, respecto al % de arena, el existe una diferencia positiva de 1.3% respecto al suelo de referencia, indicando que el suelo contaminado tiene 1.3 veces más arena que el no contaminado. Para el % de limo, se tiene que el suelo contaminado tiene 14.3 veces más que el no contaminado, mientras que para el contenido de arcillas, el suelo no contaminado tiene 12.5 veces menos que el no contaminado, es decir, muestra pérdida. No obstante, las dos muestras de suelo se clasifican como franco arenosos.

Con esto resultados, se puede inferir que un suelo con menor arcilla puede presentar mayor capacidad de drenaje, puede ser más liviana y más fácil de labrar, sin embargo, puede tener tendencia a secarse con mayor rapidez lo que hace que en épocas de sequías requiere riego con más frecuencia y puede limitar el desarrollo de microorganismos benéficos para el suelo.

Saavedra La Torre (2020), en su estudio sobre el botadero de Cuñumbuque, encontró que los suelos contaminados por residuos sólidos presentaron un incremento del 7.5% en la fracción arenosa y una reducción del 9.8% en el contenido de arcilla respecto al suelo no contaminado, además de un aumento en la densidad aparente de 0.91 g/cm³ a 1.12

g/cm³, evidenciando una compactación moderada. De forma similar, Chávez Fuentes (2023) reportó en el botadero de Chota que el porcentaje de arena se incrementó de 70% a 79%, mientras que el contenido de arcilla disminuyó de 18% a 12%, generando una textura más suelta y permeable.

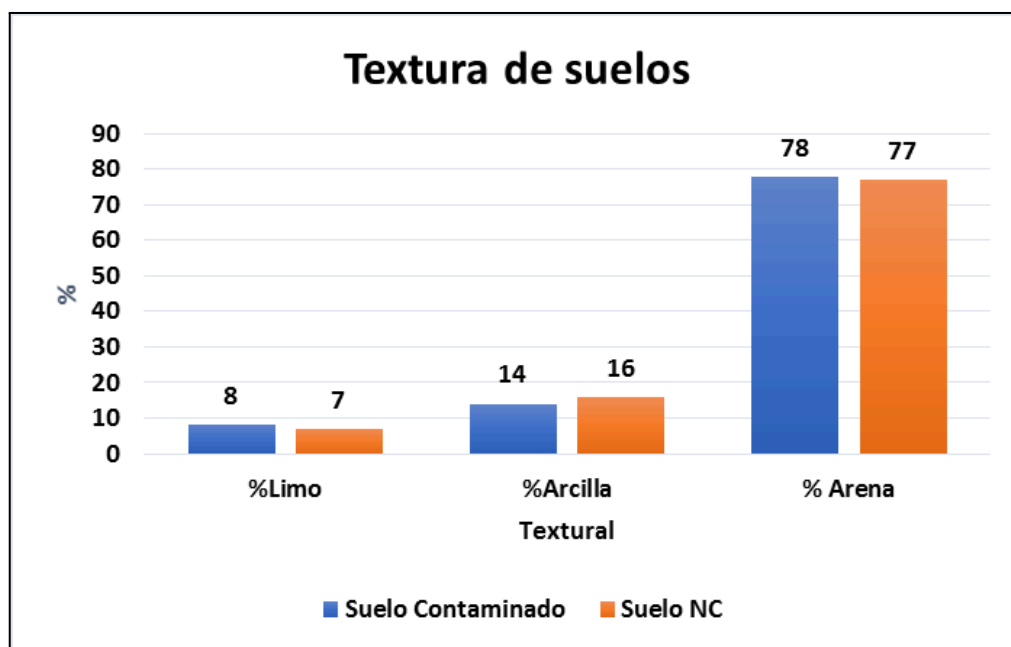


Figura 06: Textura de suelo contaminado y no contaminado por RRSS

Nota: NC = no contaminado.

En la Figura 6, se puede ver la comparación de las características texturales entre el suelo contaminado por residuos sólidos y uno no contaminado. Donde se resalta que el contenido de limo es mayor en el suelo contaminado mientras, el contenido de arcilla, es menor.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Mamani y Gutiérrez (2022) en el botadero de Azángaro, donde el suelo contaminado presentó un incremento del 6% en arena y una disminución del 4% en arcilla, alterando su estructura hacia un franco arenoso con mayor permeabilidad. Asimismo, Chávez Fuentes (2023) evidenció en el botadero de Chota que los lixiviados incrementaron el contenido de limo de 6% a 9% y redujeron el de arcilla de 18% a 12%, generando suelos con menor cohesión y retención hídrica. En ese sentido, el comportamiento observado en el botadero de Chilla confirma

que la contaminación por residuos sólidos influye directamente en la textura del suelo, favoreciendo la pérdida de fracción arcillosa y el aumento de limo y arena.

Con relación a la humedad, en la Figura 7, se muestra una comparación entre los dos tipos de suelo, el contaminado por RRSS y el no contaminado.

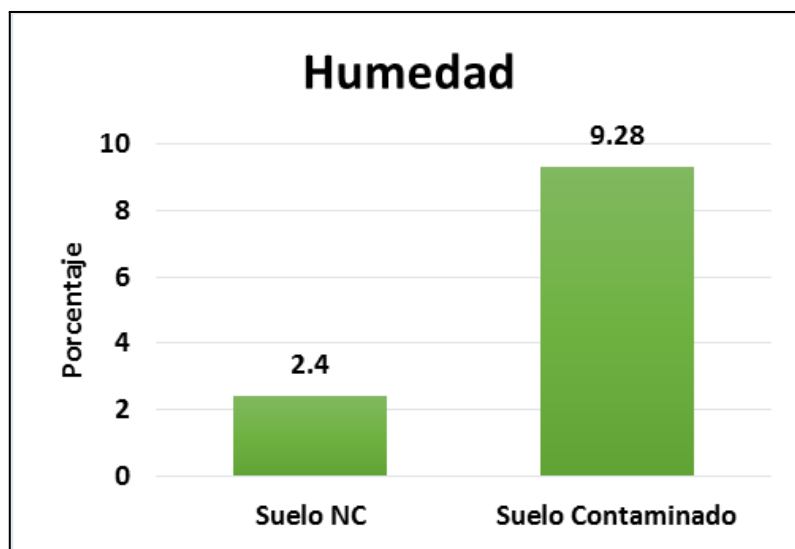


Figura 07: % Humedad de suelo contaminado y suelo no contaminado por RRSS

Nota: NC = no contaminado.

Como se visualiza en la Figura 7, el suelo no contaminado es excesivamente más húmedo, superando en 287% al suelo no contaminado. Esto significa que, desde el punto de vista químico, al haber residuos sólidos, estos generan lixiviados contaminantes que pueden transportar metales pesados o exceso de nutrientes hacia capas más profundas del suelo, mientras que desde el punto de vista ecológico, un exceso de humedad puede provocar condiciones anaeróbicas favoreciendo malos olores y propiciar microorganismos patógenos. Además, un suelo con alto contenido de humedad, físicamente se vuelve más pesado y pegajoso dificultando labores agrícolas.

Estos resultados se relacionan con lo reportado por Saavedra La Torre (2020) en el botadero de Cuñumbuque (San Martín), donde se observó que la humedad del suelo contaminado alcanzó 10.3%, mientras que en zonas no afectadas fue de 3.1%, mostrando un incremento del 232% debido a la acumulación de lixiviados. De manera similar, Chávez Fuentes (2023) en el botadero de Chota determinó que los suelos con

exposición a lixiviados presentaron un aumento de humedad de 8.9% frente a 2.8% en suelos control, evidenciando condiciones de saturación que reducen la permeabilidad y la aireación del suelo. En concordancia, los resultados obtenidos en el botadero de Chilla reflejan un patrón similar, confirmando que la contaminación por residuos sólidos incrementa significativamente la humedad del suelo y altera su equilibrio físico-químico.

En la Figura 8, se presenta la comparación de la densidad aparente entre el suelo contaminado por residuos sólidos del botadero Chilla y el suelo no contaminado, con el objetivo de analizar cómo la contaminación influye en la compactación y estructura del suelo.

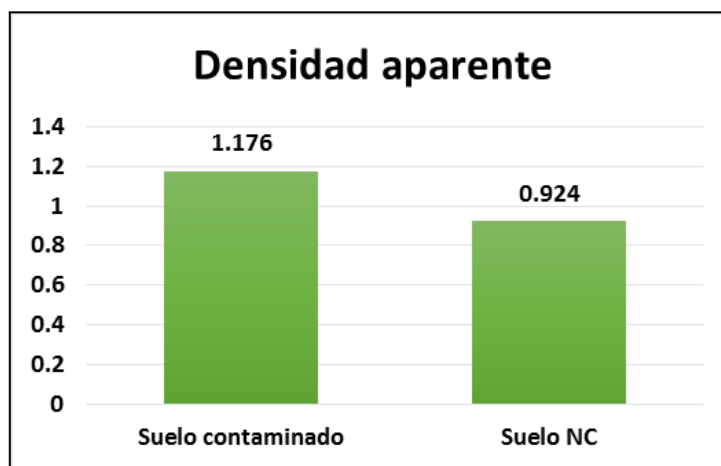


Figura 08: Densidad de suelo contaminado vs suelo no contaminado por RRSS

Nota: NC = no contaminado.

De la Figura 8, se observa que el suelo contaminado es mucho más denso que el no contaminado con una densidad aparente de 1.176 kg/cm³ en contraste a 0.924 kg/cm³, generando una diferencia por exceso de 27.3% respecto al suelo no contaminado.

Respecto a estos resultados, un suelo contaminado con residuos sólidos presenta mayor densidad aparente porque los residuos compactan y rellenan los espacios vacíos naturales del suelo, reduciendo su porosidad y su calidad para funciones ecológicas y agrícolas.

Desde el punto de vista físico, el suelo se vuelve más duro, menos permeable y con menor capacidad de infiltración de agua. Mientras que, biológicamente, las raíces y los

microorganismos tienen más dificultad para desarrollarse por la baja aireación. Ambientalmente, un suelo con alta densidad aparente favorece la escorrentía superficial, aumentando el riesgo de erosión y de transporte de contaminantes hacia cuerpos de agua.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Estrada et al. (2021), quienes encontraron que los suelos contaminados con residuos sólidos en el distrito de Cajamarca presentaron una densidad aparente promedio de 1.21 g/cm³, superior al 0.95 g/cm³ de los suelos no contaminados, con una diferencia relativa del 27.4%. Asimismo, Saavedra La Torre (2020) en el botadero de Cuñumbuque observó valores de 1.18 g/cm³ frente a 0.90 g/cm³ en suelos control, indicando que la acción antrópica y la acumulación de residuos sólidos interrumpen el equilibrio natural, incrementando la densidad aparente y reduciendo la calidad física del suelo.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

En la Tabla 5, se resumen las características químicas analizadas en los suelos, contaminados con residuos sólidos del botadero Chilla en Juliaca y del no contaminado. Se analizó el contenido de nutrientes (nitrógeno, potasio y fósforo), pH y materia orgánica.

Tabla 05: Características químicas del suelo contaminado con RRSS y no contaminado

Grupo de estudio	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	pH	Materia orgánica (%)
Suelo contaminado con RRSS	874	220.6	950	8.08	0.874
Suelo no contaminado (referencia)	3617	425.5	777.5	6.34	3.617
Diferencia	-75.8%	-48.2%	22.2%	27.4%	-75.8%

En términos generales, como se observa en la Tabla 5, se obtuvieron diferencias notables en las características químicas del suelo contaminado respecto al no contaminado con

residuos sólidos, encontrándose mayor margen de diferencia en el contenido de nitrógeno, la materia orgánica y el contenido de fósforo.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Chávez Fuentes (2023), quien en su estudio “Nivel de riesgo ambiental generado por los lixiviados en el botadero de residuos sólidos de la ciudad de Chota” demostró que los lixiviados alteran la composición química del suelo, elevando los niveles de materia orgánica y fósforo total. Asimismo, Saavedra La Torre (2020) encontró que la presencia prolongada de lixiviados en el botadero de Cuñumbuque genera un aumento irregular de nutrientes y compuestos nitrogenados, lo que afecta la capacidad de retención y equilibrio natural del suelo.

A continuación, se presenta una comparación gráfica por cada una de las características químicas de los suelos.

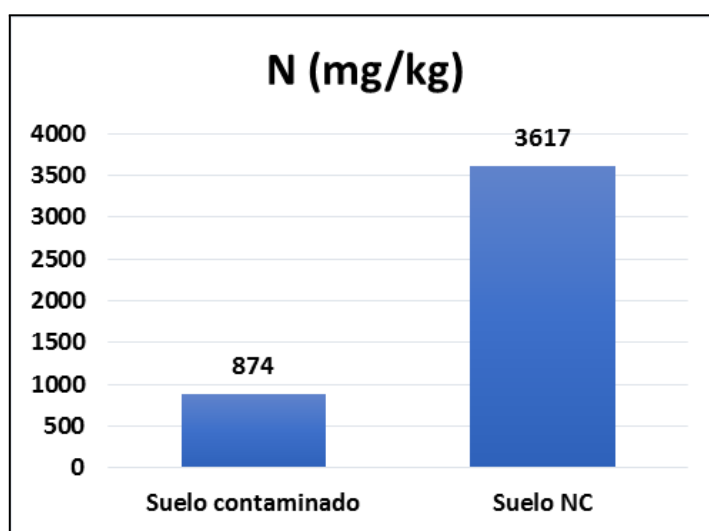


Figura 09: Contenido de nitrógeno (N) en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado

En la Figura 9, se puede apreciar que el contenido de nitrógeno es mucho menor en el suelo contaminado en una proporción de 75.8% respecto a un suelo sin contaminantes de residuos sólidos. Esto se debe a que los residuos sólidos desplazan la fracción fértil, dañan la microbiota y favorecen la pérdida del nitrógeno existente, impidiendo que el suelo mantenga su ciclo natural de nutrientes.

Estos resultados son coherentes con lo reportado por Chávez Fuentes (2023), quien en el botadero de Chota registró valores promedio de nitrógeno total de 0.08% en suelos contaminados frente a 0.33% en suelos control, mostrando una reducción del 75.7%, atribuida al daño en la microbiota y al lavado de compuestos nitrogenados por los lixiviados. De manera similar, Saavedra La Torre (2020) halló una disminución del 70% del nitrógeno total en suelos afectados por residuos sólidos en Cuñumbuque, confirmando que la acumulación de lixiviados genera pérdidas sustanciales de nutrientes esenciales.

En la Figura 10, se muestra la comparación del contenido de fósforo (P) encontrado en el suelo contaminado con residuos sólidos del botadero Chilla frente a un suelo no contaminado.

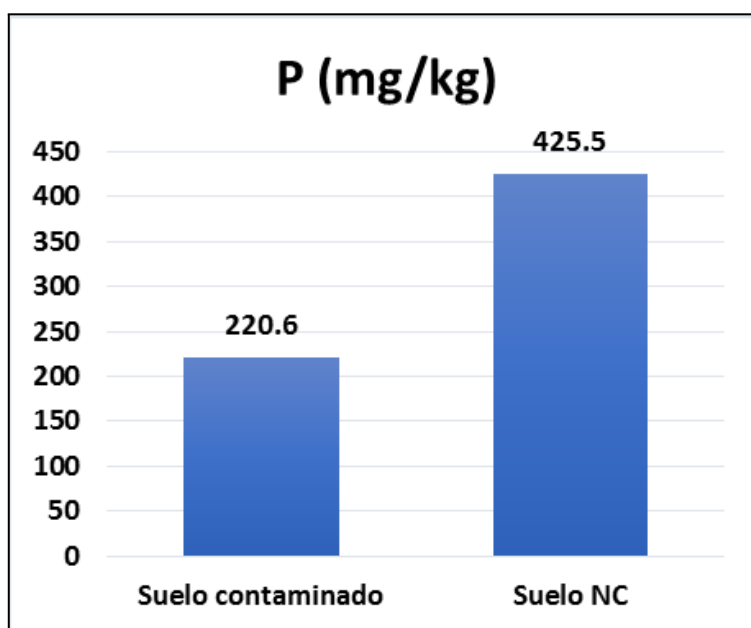


Figura 10: Contenido de fósforo (P) en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado

De la Figura 10, se aprecia que el contenido de fósforo es menor en el suelo contaminado respecto al no contaminado con residuos sólidos en una proporción de 48.2%. Esto se debe porque los residuos diluyen la fracción fértil, inmovilizan el fósforo en formas no disponibles, dañan la microbiota que lo libera y facilitan su pérdida por escorrentía o lixiviación.

Estos resultados son coherentes con lo reportado por Chávez Fuentes (2023), quien en el botadero de Chota registró valores de fósforo disponible de 2.4 mg/kg en suelos contaminados frente a 4.7 mg/kg en suelos control, evidenciando una reducción del 48.9%, atribuida al efecto de los lixiviados sobre la estructura y la química del suelo. De manera similar, Saavedra La Torre (2020) encontró que los suelos expuestos a residuos sólidos presentaban una disminución de 50 a 55% del fósforo disponible, producto de la acumulación de compuestos insolubles y la pérdida de microorganismos benéficos. Por tanto, los resultados obtenidos en el botadero de Chilla confirman que la contaminación por residuos sólidos afecta directamente la disponibilidad de fósforo en el suelo, limitando su fertilidad, su capacidad de retener nutrientes y su potencial de recuperación ecológica. Respecto al potasio (K), en la Figura 11 se muestra la comparación entre el suelo contaminado con residuos sólidos y el suelo no contaminado.

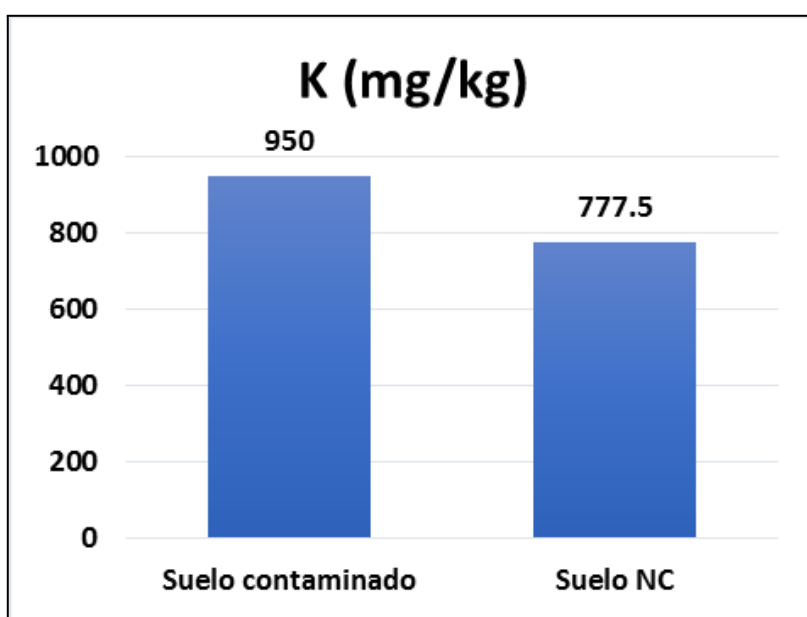


Figura 11: Contenido de potasio (K) en suelo contaminado con RRSS y suelo no contaminado

En la Figura 11 se observa una concentración de potasio (K) de 950 mg/kg en el suelo contaminado, frente a 777.5 mg/kg en el suelo no contaminado. Esto evidencia un mayor contenido de potasio en el suelo con presencia de residuos sólidos, con una diferencia proporcional del 22.2 % respecto al suelo limpio. Esta diferencia se atribuye a que

diversos residuos —como materia orgánica, cenizas y lixiviados urbanos constituyen fuentes directas de sales potásicas. Al acumularse en el suelo sin ser absorbidas por las plantas ni lixiviadas, estas sales elevan artificialmente la concentración de K en comparación con suelos no alterados.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Saavedra (2019), quien en su estudio sobre la contaminación del suelo por lixiviados del botadero de Cuñumbuque (San Martín) determinó concentraciones de potasio de 265.32 ppm en la muestra M1 y 203.63 ppm en la muestra M2, evidenciando también un incremento de K asociado a la acumulación de residuos. Sin embargo, los valores registrados en la presente investigación (950 ppm y 777.5 ppm) son de 2.8 a 4.6 veces superiores, lo que sugiere que los suelos del botadero de Chilla presentan una mayor carga salina y mineralización, posiblemente derivada del tipo y volumen de residuos dispuestos, así como de las condiciones climáticas locales que favorecen la evaporación y la concentración de sales. Por tanto, los resultados confirman que la contaminación por residuos sólidos urbanos contribuye al enriquecimiento anómalo de potasio en el suelo, afectando su balance químico natural y su capacidad para sostener cultivos o vegetación nativa a largo plazo.

En cuanto al potencial de hidrógeno (pH), en la Figura 12 se muestra la comparación entre los dos tipos de suelos.

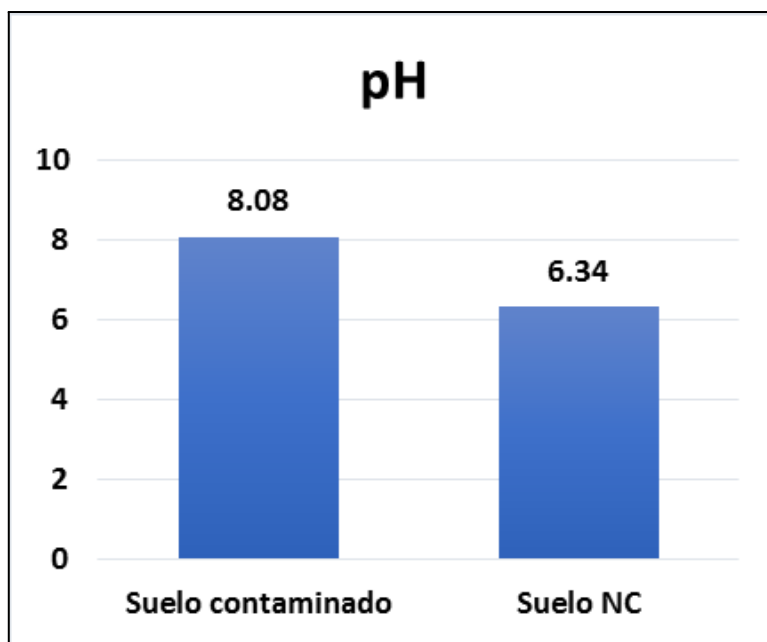


Figura 12: pH en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado

Se observa en la Figura 12 que el pH es mayor, es decir, más alcalino en suelo contaminado con un valor de 8.08 en contraste con 6.34 del suelo no contaminado, lo cual indica que la contaminación con residuos sólidos está alcalinizando el medio, muy probablemente por materiales de naturaleza básica (escombros, cenizas, sales), lo que contrasta con el pH 6.34 del suelo no contaminado, más cercano al rango natural de fertilidad.

Estos resultados coinciden con lo hallado por Saavedra La Torre (2020) en su investigación “Contaminación del suelo por lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuque, San Martín”, donde se reportaron valores de pH entre 7.8 y 8.2 en suelos contaminados, en comparación con 6.2 a 6.5 en suelos control, lo que confirma el efecto alcalinizante de los lixiviados ricos en carbonatos, bicarbonatos y sales metálicas. En concordancia con ello, los resultados de la presente investigación en el botadero de Chilla (Juliaca, 2025) demuestran que la acumulación de residuos sólidos altera significativamente el equilibrio ácido-base del suelo, favoreciendo su alcalinización. Este cambio químico reduce la biodisponibilidad de micronutrientes y disminuye la fertilidad natural del suelo, afectando su capacidad productiva y su función ecológica como soporte de vegetación y filtro natural de contaminantes

Por último, se observa en la Figura 13 el contenido de materia orgánica entre el suelo contaminado con residuos sólidos en el botadero Chilla y el no contaminado.

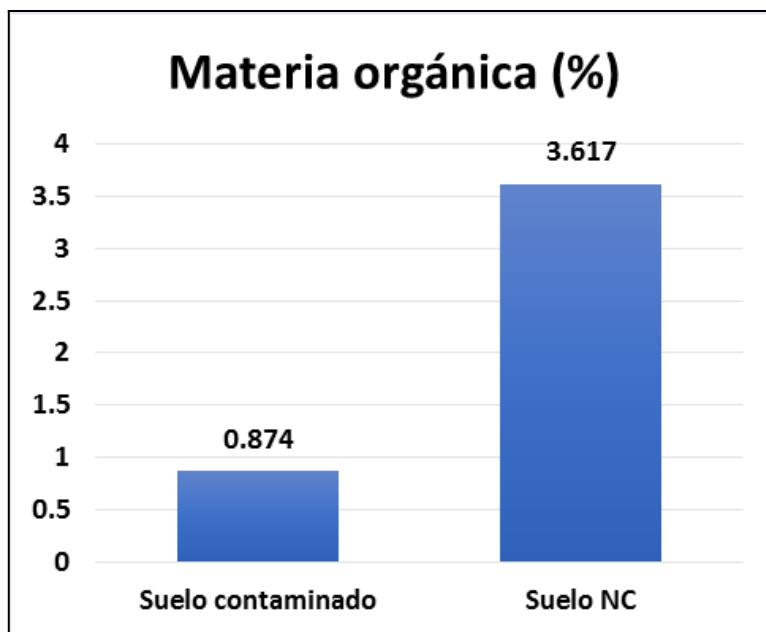


Figura 13: Materia orgánica en suelo contaminado con RRSS vs suelo no contaminado

Como se puede apreciar en la Figura 13, el contenido de materia orgánica es mucho mayor en el suelo no contaminado que en el contaminado, con una diferencia muy notable de 75.8%. Esto indica que el suelo limpio mantiene su equilibrio ecológico (aporte vegetal + microorganismos + humificación), mientras que en el suelo contaminado los residuos sólidos interrumpen ese ciclo, impidiendo la formación de humus y reduciendo su fertilidad natural.

En relación con estos hallazgos, Ferradas y Guerra (2019), al evaluar la calidad del suelo en el botadero “San Idelfonso”, reportaron un contenido de materia orgánica de 1.72 % en suelos impactados frente a 6.45 % en suelos no alterados, señalando que la presencia de residuos sólidos disminuye significativamente la calidad del suelo. De manera similar, Ramírez et al. (2017) encontraron que los suelos contaminados por lixiviados presentan un descenso notable en la materia orgánica, acompañada de un incremento en el contenido de potasio y sodio debido al arrastre de sales. Por tanto, los resultados de la presente investigación confirman que la contaminación por residuos sólidos reduce considerablemente la materia orgánica del suelo, afectando sus propiedades

fisicoquímicas y biológicas, y comprometiendo su capacidad de regeneración y soporte vegetal.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

Para determinar la influencia de los residuos sólidos en la velocidad de infiltración de los suelos del botadero de Juliaca, se analizaron 5 puntos de un suelo limpio, sin presencia de residuos sólidos y 5 puntos del suelo del área estudiada, de tal manera poder hacer una comparación de medias y determinar influencias significativas. Para ello, primero se verificó la normalidad de los datos, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 06: Prueba de normalidad de la velocidad de infiltración

Grupo		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Velocidad de infiltración	Suelo contaminado	0.902	5	0.421
	Suelo NC	0.989	5	0.976

Nota: NC es suelo no contaminado. Sig. (valor de significancia), gl (grados de libertad).

Como se puede observar de la Tabla 5, el p-valor (sig.) es mayor que 0.05, lo cual indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores de la variable de infiltración en ambos tipos de suelo, por lo cual, los datos muestran un comportamiento normal. Ante ello, se optó por aplicar la prueba paramétrica t – student.

Estos resultados respaldan los antecedentes de la tesis de Chávez Fuentes (2023), quien reportó que, aunque los lixiviados afectan la infiltración, los datos de suelos contaminados y no contaminados podrían evaluarse mediante pruebas estadísticas paramétricas debido a su normalidad. Asimismo, Saavedra La Torre (2020) observó un patrón similar en suelos impactados por residuos sólidos, permitiendo el uso de comparaciones estadísticas confiables para evaluar la influencia de los lixiviados sobre la capacidad de infiltración.

En la Tabla 7, se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias para muestras independientes t- student.

Tabla 07: Prueba t -student

Variable	Criterio de varianzas	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	Superior	Inferior
Velocidad de infiltración	Se asumen varianzas iguales	3.337	0.105	-8.397	8	0.000	-1.40000	0.16673	-1.78449	-1.0155	
	No se asumen varianzas iguales			-8.397	7	0.000	-1.40000	0.16673	-1.82625	-0.97375	

Nota: gl: grados de libertad. Sig. (p-valor).

Los resultados de la Tabla 6 muestran un p-valor (sig.) de la prueba t -student, mucho menor que 0.05, lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre la velocidad de infiltración del suelo contaminado y la del suelo no contaminado, con ello, se acepta la hipótesis de la investigación, determinando que la presencia de residuos sólidos influye en la velocidad de infiltración de agua en el suelo.

Este hallazgo coincide con lo reportado por Chávez Fuentes (2023), quien señaló que los lixiviados provenientes de residuos sólidos modifican las propiedades físicas del suelo, afectando su estructura y la infiltración de agua. Por lo tanto, la contaminación por residuos sólidos impacta negativamente en la funcionalidad del suelo, limitando su capacidad de drenaje y afectando el desarrollo de la vegetación y el equilibrio ecológico de la zona.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La contaminación por residuos sólidos afecta significativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo y la velocidad de infiltración del agua en el distrito de Juliaca. El suelo contaminado mostró un incremento en humedad y densidad aparente, así como una disminución considerable en nitrógeno, fósforo y materia orgánica, mientras que los niveles de potasio aumentaron y el pH se tornó más alcalino. La velocidad de infiltración del agua se redujo de 4.02 cm/h en el suelo limpio a 2.6 cm/h en el suelo afectado, evidenciando que los residuos sólidos disminuyen notablemente la capacidad de infiltración. En conjunto, estos hallazgos confirman que la disposición inadecuada de residuos sólidos impacta de manera significativa la calidad y funcionalidad del suelo, cumpliendo con el objetivo general de la investigación.

SEGUNDA: Respecto a las características fisicoquímicas del suelo contaminado por residuos sólidos en comparación con un suelo no contaminado, se observaron diferencias significativas. El contenido de humedad en el suelo afectado por residuos sólidos fue 287% superior al del suelo limpio. Asimismo, la densidad aparente fue considerablemente mayor en el suelo contaminado, con un incremento del 27.3% respecto al suelo sin alteraciones. Ambos suelos fueron clasificados como franco arenoso, lo que aporta mayor confiabilidad y validez a los resultados al tratarse de suelos con similares propiedades texturales. En cuanto al contenido de nutrientes, el suelo contaminado presentó menores concentraciones de nitrógeno (874 mg/kg) y fósforo (220.6 mg/kg) en comparación con el suelo limpio (3617 mg/kg y 425.5 mg/kg, respectivamente). Por el contrario, el contenido de potasio fue más elevado en el suelo contaminado (950 mg/kg) frente al suelo limpio (777.5 mg/kg). El pH del suelo contaminado fue alcalino (8.08), mientras que el del suelo

limpio fue ligeramente ácido (6.34). Finalmente, el suelo contaminado mostró una baja proporción de materia orgánica (0.874%) en comparación con el suelo limpio (3.617%).

TERCERA: En relación con la velocidad de infiltración del agua, se determinó que el suelo contaminado presentó una tasa inferior (2.6 cm/h) respecto al suelo limpio (4.02 cm/h).

CUARTA: Con respecto a la influencia de los residuos sólidos en la velocidad de infiltración del agua, se evidencia con un nivel de confianza del 95%, que los residuos afectan significativamente esta variable física en comparación con un suelo no contaminado.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: A la municipalidad Implementar un sistema de gestión integral de residuos sólidos, estableciendo programas de recolección, clasificación y tratamiento de residuos, junto con campañas de sensibilización ciudadana para reducir la contaminación del suelo ya que la disposición inadecuada de residuos sólidos altera significativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo, reduciendo su capacidad de infiltración y afectando su funcionalidad

SEGUNDA: Realizar monitoreos periódicos de las propiedades fisicoquímicas del suelo, Implementando un plan de monitoreo semestral que permita evaluar la evolución de estos parámetros y detectar zonas críticas para su recuperación, ya que se evidenció cambios drásticos en humedad, densidad aparente, pH y contenido de nutrientes entre suelos contaminados y no contaminados.

TERCERA: Promover la recuperación de suelos degradados mediante técnicas de biorremediación, aplicando estrategias como el uso de microorganismos, compostaje y revegetación con especies nativas para mejorar la estructura del suelo y su capacidad de infiltración ya que la baja infiltración del agua en suelos contaminados (2.6 cm/h frente a 4.02 cm/h en suelos limpios) indica pérdida de funcionalidad hidrológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A., y Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 29(1), 85-94.
- Armenta Arceo, A. A. (2016). Análisis de metales pesados (Pb, Hg y Cd) presentes en las muestras de suelo de Bacalar contaminado con lixiviados generados con residuos sólidos urbanos (RSU). [Tesis, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo]. <https://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1270>
- Baena, G. (2017). Metodología de la investigación (Grupo Editorial Patria).
- Batres, C. A., y Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>
- Carrasco, S. (2017). Metodología de la investigación. San Marcos.
- Carrizales, A. M. T., & Panca, M. A. A. (2020). Evaluación del impacto de la contaminación de los residuos sólidos sobre suelo y agua del botadero sanitario de Cancharani – Puno [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano – Puno].
- Chambi Castro, J. (2024). Análisis de parámetros físicos y químicos en suelos de zonas impactadas por disposición de residuos: estudio aplicado en Puno [Tesis de licenciatura, Universidad Privada San Carlos].
- Chávez Fuentes, E. N. (2023). Nivel de riesgo ambiental generado por los lixiviados en el botadero de residuos sólidos de la ciudad de Chota, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental.

- Comex Perú. (2022). Solo aprovechamos el 1% de residuos orgánicos e inorgánicos que generamos. COMEXPERU - Sociedad de Comercio Exterior Del Perú. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/solo-aprovechamos-el-1-de-residuos-organicos-e-inorganicos-que-generamos>
- Delgadillo, L., y Pérez, L. (2016). Medición de la infiltración del agua en el suelo—Método del dobel anillo. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64774007/2016_Medicion_infiltracion_doble_
- Díaz Fonseca, B. W. (2019). Evaluación de la contaminación del suelo por lixiviados del botadero Municipal del Distrito de San Pablo—2018 [Tesis, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31560>
- El Estado Peruano. (2024). Apurímac: OEFA realiza acciones de supervisión ante cierre de botadero Quitasol [Institucional]. gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/oeфа/noticias/930899-apurimac-oeфа-realiza-acciones-de-supervision-ante-cierre-de-botadero-quitasol>
- Estrada, M., Achkar, M., y Donadío, A. (2021). Comportamiento de la tasa de infiltración y su relación con parámetros físicos - químicos de los suelos como indicadores en la mejora de la conservación del agua, en los lugares intervenidos con el proyecto + agua + identidad. Geo UERJ, 39, Article 39. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2021.51481>
- Ferradas, L., y Guerra, Y. (2019). Disposición final de residuos sólidos municipales y la calidad del suelo del botadero San Idelfonso—Laredo [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22442>
- Flores, L., y Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos—Física de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Garate-Quispe, J. S., Chura, N. B., Sardon, N. P., Herrera-Machaca, M., y Linares, H. D. (2022). Diferencia en la capacidad de infiltración del suelo en dos tipos de

- cobertura vegetal en la amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 31(2), Article 2.
<https://doi.org/10.24841/fa.v31i2.578>
- Gualteros, A. M. Q., y Suárez, L. F. M. (2019). Problemática ambiental generada por lixiviados en Bogotá. *Ingeciencia*, 4, 66-78.
- Hernández Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas: cuantitativa ,cualitativa y mixta. Mc Graw Hill educación.
<http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Huamán Huamán, J. L. (2016). Evaluación de la capacidad de infiltración por precipitaciones, utilizando infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha-abancay, 2016 [Tesis, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/144>
- Infoagro. (2017, julio 12). Entendiendo el Suelo: Composición química y pH para cultivos exitosos. *Revista InfoAgro México*.
<https://mexico.infoagro.com/composicion-quimica-del-suelo-y-su-ph/>
- INTAGRI. (2017). Clasificación del Suelo: WRB y Soil Taxonomy. [Institucional]. Intagri.
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/clasificacion-del-suelo-WRB-y-soil-taxonomy>
- Janampa Chauca, J. A. (2024). Biorremediación para neutralización de metales pesados en suelos y aguas contaminadas por lixiviados de residuos sólidos [Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola].
- Naciones Unidas. (2024, febrero 25). Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024 | UNEP - UN Environment Programme.
<https://www.unep.org/es/resources/perspectiva-mundial-de-la-gestion-de-residuos-2024>
- Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2023). Diagnóstico y resultados de la supervisión ambiental a la disposición final de los residuos sólidos municipales

en el Perú 2022 [Informe País: Disposición final de residuos sólidos municipales].
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5153431/Informe%20pai%CC%81s.%20Disposicio%CC%81n%20final%20de%20los%20residuos%20so%CC%81lido%20municipales.pdf?v=1695134596>

Pacompiá Coaquira, T. G. (2023). Efecto por lixiviados del botadero municipal en el suelo por metales pesados, distrito de llave – 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada San Carlos].

Palomino, J., Peña, J., y Zevallos, G. (2015). Metodología de la Investigación (San Marcos).

Pellón, A., López, M., Espinosa, M. D. C., y Escobedo, R. (2009). Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. Tecnología Química, 29. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543761014.pdf>

Quispe, L. (2022). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en zonas impactadas por residuos sólidos en la ciudad de Puno [Tesis de ingeniería ambiental, Universidad Nacional del Altiplano – Puno].

Quispe Ascuña, W. (2024). Análisis de la contaminación del botadero del centro poblado Chilla y su relación con las características del suelo de la urbanización [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

Ramírez, A. Q., González, Y. V., y Valencia, L. A. L. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. *DYNA*, 84(203), 283-290.

Ramírez, J., Fernández, Y., González, P. J., Salazar, X., Iglesias, J., y Olivera, Y. (2015). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrus maximus*. Pastos y Forrajes. <https://www.semanticscholar.org/paper/Influencia-de-la-fertilizaci%C3%B3n-en-las-propiedades-a-Ram%C3%ADrez-Fernandez/a7cf984a4bd067d388369eb7220ab5ace1c89f2d>

- Ramos, M. (2023). Determinación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en pozos artesanales adyacentes al botadero de Chilla – Juliaca [Informe técnico, Universidad Nacional del Altiplano – Puno].
- Rodríguez, M., & Pérez, J. (2020). Evaluación de la contaminación del suelo por residuos sólidos urbanos en la provincia de Santa Clara, Cuba [Tesis de licenciatura, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas].
- Saavedra, K. A. (2020). Contaminación del suelo por lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuque, San Martín, 2019. *Repositorio Institucional - UCV*, 1–45. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58600/B_Saavedra_LTKA-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Saavedra, V. (2021). Estudio de degradación de suelos por efecto de los residuos sólidos [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/>
- Sáez, A., y Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3). <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
- San Martín, L. (2022). Evaluación del método de los anillos infiltrómetros como alternativa de medición de la conductividad hidráulica [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SAN%20MARTIN%20LARREA%20LUIS%20S AUL.pdf>.
- Velásquez Vilca, L. C. (2021). Evaluación de niveles de contaminación de agua y suelo generados por los lixiviados del botadero de Chilla en Juliaca, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

Problema	Objetivo	Hipótesis	VARIABLES	Metodología
<p>General: ¿En qué medida las características fisicoquímicas del suelo influyen en la capacidad de infiltración en el botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025?</p> <p>Específicos: ¿Cómo es la velocidad de infiltración de agua empleando el método de doble anillo en suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025?</p> <p>¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca- 2025</p> <p>¿Cómo influye la presencia de residuos sólidos en la velocidad de infiltración de los suelos del botadero del distrito de Juliaca- 2025</p>	<p>General: Evaluar la influencia de las características fisicoquímicas en la capacidad de infiltración de los suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca– 2025</p> <p>Específicos: Determinar la velocidad de infiltración de agua empleando el método de doble anillo en suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025.</p> <p>Determinar las características fisicoquímicas del suelo del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025</p> <p>Determinar la influencia de los residuos sólidos en la velocidad de infiltración de los suelos del botadero del distrito de Juliaca – 2025.</p>	<p>General: Las características fisicoquímicas influyen en la capacidad de infiltración de los suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca– 2025.</p> <p>Específicos: Aplicando el método de doble anillo se determina la velocidad de infiltración de agua en suelos del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca– 2025.</p> <p>Las características fisicoquímicas del suelo del botadero son alteradas por la disposición permanente de residuos sólidos del distrito de Juliaca - 2025</p> <p>La disposición permanente de residuos sólidos influye en la velocidad de infiltración de los suelos del botadero del distrito de Juliaca – 2025.</p>	<p>Independiente: Características fisicoquímicas</p> <p>Dependiente: Capacidad de infiltración del suelo</p>	<p>Tipo de investigación: Básica Diseño no experimental Descriptivo – comparativo - explicativo Método cuantitativo</p> <p>Población/muestra: Suelos contaminados por residuos sólidos del botadero Chilla (Juliaca)</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección: Ficha de registro de datos de campo y laboratorio</p>

Anexo 02: Instrumentos de recolección de datos

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

Responsable: Yesica Madeleine Ortega Bedoya **Zona de estudio:** Botadero de Basura Chilla - Juliaca

Laboratorio: Laboratorios Analíticos del Sur

REGISTRO DE DATOS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Punto de muestra	Coordenada UTM		Muestra (código)	Textura				Humedad (% p/p)	Densidad aparente (g/cm ³)
	Norte	Este		% arena	%Limo	% arcilla	Clase		
01	-70.101746	-15.498886	01	78%	8%	14%	Franco Arenoso	(a 105°C) :9.28%	1.176g/cm ³
02	-70.101589	-15.498961	01	78%	8%	14%	Franco Arenoso	(a 105°C) :9.28%	1.176g/cm ³
03	-70.101615	-15.499340	01	78%	8%	14%	Franco Arenoso	(a 105°C) :9.28%	1.176g/cm ³
04	-70.101613	-15.499619	01	78%	8%	14%	Franco Arenoso	(a 105°C) :9.28%	1.176g/cm ³
05	-70.101624	-15.499568	01	78%	8%	14%	Franco Arenoso	(a 105°C) :9.28%	1.176g/cm ³

Proyecto: INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

Responsable: Yesica Madeleine Ortega Bedoya **Zona de estudio:** Suelo limpio - Juliaca

Laboratorio: Laboratorios Analíticos del Sur

Registro de datos CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Punto de muestreo	Coordenada UTM		Muestra (código)	Textura				Humedad (% p/p)	Densidad aparente (g/cm ³)
	Norte	Este		% arena	%Limo	% arcilla	Clase		
01	-70.061700	15.300285	02	77	7%	16%	Franco Arenoso (a 105°C):2.40%	0.924g/cm ³	
02	-70.059150	15.306500	02	77	7%	16%	Franco Arenoso (a 105°C):2.40%	0.924g/cm ³	
03	-70.059000	15.306600	02	77	7%	16%	Franco Arenoso (a 105°C):2.40%	0.924g/cm ³	
04	-70.059200	15.306200	02	77	7%	16%	Franco Arenoso (a 105°C):2.40%	0.924g/cm ³	
05	-70.059300	15.306800	02	77	7%	16%	Franco Arenoso (a 105°C):2.40%	0.924g/cm ³	

MUESTRA 1 : SUELO CONTAMINADO

Proyecto: INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

Responsable: Yesica **Zona de estudio:** Botadero - Contaminado
Laboratorio: Laboratorios Analíticos del Sur

REGISTRO DE DATOS - Propiedades Químicas del suelo

Punto de muestreo	Coordenada UTM		Muestra compuesta	Nutrientes			pH	Materia orgánica (%MO)
	Norte	Este		N	P	K		
01	70.101746	-15.498886	1	874mg /kg	220.6 mg/kg	950m g/kg	(25°C): 8.080(al calino)	(MO) 0.874%
02	70.101589	-15.498961	1	874mg /kg	220.6 mg/kg	950m g/kg	(25°C): 8.080(al calino)	(MO) 0.874%
03	70.101615	-15.499340	1	874mg /kg	220.6 mg/kg	950m g/kg	(25°C): 8.080(al calino)	(MO) 0.874%
04	70.101613	-15.499619	1	874mg /kg	220.6 mg/kg	950m g/kg	(25°C): 8.080(al calino)	(MO) 0.874%
05	70.101624	-15.499568	1	874mg /kg	220.6 mg/kg	950m g/kg	(25°C): 8.080(al calino)	(MO) 0.874%

MUESTRA 2: SUELO LIMPIO

Proyecto: INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025

Responsable: YESICA Zona de estudio: BOTADERO DE BASURA CHILLA - JULIACA

Laboratorio: Laboratorios Analíticos del Sur

REGISTRO DE DATOS - Propiedades Químicas del suelo

Punto de muestreo	Coordenada UTM		Muestra (código)	Nutrientes			pH	Materia orgánica (%MO)
	Norte	Este		N	P	K		
01	-70.061700	15.300285	2	3617 mg/kg	425.5 mg/kg	777.5 mg/kg	(25°C): 6.341	(MO) 3.617%
02	-70.059150	15.306500	2	3617 mg/kg	425.5 mg/kg	777.5 mg/kg	(25°C): 6.341	(MO) 3.617%
03	-70.059000	15.306600	2	3617 mg/kg	425.5 mg/kg	777.5 mg/kg	(25°C): 6.341	(MO) 3.617%
04	-70.059200	15.306200	2	3617 mg/kg	425.5 mg/kg	777.5 mg/kg	(25°C): 6.341	(MO) 3.617%
05	-70.059300	15.306800	2	3617 mg/kg	425.5 mg/kg	777.5 mg/kg	(25°C): 6.341	(MO) 3.617%

MUESTRA 1 : SUELOS CONTAMINADOS				
Proyecto: INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025				
REGISTRO DE DATOS: Ficha de medición de la infiltración				
Responsable:		YESICA MADELEINI		
Características de los anillos				
Anillo	Material		Diámetro	Altura
Anillo externo:	Acero galvanizado		30cm	40cm
Anillo interno:	Acero galvanizado		60cm	40cm
Características del punto de muestreo				
N°	Coordenada N		Coordenada E	
Lectura	Nivel de agua (cm)		Infiltrado (final-inicial) cm	Tiempo (min)
	Inicial	Final		
01	10	7.5	2.5	60
02	10	7.3	2.7	60
03	10	7.2	2.8	60
04	10	7.4	2.6	60
05	10	7.5	2.5	60

MUESTRA2: SUELOS LIMPIOS				
Proyecto: INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA – 2025				
REGISTRO DE DATOS: Ficha de medición de la infiltración				
Responsable:		YESICA MADELEINI		
Características de los anillos				
Anillo	Material		Diámetro	Altura
Anillo externo:	Acero galvanizado		30cm	40cm
Anillo interno:	Acero galvanizado		60cm	40cm
Características del punto de muestreo				
N°	Coordenada N		Coordenada E	
Lectura	Nivel de agua (cm)		Infiltrado (final-inicial) cm	Tiempo (min)
	Inicial	Final		
01	10	6.0	4.0	60
02	10	5.5	4.5	60
03	10	6.2	3.8	60
04	10	5.8	4.2	60
05	10	6.4	3.6	60

Anexo 03: Informes de laboratorio



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : DAC5477E

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00028

Fecha de emisión:16/08/2025

Página 1 de 3

Señores : YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA
Dirección : CHIHUATA AREQUIPA
Atención : YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA

Proyecto : "INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA - 2025"

Muestreo realizado por : Laboratorio : YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA

Fecha de recepción : 9/08/2025

Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 017-25

Fecha de ensayo : 16/08/2025

Número de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
SD25000032	MUESTRA 2	Suelo	JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.300285 - 70.061700	7/08/2025	16:30
Condiciones de recepción de la muestra						
Al ambiente						
Observación						
-						

Firmado por: SIXTO VICENTE JUÁREZ NEIRA.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : DAC5477E

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00028

Fecha de emisión:16/08/2025

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7074		*7095					
		p ap	C E (Compensado a 25°C)	K	M. O.	N	P	pH (Compensado a 25°C)	Textura - Arcilla
		g/cm3	µS/cm	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	Unidad de pH	%
SD25000032	MUESTRA 2	0,924	202,0	777,5	3,617	3617	452,5	6,341	16

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7095			*7097
		Textura - Arena	Textura - Clase textural	Textura - Limo	H ₂ O
		%	<SIN UNIDAD>	%	%
SD25000032	MUESTRA 2	77	Franco Arenoso	7	2,40

Firmado por: SIXTO VICENTE JUÁREZ NEIRA, G



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico CIP 19474



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : ADC277E8

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00029

Fecha de emisión:16/08/2025

Página 1 de 3

Señores : YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA
Dirección : CHIHUATA AREQUIPA
Atención : YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA

Proyecto : "INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LOS SUELOS DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE JULIACA - 2025"

Muestreo realizado por : Laboratorio : YESICA MADELEINE ORTEGA BEDOYA

Fecha de recepción : 9/08/2025

Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 017-25

Fecha de ensayo : 16/08/2025

Número de muestras : 1

Firmado por: SIXTO VICENTE JUÁZ

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas	Fecha de inicio de muestreo	Hora de inicio de muestreo
SD25000031	MUESTRA 1	Suelo	JULIACA / SAN ROMAN / PUNO	15.498880 - 70.101747	7/08/2025	14:30
Condiciones de recepción de la muestra						
Al ambiente						
Observación						
-						



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Clave generada : ADC277E8

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-25-00029

Fecha de emisión:16/08/2025

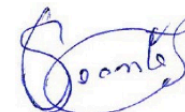
Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7074				*7095			
		ρ ap	C E (Compensado a 25°C)	K	M. O.	N	P	pH (Compensado a 25°C)	Textura - Arcilla
		g/cm3	µS/cm	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	Unidad de pH	%
SD25000031	MUESTRA 1	1,176	2407	950	0,874	874	220,6	8,080	14

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*7095			*7097
		Textura - Arena	Textura - Clase textural	Textura - Limo	H ₂ O
		%	<SIN UNIDAD>	%	%
SD25000031	MUESTRA 1	78	Franco Arenoso	8	9,28

Firmado por: SIXTO VICENTE JUÁZ NEIRA



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico CIP 19474

Anexo 04: Memoria fotográfica



Figura 14: Acumulación de residuos sólidos en el botadero del distrito de Juliaca.



Figura 15: Vista del botadero de residuos sólidos del distrito de Juliaca, mostrando la acumulación de desechos sólidos en la zona de estudio.



Figura 16: Recolección de muestras de suelo en la zona afectada por residuos.



Figura 17: Recolección de muestras de suelo en la zona afectada por residuos.



Figura 18: Almacenamiento temporal de muestras de suelo en bolsas etiquetadas.



Figura 19: Rotulación de muestras de suelo en bolsas etiquetadas.



Figura 20: Pruebas del proceso de infiltración en suelos contaminados.



Figura 21: Acabado de rotular las bolsas con las muestras.



Figura 22: Almacenamiento de muestras de suelo en bolsas etiquetadas.



Figura 23: Traslado de las muestras al laboratorio de análisis.