

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**DINÁMICA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN EL
CIERRE DE MINAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA MINERA
YANACocha EN EL PERIODO 2013-2019, CAJAMARCA, 2024**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

HENRY OMAR LLICO SANDOVAL

ASESOR

Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA

CAJAMARCA – PERÚ

2025



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- Investigador:
HENRY OMAR LLICO SANDOVAL
DNI: N° 72944474
Escuela Profesional/Unidad UNC:
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
- Asesor:
Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
- Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:
DINÁMICA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CIERRE DE MINAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA MINERA YANACOA EN EL PERIODO 2013-2019, CAJAMARCA, 2024
- Fecha de evaluación: 20/11/2024
- Software antiplagio: **TURNITIN** **URKUND (OURIGINAL) (*)**
- Porcentaje de Informe de Similitud: 10 %
- Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 07/02/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia



Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA

DNI: 26620894



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


En la ciudad de Celendín, a los treinta días del mes de enero del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **aula 101** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 679-2024-FCA-UNC, de fecha 16 de diciembre del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**DINÁMICA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CIERRE DE MINAS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA MINERA YANACOCCHA EN EL PERIODO 2023 - 2019, CAJAMARCA, 2024**", realizada por el Bachiller **HENRY OMAR LLICO SANDOVAL** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DOCE** horas con **QUINCE** minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con calificativo de **DIECISEIS (16)**; por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **TRECE** horas y **CINCO** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.




Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
PRESIDENTE



ING° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
SECRETARIO



Ing. M. Cs. Adolfo Máximo Lopez Aylas
VOCAL



Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
ASESOR

COPYRIGHT © 2025 by
HENRY OMAR LLICO SANDOVAL
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y enseñanzas han sido la base de mi formación académica y personal. Su dedicación y sacrificio me han inspirado a perseguir mis metas con perseverancia y determinación. Este trabajo es un reflejo de los valores que me han inculcado y un homenaje a su constante aliento en cada paso de mi camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente al Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia, mi asesor, por su valiosa orientación, apoyo constante y dedicación durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

Expreso mi gratitud a los docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca, sede Celendín, quienes han compartido su conocimiento y experiencia, enriqueciendo mi formación académica a lo largo de este proceso.

Agradezco a la empresa Newmont Yanacocha por proporcionar los recursos y la información necesarios, lo que facilitó el desarrollo de este estudio. Sin la contribución y respaldo de todos ustedes, este trabajo no hubiera sido posible.

Asimismo, reconozco a todas las personas que me brindaron su apoyo en la realización de esta investigación. Su colaboración y motivación han sido invaluable para alcanzar este objetivo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. <i>Dinámica de la propiedades físico-químicas del suelo</i>	11
2.2.2. <i>Contaminación del suelo por actividades mineras</i>	23
2.2.3. <i>Cierre de mina</i>	25
2.2.4. <i>Restauración de suelos degradados</i>	26
2.2.5. <i>Restauración del área de influencia de la minera Yanacocha</i>	28
2.3. Definición de términos básicos.....	30
2.3.1. <i>Dinámica de las propiedades fisicoquímicas del suelo</i>	30
2.3.2. <i>Propiedades Físico-Químicas del Suelo</i>	30
2.3.3. <i>Área degradada</i>	30
2.3.4. <i>Plan de cierre de minas</i>	30

CAPÍTULO III.....	31
MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Ubicación de la investigación	31
3.2. Condiciones Ambientales y Geológicas del Área de Estudio.....	33
3.3. Materiales, equipos	34
3.4. Metodología.....	35
CAPÍTULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Dinámica temporal de las propiedades físicas del suelo como la textura (arena, limo, arcilla), durante el período 2013-2019	38
4.2. Dinámica de las propiedades químicas del suelo como el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, P (disponible), K (disponible), durante el período 2013-2019.....	45
4.3. Dinámica de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes cambiabes en el suelo (Ca, Mg, K, Na) y la, durante el periodo 2013-2019	76
CAPÍTULO V.....	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1. Conclusiones.....	95
5.2. Recomendaciones	96
CAPÍTULO VI	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
CAPÍTULO VII	114
ANEXOS.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Valores de la capacidad de intercambio catiónico.....	21
Tabla 2 Funciones y momento crítico de los nutrientes del suelo	22
Tabla 3 Factores del suelo que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas	22
Tabla 4 Interacciones de la actividad minera con el ambiente	24
Tabla 5 Coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo.....	31
Tabla 6 Propiedades físicas en los puntos de monitoreo	38
Tabla 7 Propiedades químicas del suelo en el periodo 2013-2019	45
Tabla 8 CIC (meq/100g) y cationes cambiabes Ca, Mg, K, Na (meq/100g) en el suelo	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas.....	13
Figura 2 Etapas del cierre de mina.....	25
Figura 3 Ubicación del estudio.....	32
Figura 4 Visita a campo para la identificación de los puntos de monitoreo.....	35
Figura 5 Obtención de los informes de laboratorio.....	36
Figura 6 Distribución porcentual de textura del suelo en el punto YAPZ1	39
Figura 7 Distribución porcentual de textura del suelo en el punto YADDZ1	40
Figura 8 Distribución porcentual de textura del suelo en LQarN.....	41
Figura 9 Distribución porcentual de textura del suelo en el punto CNHRZ1	42
Figura 10 Distribución porcentual de textura del suelo en el punto MMDDZ3.....	43
Figura 11 Distribución porcentual de textura del suelo en el punto SJDRZ2.....	44
Figura 12 Potencial de hidrógeno en el punto YAPZ1	46
Figura 13 Potencial de hidrógeno en el punto YADDZ1	47
Figura 14 Potencial de hidrógeno en el punto LQarN.....	48
Figura 15 Potencial de hidrógeno en el punto CNHRZ1	49
Figura 16 Potencial de hidrógeno en el punto MMDDZ3.....	50
Figura 17 Potencial de hidrógeno en el punto SJDRZ2.....	51
Figura 18 Conductividad eléctrica en el punto YAPZ1	52
Figura 19 Conductividad eléctrica en el punto YADDZ1.....	53
Figura 20 Conductividad eléctrica en el punto LQarN	54
Figura 21 Conductividad eléctrica en el punto CNHRZ1	55
Figura 22 Conductividad eléctrica en el punto MMDDZ3	56

Figura 23 Conductividad eléctrica en el punto SJDRZ2.....	57
Figura 24 Materia orgánica en el punto YAPZ1	58
Figura 25 Materia orgánica en el punto YADDZ1	59
Figura 26 Materia orgánica en el punto LQarN.....	60
Figura 27 Materia orgánica en el punto CNHRZ1.....	61
Figura 28 Materia orgánica en el punto MMDDZ3.....	62
Figura 29 Materia orgánica en el punto SJDRZ2	63
Figura 30 Fósforo disponible en el punto YAPZ1.....	64
Figura 31 Fósforo disponible en el punto YADDZ1	65
Figura 32 Fósforo disponible en el punto LQarN.....	66
Figura 33 Fósforo disponible en el punto CNHRZ1.....	67
Figura 34 Fósforo disponible en el punto MMDDZ3.....	68
Figura 35 Fósforo disponible en el punto SJDRZ2	69
Figura 36 Potasio disponible en el punto YAPZ1.....	70
Figura 37 Potasio disponible en el punto YADDZ1	71
Figura 38 Potasio disponible en el punto LQarN.....	72
Figura 39 Potasio disponible en el punto CNHRZ1	73
Figura 40 Potasio disponible en el punto MMDDZ3.....	74
Figura 41 Potasio disponible en el punto SDJRZ2	75
Figura 42 Capacidad de intercambio catiónico en el punto YAPZ1.....	77
Figura 43 Capacidad de intercambio catiónico en el punto YADDZ1	78
Figura 44 Capacidad de intercambio catiónico en el punto LQarN.....	79
Figura 45 Capacidad de intercambio catiónico en el punto CNHRZ1.....	80
Figura 46 Capacidad de intercambio catiónico en el punto MMDDZ3.....	81
Figura 47 Capacidad de intercambio catiónico en el punto SJDRZ2	82

Figura 48 Calcio (Ca^{+2}) cambiabile en el punto YAPZ1	83
Figura 49 Calcio cambiabile en el punto YADDZ1.....	84
Figura 50 Calcio cambiabile en el punto LQarN.....	85
Figura 51 Calcio cambiabile en el punto CNHRZ1.....	86
Figura 52 Calcio cambiabile en el punto MMDDZ3	87
Figura 53 Calcio cambiabile en el punto SJDRZ2.....	88
Figura 54 Magnesio, potasio y sodio cambiabiles en el punto YAPZ1	89
Figura 55 Magnesio, potasio y sodio cambiabiles en el punto YADDZ1.....	90
Figura 56 Magnesio, potasio y sodio cambiabiles en el punto LQarN.....	91
Figura 57 Magnesio, potasio y sodio cambiabiles en el punto CNHRZ1	92
Figura 58 Magnesio, potasio y sodio cambiabiles en el punto MMDDZ3	93
Figura 59 Magnesio, potasio y sodio cambiabiles en el punto SDJRZ2.....	94

RESUMEN

Conocer las dinámicas del suelo en rehabilitación afectados por actividades mineras a gran escala es fundamental para la sostenibilidad ambiental y restauración de las propiedades edáficas. El estudio tuvo como objetivo determinar la dinámica de las propiedades físico-químicas del suelo en el cierre de minas del área de influencia de la Minera Yanacocha entre 2013 y 2019. Se realizó un análisis retrospectivo de informes de laboratorio de suelos de seis puntos distribuidos en la zona, enfocándose en propiedades físicas y químicas como la textura del suelo, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo y potasio disponibles, así como los cationes intercambiables (Ca, Mg, K, Na). Los resultados mostraron que la textura del suelo evolucionó de franco arenosa a franco-arcillo-arenosa en casi todos los puntos a lo largo del tiempo; el pH osciló entre 3.91 y 4.80, con incrementos en los primeros años y fluctuaciones posteriores; la conductividad eléctrica varió entre 0.44 y 1.25 dS/m, mostrando una dinámica similar al pH. La materia orgánica presentó valores entre 0.66% y 3.01%, con una tendencia general hacia el aumento; el fósforo disponible fluctuó entre 0.17 y 0.38 ppm, y el potasio disponible mostró un rango de 0.15 a 0.43 ppm; la capacidad de intercambio catiónico (CIC) varió entre 11.2 y 27.2 meq/100g, con una tendencia general hacia el aumento; los cationes intercambiables mostraron una dinámica similar, con Ca entre 1.03 y 2.65 meq/100g, Mg entre 0.13 y 0.47 meq/100g, K entre 0.11 y 0.37 meq/100g, y Na entre 0.02 y 0.14 meq/100g.

Palabras clave: Dinámica, propiedades fisicoquímicas, suelo, rehabilitación

ABSTRACT

Knowing the dynamics of soil under rehabilitation affected by large-scale mining activities is essential for environmental sustainability and restoration of edaphic properties. The objective of the study was to determine the dynamics of the physical-chemical properties of the soil in the closure of mines in the area of influence of Minera Yanacocha between 2013 and 2019. A retrospective analysis of soil laboratory reports from six points distributed in the area, focusing on physical and chemical properties such as soil texture, pH, electrical conductivity, organic matter, available phosphorus and potassium, as well as exchangeable cations (Ca, Mg, K, Na). The results showed that the soil texture evolved from sandy loam to sandy clay loam at almost all points over time; The pH ranged between 3.91 and 4.80, with increases in the first years and fluctuations later; The electrical conductivity varied between 0.44 and 1.25 dS/m, showing a similar dynamic to pH. Organic matter presented values between 0.66% and 3.01%, with a general trend towards increase; available phosphorus fluctuated between 0.17 and 0.38 ppm, and available potassium showed a range of 0.15 to 0.43 ppm; The cation exchange capacity (CEC) varied between 11.2 and 27.2 meq/100g, with a general trend towards increase; The exchangeable cations showed similar dynamics, with Ca between 1.03 and 2.65 meq/100g, Mg between 0.13 and 0.47 meq/100g, K between 0.11 and 0.37 meq/100g, and Na between 0.02 and 0.14 meq/100g.

Keywords: Dynamics, physicochemical properties, soil, rehabilitation.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La interacción entre el desarrollo económico y la preservación ambiental es un tema de creciente relevancia en el ámbito global. La explotación intensiva de recursos naturales ha generado una presión significativa sobre los ecosistemas, llevando a la degradación ambiental y a la alteración de los servicios que estos proporcionan. En este contexto, las actividades mineras han sido objeto de un análisis crítico debido a su capacidad para transformar drásticamente el entorno, afectando no solo la calidad del suelo, sino también la salud de los ecosistemas circundantes. A medida que la demanda de recursos sigue en aumento, se hace imprescindible abordar las dinámicas y consecuencias de estas actividades, especialmente en regiones donde la minería ha dejado una huella duradera en los recursos naturales y en la vida de las comunidades (Sánchez, 2019, p. 51).

Las tendencias globales actuales se alinean con el paradigma capitalista de producción a gran escala, caracterizado por la acumulación, el consumo excesivo y la explotación de recursos naturales. Este modelo se sustenta en la creciente demanda de productos, bienes y servicios, impulsada por el avance tecnológico, el incremento

demográfico y la generación de necesidades artificiales por parte del sistema productivo. Sin embargo, esta búsqueda de satisfacción de la demanda conlleva la explotación intensiva de diversos territorios, lo que ha provocado una devastación ambiental sin precedentes (La Rotta y Torres, 2017, p. 78).

Además, el rápido crecimiento demográfico a nivel mundial proyecta una población de aproximadamente 9,2 mil millones para el año 2050. En consecuencia, si la economía global continúa expandiéndose de manera paralela, se espera un aumento proporcional en la explotación de recursos, la producción de bienes (tanto servicios como mercancías) y, por ende, el consumo global de materias primas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009, p. 2).

Este crecimiento demográfico ha impulsado el aumento de actividades industriales, agrícolas y mineras, resultando en una significativa contaminación del suelo con oligoelementos como cobre, cadmio, níquel, plomo, arsénico y cromo, además de una alteración de las propiedades fisicoquímicas de este recurso. Se considera que las actividades antropogénicas son el principal impulsor de este fenómeno. En varios lugares, la minería ha sido identificada como la principal fuente de contaminación por oligoelementos en el suelo, sedimentos y aguas superficiales (FAO y PNUMA, 2022, p. 19).

Por otro lado, el proceso de fundición de metales con el fin de extraer minerales ha desencadenado la introducción de una amplia gama de contaminantes en el suelo; las operaciones mineras y de fundición generan considerables emisiones de metales pesados y otros elementos nocivos al medio ambiente, cuyos efectos perduran durante períodos prolongados incluso después de las etapas de cierre de dichas actividades (Ogundele et al., 2017, p. 321). Sin embargo, a pesar de la creciente preocupación por los efectos ambientales adversos de la actividad minera, se observa una desconexión

significativa entre la teoría de planificación y su implementación práctica en los planes de cierre de minas. Esta falta de ejecución adecuada refleja una significativa desconexión entre la teoría de planificación y la práctica operativa. Se ha observado que todos estos planes han descuidado aspectos críticos, como la adecuada mitigación de los sitios contaminados derivados de la actividad minera. Esta omisión plantea cuestionamientos sobre la efectividad de estas medidas y los riesgos potenciales que representan para la salud pública y el medio ambiente (Rodríguez y Julca, 2020, p. 53).

En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la dinámica de las propiedades físico-químicas del suelo en el cierre de minas del área de influencia de la Minera Yanacocha en el periodo 2013-2019?

Para abordar esta pregunta, se han establecido el como objetivo general:

Determinar la dinámica de las propiedades físico-químicas del suelo en el cierre de minas del área de influencia de la Minera Yanacocha en el periodo 2013-2019, y como objetivos específicos:

- Evaluar la dinámica temporal de las propiedades físicas del suelo como la textura (arena, limo, arcilla), durante el período 2013-2019 en el cierre de minas del área de influencia de la minera Yanacocha.
- Examinar la dinámica de las propiedades químicas del suelo como el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, P (disponible), K (disponible), durante el período 2013-2019 en el cierre de minas del área de influencia de la minera Yanacocha.
- Analizar la dinámica de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los cationes cambiabiles en el suelo (Ca, Mg, K, Na), durante el periodo 2013-2019 en el cierre de minas del área de influencia de la minera Yanacocha.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Pérez et al. (2012) investigaron las características físicas y químicas de suelos específicos ubicados en áreas previamente explotadas por actividades mineras y posteriormente rehabilitadas mediante la siembra de *Casuarina equisetifolia* Forst y *Acacia mangium* Willd. El objetivo principal fue evaluar los cambios en estas propiedades del suelo a lo largo de una secuencia temporal durante el proceso de recuperación. Se compararon los suelos tratados con Casuarina frente a aquellos sin tratamiento, así como los tratados con Acacia. Los resultados revelaron que, en los suelos tratados con Casuarina, se observó una disminución del pH, mientras que la conductividad eléctrica (C.E.), el nitrógeno total (N total) y el carbono total (C total) aumentaron. Por otro lado, en los suelos tratados con Acacia, se registró un incremento en el pH y el N total, mientras que el C total y la C.E. no mostraron cambios significativos. En ambos tratamientos, se observó un aumento en la materia orgánica y la disponibilidad de calcio (Ca). Como conclusión, se determinó que la calidad del suelo

mejoró luego de la implementación de los planes de cierre de mina y la rehabilitación mediante la siembra de especies arbóreas seleccionadas (p. 1).

Zhang et al. (2016) midieron diversas propiedades físicas y químicas del suelo, como textura, densidad aparente (BD), índice de estabilidad estructural (SI), agregados estables al agua (WSAs), diámetro medio ponderado (MWD), tasa de infiltración en estado estacionario (SIR) y contenido de carbono orgánico (SOC) en sitios mineros recuperados (RMSs), incluyendo sitios revegetados (RVSs) y sitios de recuperación natural (NRS), comparándolos con sitios nativos no perturbados (UNSS). El estudio encontró que en los RMS, el contenido de arena, SI, WSAs ($>0,25$ mm), MWD y SOC fueron menores, y la BD fue mayor, especialmente en la profundidad de 15 a 30 cm, en comparación con los UNS. En RVS, el SOC superficial fue 120,4% mayor que en NRS, mientras que el SIR fue 267,1% mayor. Entre los rodales revegetados, el SOC fue menor en los rodales A, mientras que la BD, WSAs ($>0,25$ mm) y MWD fueron mayores, sugiriendo a B, AB y G como usos de tierras favorables en RMS, con énfasis en la plantación de pastos por su costo económico (p. 1476)

Arán et al. (2020) llevaron a cabo una evaluación exhaustiva de la calidad química de los suelos y las aguas de escorrentía en una mina de uranio; los resultados revelaron que los suelos naturales presentan baja fertilidad y alta tendencia erosiva, en contraste, los suelos mineros, compuestos mayormente por mezclas de material de partida y residuos de mina, mostraron preocupantes niveles de acidez ($\text{pH} \approx 2.8$), conductividad eléctrica elevada ($\text{CE} \approx 12.8 \text{ dS m}^{-1}$) y altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos y sulfatos ($22.9\text{-}33.9 \text{ g L}^{-1}$); durante el período seco, se observó la formación de sales evaporíticas, principalmente sulfatos de aluminio y magnesio, que actúan como sumideros temporales de sulfato y metales, estos resultados subrayan la urgencia de abordar la recuperación de los suelos mineros, especialmente

considerando su baja fertilidad y salinidad, que limitan la colonización natural y el desarrollo vegetativo; en consecuencia, se recomienda priorizar la minimización de la oxidación de sulfuros y la mejora de la fertilidad del suelo para fomentar una cobertura vegetal diversa (p. 81).

Burgos et al. (2003) llevaron a cabo un análisis detallado de las propiedades físico-químicas de un suelo franco que había sido impactado por el vertido tóxico de una mina, establecieron una malla de muestreo de 50 x 20 m, en la cual seleccionaron 48 puntos específicos para la toma de muestras a tres profundidades distintas: 0-15 cm, 15-30 cm y 30-60 cm, los resultados obtenidos mostraron un pH del suelo de 3.86, junto con las siguientes concentraciones (en mg kg⁻¹): materia orgánica (0.92 %), As (arsénico, 178 mg kg⁻¹), Cd (cadmio, 2.93 mg kg⁻¹), Cu (cobre, 123 mg kg⁻¹), Fe (hierro, 40231 mg kg⁻¹), Mn (manganeso, 1098 mg kg⁻¹), Ni (níquel, 26.4 mg kg⁻¹), Pb (plomo, 339 mg kg⁻¹), S (azufre, 8623 mg kg⁻¹) y Zn (zinc, 367 mg kg⁻¹). Se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el contenido total de azufre y las concentraciones totales de As, Cd, Cu y Pb. Además, el análisis geoestadístico reveló que la variabilidad espacial de las propiedades del suelo está principalmente relacionada con la presencia o ausencia de lodo remanente en el suelo (p. 219)

Quinto et al. (2022) evaluaron los cambios en las condiciones edáficas de áreas degradadas por la minería a cielo abierto con diferente edad sucesional en la región. Para ello, establecieron cinco parcelas permanentes de 625 y 2.500 m² en áreas con 15 y 30 años de recuperación, respectivamente. Posteriormente, se tomaron muestras compuestas de suelos a 20 cm de profundidad y se determinaron sus contenidos de nutrientes, pH y textura. Se observó que los suelos eran ácidos (pH=4,73), con altos porcentajes de arena, materia orgánica (6,62 %), nitrógeno (N) total (0,34 %), fósforo (P) disponible (28,21 ppm), potasio (K) (0,38 meq/100g) y aluminio (Al) (2,15 meq/100

g), pero con bajas cantidades de calcio (Ca) (2,28 meq/100 g) y magnesio (Mg) (1,37 meq/100 g), la disponibilidad de P y K fue alta en ambas edades sucesionales, en tanto que la materia orgánica, el N total, el Ca, el Mg, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), el Al y el porcentaje de arena incrementaron con la sucesión, aunque el pH y la arcilla disminuyeron, se evidenció un incremento en la disponibilidad de arena y nutrientes, pero también un aumento en la acidez y la toxicidad del Al con la sucesión; asimismo, se constató que la recuperación de las condiciones fisicoquímicas del suelo en minas está condicionada por el efecto de la materia orgánica y la vegetación (p. 514)

Xiong (2015) tuvo como objetivo evaluar el efecto de enmiendas orgánicas en la recuperación de suelos contaminados mediante experimentos de campo y semicampo. En el experimento de campo, realizado en una parcela de 20x50 m dividida en 12 subparcelas de 7x8 m, se usaron suelos contaminados con As, Cd, Cu, Zn y Pb, aplicando enmiendas de espuma de azucarera (30 Mg ha⁻¹ año⁻¹), compost de biosólidos (30 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y una mezcla de leonardita con espuma de azucarera (25 Mg ha⁻¹ año⁻¹ más 10 Mg ha⁻¹ año⁻¹). En 2011, los valores de pH del suelo enmendado aumentaron hasta 3,6 unidades, el carbono orgánico total (COT) se incrementó 2,3 veces, y la fertilidad química y bioquímica aumentaron hasta 9,2 y 13,2 veces, respectivamente. La disponibilidad de Cd y Zn disminuyó, alcanzando una reducción de hasta un 83% en el tratamiento con espuma de azucarera (SL4). En el experimento de semicampo, realizado en contenedores de 90 l, las enmiendas elevaron el pH de 6,9 a valores significativos en los suelos moderadamente contaminados, aumentando COT, N-Kjeldahl y P-Olsen. La disponibilidad de Cd, Cu y Zn disminuyó, con valores de Cd reducidos por debajo del límite de detección (0,01 mg kg⁻¹). Las enmiendas también favorecieron el crecimiento de *Paulownia fortunei*, incrementando la altura, diámetro y biomasa de las plantas. En conclusión, la combinación de enmiendas orgánicas y

fitorrecuperación es una estrategia eficaz para la recuperación de suelos contaminados, mejorando sus propiedades y promoviendo la colonización vegetal en climas mediterráneos (p. i).

Ahirwal y Maiti (2016) evaluaron propiedades del suelo en diferentes usos de tierra generados por actividades de extracción, comparando parámetros físicos, químicos y biológicos en cuatro áreas: suelos recuperados de hace 25 años, suelos forestales, suelos agrícolas y capa superficial de suelo alterado. Observaron que el pH era ácido en todas las áreas (4.5 a 6.5), con una disminución en los suelos recuperados entre estratos. La conductividad eléctrica (CE) mostró valores altos (hasta 0.46 dS/m) en todas las áreas, excepto en los suelos forestales, con un aumento en suelos recuperados de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los suelos recuperados disminuyó entre estratos, con valores de 8.82, 7.86 y 7.63 cmol/kg de 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm, respectivamente, y mostró una diferencia de 5 cmol/kg respecto a los suelos forestales. (p. 155)

Higidio et al. (2023) en su investigación evaluó la eficiencia de diferentes especies vegetales en suelos disturbados por la minería, utilizaron 4 parcelas de 1.5 x 1 m (un control y tres tratadas) para comparar la interacción de las especies con el suelo contaminado, las especies utilizadas fueron gramíneas y Fabáceas, realizaron una caracterización físico-química inicial del suelo, revelando un pH ligeramente ácido, baja materia orgánica 1.43%, y niveles bajos de nutrientes esenciales como fósforo 14 ppm y nitrógeno total 0.07%, tras 20 semanas, se observó un incremento significativo en la materia orgánica hasta 3.06%, carbono orgánico, y nutrientes como fósforo 86 ppm, nitrógeno total 0.15%, hierro, cobre, zinc y boro; además, el pH de las parcelas tratadas subió a valores neutros hasta 7.08. La capacidad de intercambio catiónico disminuyó en comparación con el control de 29.43 meq/100g a 23.46 meq/100g, concluyeron, la

combinación de especies y enmiendas mejoró significativamente las propiedades físico-químicas del suelo, incluyendo el incremento de microelementos como hierro, cobre, zinc y boro, validando la hipótesis de que estas especies pueden rehabilitar suelos degradados por actividades mineras (p. 38)

Salamanca (2020) Salamanca evaluó la calidad del suelo en cierres progresivos de mina a tajo abierto mediante 21 parámetros físicos, químicos, biológicos e inorgánicos en cronosecuencias. El estudio se dividió en dos etapas: selección de áreas de muestreo y análisis de laboratorio, usando ACP, ANOVA y prueba de Tukey. Se identificaron seis indicadores principales: estructura edáfica, fertilidad, pérdida de carbono orgánico, capacidad de retención hídrica, erosión hídrica y cobertura vegetal. Aunque parámetros como la capacidad de intercambio catiónico, K, N total, % de limo, Hg, CN^- , Cr, Cd y Pb no mostraron diferencias relevantes con suelos no perturbados, otros como % de arcilla, estructura, P, materia orgánica y cobertura vegetal tendieron a acercarse a valores de referencia, mientras que el pH, As y Ba mostraron comportamientos atípicos (p. 12).

Vizconde (2023) realizó una investigación sobre el tratamiento de suelos contaminados con relaves mineros utilizando *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum* a escala de invernadero, realizó un estudio cuantitativo, explicativo y experimental, empleó muestreo selectivo y el método de la Línea de Intercepción para la recolección de muestras; los suelos utilizados, de textura francoarenosa, presentaron las siguientes características físico-químicas: pH entre 6.9 control (C) y 7.5 tratado (M); conductividad eléctrica variando de 0.5 dS/m (C) y 2 dS/m (M); capacidad de intercambio catiónico de 13.7 meq/100 g (M) a 44.3 meq/100 g (C); porosidad del 42% (M) al 50% (C); y contenido de materia orgánica desde 6.3% (M) hasta 6.7% (C). En cuanto a los microelementos y metales pesados, Pb de 141.86 mg/L (M2) a 285.6 mg/L

(M1), Zn de 146.30 mg/L (M2) a 255.2 mg/L (M1), y As de 38.6 mg/L (M2) a 99.75 mg/L (M1); para el contenido de metales en la parte aérea de las plantas, los sustratos M2 y M1 presentaron mayor concentración de Zn (40.10 mg/Kg y 34.35 mg/Kg), Pb (2.60 mg/Kg y 5.57 mg/Kg), Cu (2.42 mg/Kg y 2.62 mg/Kg), y As (0.95 mg/Kg y 3.5 mg/Kg); los valores de translocación de metales indicaron que las plantas fueron fitoestabilizadoras, con valores menores a 1 para Ag (0.031 a 0.5), As (0.01 a 0.09), Cd (0.043 a 0.144), Cu (0.056 a 0.513), Ni (0.33 a 0.65), Pb (0.009 a 0.052) y Zn (0.157 a 0.235). Concluyó que la fitorremediación es eficaz inmovilizando los metales bajo forma no soluble y reduciendo la concentración de metales disponibles en suelo contaminado con relave minero entre un 20% y un 30% (p. 1).

Sevilla (2014) investigó la recuperación de suelos degradados en una escombrera utilizando lodos de depuración de aguas residuales como enmiendas. Los suelos iniciales mostraron compactación ($1,66 \text{ g/cm}^3$), baja capacidad de agua (17,2%), alta erosión ($60 \text{ g/m}^2/\text{h}$), pH básico (8,13), bajo carbono orgánico (2,32 g/kg), y nutrientes limitados ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P} = 6,88 \text{ mg/kg}$; $\text{N}_{\text{Total}} = 0,9 \text{ g/kg}$), sin contaminación significativa de metales pesados. Aplicó dosis de lodos estabilizados o compostados (0-100 g/kg) por 30 días, encontró que el co-compost, con una baja tasa de mineralización (6,8% en un mes), mejoró el secuestro de carbono y redujo el riesgo de eutrofización. Los ensayos ambientales mostraron baja movilidad de metales (74-100% en la fracción residual), aunque hubo una ligera movilización de Cu (3%) y mayor movilidad de Zn (99%), Pb (27%) y Ni (18%) bajo cambios redox. Nitratos en escorrentía no presentaron riesgo ($<0,04 \text{ mg/L}$), pero aumentaron amonio y fosfato (hasta $1,9 \text{ mg/L}$ y $0,45 \text{ mg/L}$, respectivamente), reduciendo amonio a $0,5 \text{ mg/L}$ en un año. Un ensayo de campo con co-compost (75 t/ha) y biofertilizante mostró una supervivencia del 80% en pistacho, alcaparra y romero, aunque con desequilibrios nutricionales. Consideró el uso de

tecnosoles para mejorar la estabilidad del carbono orgánico, destacando la capacidad del residuo minero para estabilizar la materia orgánica (p. 1).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Dinámica de la propiedades físico-químicas del suelo

La dinámica de las propiedades físico-químicas del suelo se refiere a las variaciones en la composición, estructura y funcionalidad del suelo, influenciados por factores naturales como el clima, la topografía y la actividad biológica, así como por actividades antropogénicas como la agricultura, la minería y la urbanización. Estos cambios pueden incluir variaciones en la textura, la capacidad de retención de agua, el pH, la fertilidad y la presencia de contaminantes, los cuales, a su vez, impactan en la salud del ecosistema y en la capacidad del suelo para sustentar la vida vegetal y animal. La comprensión de esta dinámica es fundamental para la gestión sostenible del suelo, ya que permite identificar tendencias y desarrollar prácticas que promuevan la conservación y restauración de este recurso esencial (Debebe et al., 2024, p. 1).

La calidad del suelo se ve directamente afectada por las variaciones en sus propiedades físico-químicas, las cuales pueden alterar su capacidad para sostener procesos ecológicos esenciales. Cambios en la textura, la estructura y la concentración de nutrientes, así como la presencia de contaminantes, influyen en la fertilidad y en la retención de agua, afectando el crecimiento vegetal y la biodiversidad. Las fluctuaciones en factores como el pH o la salinidad, por ejemplo, pueden reducir la disponibilidad de nutrientes y alterar la actividad microbiana, disminuyendo la productividad del suelo. Además, las actividades humanas como la agricultura intensiva o la minería aceleran estos cambios, exacerbando la degradación del suelo y comprometiendo su funcionalidad a largo plazo (Calderón et al., 2018, p. 143).

Las perturbaciones en el suelo, tanto naturales como inducidas por actividades humanas, desempeñan un papel fundamental en la modificación de las propiedades fisicoquímicas, influyendo directamente en la estabilidad y funcionalidad del ecosistema. Dichas perturbaciones pueden provocar alteraciones en la dinámica de los nutrientes esenciales, afectando su disponibilidad y movilidad en el suelo, así como modificar la capacidad del suelo para procesar y almacenar elementos clave. Estas modificaciones no solo impactan en los ciclos biogeoquímicos, sino que también pueden alterar la estructura física del suelo, afectando su capacidad para soportar la vegetación y la biodiversidad, lo que en última instancia repercute en la sostenibilidad de los ecosistemas y su resiliencia frente a futuras alteraciones (Shankar y Chandra, 2023, p. 3). Para una comprensión integral del suelo, es fundamental analizar sus propiedades físico-químicas, las cuales juegan un papel crucial en su funcionalidad y en la dinámica de los ecosistemas.

2.2.1.1. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo engloban una serie de características que pueden ser percibidas o evaluadas sin alterar la composición química del suelo. Estas propiedades abarcan una amplia gama de aspectos relacionados con el movimiento y la interacción de diferentes elementos y agentes en el suelo, incluyendo la circulación del aire, la transferencia de calor, la dinámica del agua, la distribución de las raíces de las plantas y la disponibilidad de nutrientes (López y Estrada, 2015, p. 3).

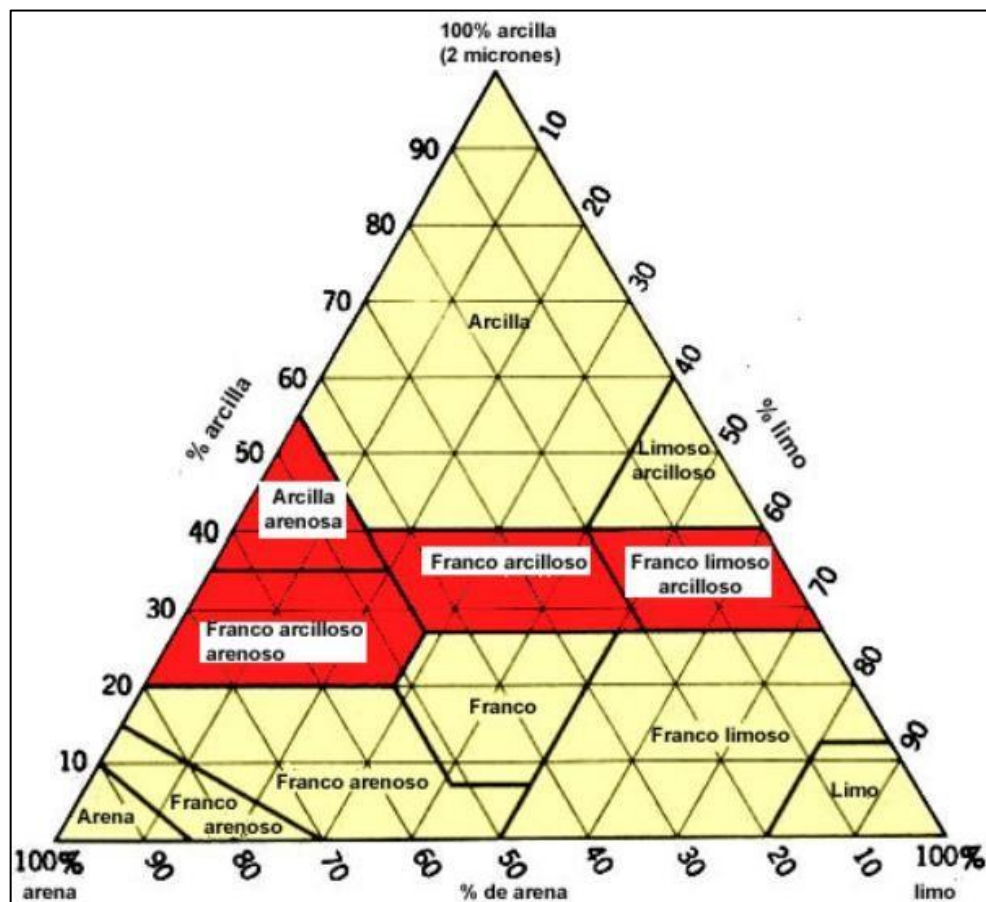
Las propiedades físicas del suelo son cruciales para determinar su capacidad de soportar diversos usos humanos. Estas propiedades influyen en la rigidez y fuerza de soporte, la penetración de las raíces, la aireación, el drenaje, el almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes. Es esencial que quienes gestionan la tierra comprendan estas propiedades para evaluar su impacto en el crecimiento de las plantas

y cómo las actividades humanas pueden alterarlas. Así, podrán mantener las condiciones físicas óptimas del suelo (Rucks et al., 2004, p. 2). Entre las principales propiedades tenemos:

Textura. Se refiere a la proporción relativa de partículas de diferentes tamaños, como la arena, el limo y la arcilla, presentes en su composición. Este atributo textural del suelo está estrechamente relacionado con varias características físicas y hidráulicas que influyen en su manejo y productividad. Dichas características incluyen la facilidad de labranza del suelo, su capacidad para retener agua y aire, así como la velocidad de infiltración y percolación del agua a través del mismo (FAO, 2019).

Figura 1

Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas



Fuente: (FAO, 2019).

Según Gisbert et al. (2010) agrupa las texturas del suelo en cuatro categorías principales:

Arcillosa: suelos plásticos y difíciles de manejar, con alta retención de agua y nutrientes debido a su microporosidad y capacidad de intercambio catiónico debido a que son partículas que se cargan eléctricamente lo cual hace que tengan capacidad de atraer, retener e intercambiar elementos químicos; sin embargo, tienen baja permeabilidad salvo que presenten buena estructura.

Arenosa: suelos ligeros y fáciles de trabajar, con excelente aireación gracias a las partículas grandes. Pueden encharcarse durante lluvias intensas, lo que aumenta la erosión, y presentan poca acumulación de materia orgánica.

Limosa: suelos que se compactan con facilidad, dificultando la aireación y circulación de agua, y suelen formar costras superficiales que impiden la emergencia de las plántulas.

Franca o equilibrada: suelos con un balance óptimo de componentes, que combinan las ventajas de otras texturas sin sus desventajas; es considerada la textura ideal (p. 7).

La textura del suelo esta influenciada por diferentes factores, Chinchilla et al. (2011) menciona que el clima influye notablemente mediante procesos como la lixiviación, meteorización y erosión eólica. La precipitación elevada puede intensificar la lixiviación de minerales, transportando partículas de arcilla a niveles inferiores y dejando una capa superficial más arenosa. Las temperaturas elevadas aceleran la meteorización de las rocas, favoreciendo la formación de partículas finas como el limo y la arcilla. En regiones áridas, el viento puede desplazar las partículas finas de la superficie, dejando un suelo con mayor proporción de arena (p. 34).

La materia orgánica es fundamental para las propiedades físicas del suelo, ya que, aunque no influye directamente en su textura, afecta significativamente el comportamiento de las partículas. Promueve la formación de agregados, mejorando la estructura general del suelo, lo que a su vez incrementa la capacidad de retención de agua y nutrientes. Además, en suelos con alta proporción de arena, la materia orgánica potencia la retención hídrica y favorece la porosidad, mejorando la infiltración y reduciendo la compactación del suelo (Van, 2006, p. 14).

Estructura. Representa la disposición y organización espacial de las partículas individuales de suelo en agregados, manifestando una variedad de formas y tamaños que influyen en su cohesión y estabilidad. Esta propiedad es crucial para determinar la porosidad, la capacidad de retención de agua, la permeabilidad y la aireación del suelo, así como su resistencia a la erosión y su capacidad para soportar el crecimiento de las plantas. La estructura del suelo es el resultado de la interacción compleja entre factores físicos, químicos y biológicos en el ambiente del suelo, y su evaluación proporciona información valiosa sobre la calidad y la salud general del suelo (Bernal y Hernández, 2017, p. 50). La estructura del suelo se ve influenciada por la materia orgánica, ya que los coloides de las sustancias húmicas se enlazan con la red cristalina de los minerales arcillosos a través del calcio intercambiable. Este enlace aumenta la fuerza de adhesión entre las partículas del suelo, favoreciendo su estabilidad estructural. Con un mayor contenido de materia orgánica, se promueve la formación de agregados con estructura grumosa o granular fina, lo cual mejora la calidad y cohesión del suelo (Soriano Soto, 2020, p. 3).

Densidad aparente y real. La densidad aparente del suelo, en su forma seca, representa la relación entre la masa total de las partículas sólidas y el volumen total del suelo, abarcando tanto los poros como los sólidos. Por otro lado, la densidad real del

suelo, denominada también densidad de sólidos o densidad de partículas, se define como la masa de los componentes sólidos por unidad de volumen del suelo. Esta característica esencial proporciona información valiosa sobre la compactación, la porosidad y la estructura del suelo, lo que afecta directamente su capacidad para el crecimiento vegetal, la retención de agua y nutrientes, así como su resistencia a la erosión y la degradación. La densidad real, al medir la masa de las partículas sólidas en relación con su volumen, revela la verdadera composición y densidad del suelo, lo que permite una evaluación más precisa de su calidad y capacidad funcional en diversos contextos agrícolas, ambientales y de ingeniería (Ingaramo et al., 2007, p. 129).

Capacidad de retención del agua. Habilidad para retener el agua en su interior en lugar de dejarla circular libremente. Influenciada por factores como la textura del suelo, su estructura y porosidad. Además, intervienen fuerzas que actúan sobre el agua en el suelo, como la succión, la fuerza osmótica y la matricial, que incluye la adsorción y la capilaridad. Por otro lado, también se considera la fuerza de desplazamiento, que es la gravitacional, que tiende a hacer que el agua se mueva hacia abajo a través del suelo (División de Ciencias de la Salud, Biológicas y Ambientales [DCSBA], s.f., p. 39). La incorporación de materia orgánica mejora la capacidad de retención de agua del suelo al aumentar el número de poros dedicados a su almacenamiento. Esta mayor porosidad permite que el suelo retenga más humedad, optimizando la disponibilidad de agua para las plantas y reduciendo el riesgo de desecación. La estructura del suelo se estabiliza, manteniendo un balance hídrico que beneficia los procesos de absorción de agua en la zona radicular (Soriano Soto, 2020, p. 3).

2.2.1.2. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo son los atributos que determinan su capacidad para almacenar, suministrar y transformar nutrientes y otras sustancias

químicas esenciales para el crecimiento de las plantas y la actividad biológica. Estas propiedades no solo influyen en la disponibilidad de nutrientes y elementos esenciales, sino que también afectan las interacciones entre el suelo, las plantas y los microorganismos, condicionando el equilibrio del ecosistema edáfico (Calderón et al., 2018, p. 143).

Potencial de hidrógeno (pH). El pH del suelo es un indicador crucial que refleja su nivel de acidez, pero no necesariamente la acidez total presente. Este parámetro ejerce una influencia significativa en el desarrollo de las plantas y la fauna del suelo, afectando la velocidad y calidad de procesos como la humificación y mineralización, así como el estado de ciertos nutrientes esenciales. En los suelos, los iones hidrógeno (H^+) se distribuyen tanto en la solución como en el complejo de intercambio, dando lugar a dos formas de acidez: la activa o real, presente en la solución, y la acidez de intercambio o de reserva, asociada a los iones adsorbidos. Estas formas de acidez mantienen un equilibrio dinámico. La eliminación de iones H^+ de la solución conlleva la liberación de iones H^+ adsorbidos, lo que confiere al suelo una notable resistencia a cambios en su pH. Esta capacidad de amortiguación del suelo, conocida como tamponado, limita las modificaciones bruscas en su pH (Pereira et al., 2011, p. 53).

Según Espinosa y Molina (1999) los factores que afectan el pH del suelo son:

Clima y Temperatura: Las condiciones climáticas, como la temperatura y la precipitación, tienen un efecto significativo sobre el pH. Lluvias intensas pueden lixiviar nutrientes básicos, como los carbonatos, acidificando el suelo. En áreas secas, la baja movilidad del agua genera una acumulación de sales y minerales, aumentando el pH.

Vegetación y Agua de Riego: Las plantas locales influyen en el pH del suelo según el tipo de vegetación predominante. Por ejemplo, las gramíneas, típicas de praderas y pastizales, suelen mantener un pH más neutro, pues su descomposición produce menos ácidos orgánicos que las plantas leñosas. En contraste, los suelos bajo árboles presentan una mayor acidez debido a la acumulación de hojas y ramas en descomposición. El agua de riego, además, puede alterar el pH dependiendo de su nivel de acidez o alcalinidad relativa.

Composición del Suelo y Fertilizantes: La mineralogía y textura del suelo determinan tanto el pH como su capacidad de amortiguación. Los suelos arcillosos son más resistentes a cambios bruscos en el pH, mientras que los suelos arenosos, al tener menos capacidad de amortiguación, pueden ajustarse más fácilmente. El uso de fertilizantes también afecta el pH: los fertilizantes sintéticos tienden a acidificar el suelo, mientras que los orgánicos lo acidifican al liberar ácidos orgánicos solubles.

Disponibilidad de Nutrientes: La acidez o alcalinidad del suelo influye directamente en la biodisponibilidad de nutrientes. Cuando el pH es muy bajo o alto, algunos elementos esenciales como el calcio y el fósforo pueden no ser accesibles para las plantas, ya que se unen a otras partículas del suelo, limitando su absorción y afectando el crecimiento vegetal (p. 2-4).

Conductividad eléctrica. Es una medida que refleja la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, la cual está estrechamente relacionada con la concentración de sales solubles presentes en el suelo. Esta propiedad se utiliza comúnmente como un indicador indirecto de la salinidad del suelo. Las sales disueltas en el suelo generan iones que facilitan la conducción de electricidad. La conductividad eléctrica del suelo puede variar ampliamente dependiendo de varios factores, incluidos el tipo de suelo, su estructura, contenido de agua, y el tipo y cantidad de sales disueltas. Medir la

conductividad eléctrica del suelo es importante porque las altas concentraciones de sales pueden afectar negativamente el crecimiento de las plantas y la actividad de los microorganismos, al reducir la disponibilidad de agua para las plantas mediante un efecto desecante (Cremona y Enríquez, 2020, p. 6).

La conductividad se ve influida principalmente por la concentración de sales solubles, el contenido de agua y factores como la textura, pH y temperatura. Sustratos con alta salinidad, debido a sales como cloruros y sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio, presentan mayor conductividad, y suelos con mayor retención de agua facilitan la movilidad iónica. Además, los suelos arcillosos, que retienen más humedad y sales, tienden a tener una mayor conductividad que los arenosos, que drenan rápidamente. La temperatura también potencia la movilidad de los iones, y un pH ácido disuelve ciertos minerales, incrementando los iones disponibles. Prácticas de riego con aguas salinas y fertilización intensiva también elevan la salinidad y, por ende, la conductividad, impactando la capacidad del suelo para suministrar agua y nutrientes a las plantas (Miráble, 2013, p. 2).

Materia orgánica. El componente orgánico del suelo abarca una amplia gama de materiales derivados de residuos vegetales y animales en diversos estados de descomposición, así como tejidos y células de organismos presentes en el medio edáfico y sustancias generadas por la actividad biológica del suelo. En esta compleja matriz, el humus se destaca como el producto resultante de la descomposición de materiales orgánicos, constituyendo la fracción más estable y resiliente de la materia orgánica. Esta materia no solo sirve como sustrato fundamental para la vida del suelo, sino que también desempeña un papel crucial en la regulación de los procesos químicos y físicos esenciales en el entorno edáfico. Su influencia es significativa en la estructura del suelo, ya que mejora la agregación y estabilidad de las partículas, optimiza la capacidad de

retención de agua y nutrientes, y actúa como un reservorio de elementos esenciales. Además, el humus fomenta la biodiversidad microbiana y la actividad biológica en general, creando un entorno propicio para interacciones benéficas entre los organismos del suelo y las plantas, lo que a su vez contribuye a la salud y sostenibilidad del ecosistema (Córdova, 2018, p. 7).

La materia orgánica influye en los parámetros químicos del suelo, tales como el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido de macro y micronutrientes. La materia orgánica humificada actúa como un agente tampón, estabilizando el pH y reduciendo el riesgo de cambios bruscos, lo cual beneficia tanto a la actividad bacteriana como a la disponibilidad de nutrientes y a la remoción de contaminantes. Los microorganismos del suelo pueden adaptarse gradualmente a pH ácido o básico, pero no toleran alteraciones abruptas, como las provocadas por fertilizantes químicos que modifican rápidamente el pH, llegando a causar la mortalidad microbiana si el descenso es superior a una unidad de pH. Las sustancias húmicas también regulan el balance de nitrógeno y, gracias a sus grupos funcionales (como COOH y OH), aumentan la CIC, mejorando la capacidad del suelo para el intercambio y retención de cationes esenciales como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y NH_4^+ (Soriano Soto, 2020, p. 3).

Capacidad de intercambio catiónico. Expresada en miliequivalentes/100 g, constituye una medida esencial de la cantidad de cargas negativas disponibles en las partículas del suelo. Estas cargas se generan a partir de varios procesos, como la sustitución isomórfica, que implica la substitución de iones en la estructura cristalina del suelo; las cargas de arista arcillosa, que surgen en los bordes de las partículas de arcilla; y la presencia de materia orgánica. La CIC proporciona información crucial sobre la capacidad del suelo para retener y liberar cationes nutrientes, como calcio, magnesio,

potasio y amonio, fundamentales para el crecimiento vegetal. Además, la CIC influye en la capacidad de intercambio iónico, lo que afecta directamente la disponibilidad de nutrientes para las plantas y, por ende, su desarrollo óptimo. Por consiguiente, comprender y gestionar la CIC es esencial para la fertilización adecuada del suelo y la promoción de la salud y productividad de los cultivos (Garavito, 1974, p. 98).

Tabla 1

Valores de la capacidad de intercambio catiónico

CIC total cmol(+)/Kg	Nivel	Observaciones
0-10	Muy bajo	Suelo muy pobre; necesita aporte importante de materia orgánica para elevar C.I.C
10-20	Bajo	Suelo pobre; necesita aporte de materia orgánica
20-35	Medio	Suelo medio
35-45	Medio alto	Suelo rico
Mayor a 45	Alto	Suelo muy rico

Fuente: (Soriano, 2018, p. 7)

Nutrientes disponibles. Son elementos químicos que se presentan en formas bioasimilables, lo que permite su absorción por las plantas para su crecimiento y desarrollo. Se encuentran en el suelo en formas solubles o fácilmente intercambiables, facilitando su disponibilidad para las raíces durante la asimilación. Los principales nutrientes incluyen nitrógeno, fundamental para la síntesis de aminoácidos y proteínas; fósforo, que participa en la transferencia de energía y la formación de ácidos nucleicos; potasio, que regula el equilibrio hídrico; y calcio, magnesio y azufre, vitales para la estructura celular y la activación de enzimas. La disponibilidad y el equilibrio de estos nutrientes son determinantes para el crecimiento y la salud de las plantas, así como para la estabilidad de los ecosistemas, ya que influyen en procesos metabólicos clave como la fotosíntesis y la formación de tejidos vegetales (Pereira et al, 2011, p. 69).

Tabla 2*Funciones y momento crítico de los nutrientes del suelo*

Símbolo	Función	Momento crítico
N	Promueve el desarrollo de las hojas y crecimiento de los brotes	Durante la etapa inicial del cultivo
P	Contribuye a la formación de las flores y raíces.	Durante la etapa inicial del cultivo, floración y la maduración del fruto.
K	Favorece la resistencia de la planta a las enfermedades y mejora la calidad el fruto	Durante la maduración de los frutos.
Ca	Fortalece la estructura de la planta	Durante la floración y formación de frutos
Mg	Participa en la construcción de la clorofila	Durante la etapa inicial del cultivo
S	Participa en la formación de la semilla y en el desarrollo de vitaminas y aromas	Durante la etapa inicial del cultivo

Nota: adaptado de Avetruz y Pastora (2011)

Existen factores que influyen en la disponibilidad de nutrientes en el suelo:

Tabla 3*Factores del suelo que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas*

Nutrientes	pH óptimo del suelo	Factores
Nitrógeno (N)	6.0 a 8.0	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de bacterias específicas - Aireación del suelo: buena aireación, mejora la disponibilidad - Temperatura del suelo - Humedad del suelo: alta humedad reduce la disponibilidad - Presencia de materia orgánica
Fósforo (P)	6.5 a 7.5	<ul style="list-style-type: none"> - Al y Fe disueltos - Ca cambiante - Interacciones fosfato-óxidos de Fe/Al - Presencia de microorganismos (mineralización y solubilización) - Presencia de materia orgánica
Potasio (K)	Superior a 6.0	<ul style="list-style-type: none"> - Arcillas tipo 2:1. - Humedad del suelo - Textura (mayor cantidad en suelos arcillosos)
Calcio (Ca)	Superior a 7.0	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación pluvial excesiva - Lixiviación - Exceso de magnesio
Magnesio (Mg)	7.0 a 8.5	<ul style="list-style-type: none"> - Aireación del suelo - Exceso de calcio - Exceso de potasio

Nota: adaptada de Lora Silva (1978, p. 133-135).

2.2.2. Contaminación del suelo por actividades mineras

La degradación del suelo se define como la disminución de su capacidad productiva y su utilidad actual o potencial. Este proceso implica una merma en la capacidad intrínseca del suelo para producir bienes y servicios, así como para llevar a cabo sus funciones esenciales de regulación ambiental. La degradación puede manifestarse de diversas formas, incluyendo la erosión, la pérdida de nutrientes, la salinización y la contaminación, todo lo cual reduce la calidad y funcionalidad del suelo en términos de sostenibilidad agrícola y ecológica (Lal, 1998, como se citó en Cantero et al., 2015, pág. 19).

El suelo, en su función primordial, enfrenta diversos impactos que pueden resultar en degradación y pérdida irreversible de sus cualidades. Estos impactos se originan principalmente por tres causas: la ocupación del suelo por actividades humanas, la contaminación por agentes externos y la sobreexplotación de sus recursos naturales. La interacción de estos factores no solo compromete la calidad del suelo, sino que también afecta su capacidad para sustentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. A largo plazo, esta degradación puede conducir a la desertificación y la pérdida de productividad agrícola, amenazando la seguridad alimentaria. Por lo tanto, es crucial implementar prácticas de gestión sostenible para preservar la integridad del suelo. (López, 2002, p. 8).

Las operaciones mineras pueden generar impactos significativos sobre el suelo, principalmente debido a los grandes volúmenes de materiales desplazados, que crean huecos y escombreras, alterando la fisiografía del área y las características productivas del terreno. Esto provoca problemas ambientales, ecológicos y paisajísticos tanto en la ubicación de la mina como en sus alrededores. La restauración de los daños ambientales causados por las actividades extractivas es una responsabilidad obligatoria, ya que la

recuperación del suelo es esencial para la sostenibilidad del ecosistema. Sin una adecuada rehabilitación, los efectos negativos pueden persistir durante años, afectando la salud del medio ambiente y de las comunidades circundantes. Por lo tanto, es imperativo adoptar enfoques de minería responsable que integren la mitigación de impactos y la restauración del suelo. (Paradelo, 2013, p. 407).

Tabla 4

Interacciones de la actividad minera con el ambiente

Etapa	Descripción	Impacto ambiental
Prospección	Estudios de gravimetría, geología superficial, densidad, etc.	Procedimientos que no generan impactos ambientales significativos
Exploración	Barrenación, obras y perforaciones, construcción de caminos, instalación de campamentos	Destrucción de la vegetación Alteración de las propiedades físicas del suelo: compactación del suelo, afectando su estructura y permeabilidad
Explotación y beneficio	Descapote: eliminación de suelo y vegetación	Destrucción de la capa del suelo y la vegetación
	Construcción y obras diversas (tiros, socavones, patios de depósito) Alto consumo de agua Acumulación de material sin valor en terreros Transporte del material con valor hacia molinos Extracción y concentración de minerales Reducción del tamaño del mineral por trituración y molienda	Afectación a cuerpos de agua Generación de terreros inestables Generación de jales o colas: residuos minerales sin valor Esguimientos y arrastres de residuos Oxidación de minerales insolubles y formación de sustancias solubles con alto contenido de metales (drenaje ácido) Descarga de lixiviados que contienen iones metálicos y reactivos tóxicos La trituración y molienda pueden provocar ruido, vibración y emisión de polvo (efectos de bajo impacto) Degradación de las propiedades fisicoquímicas del suelo, incluyendo la pérdida de nutrientes y la alteración del pH
Fundición y refinación	Tratamientos previos a una fusión primaria o electro-depositación Obtención de metales y sus aleaciones con el uso de hornos industriales Eliminación de impurezas en los metales para alcanzar una alta ley de contenido	Generación de aguas residuales Producción de residuos peligrosos Emisiones a la atmósfera Contaminación del suelo por deposición de partículas y metales pesados

Fuente: adaptado de Gutiérrez (2003)

2.2.3. Cierre de mina

Es una herramienta de gestión ambiental compuesta por acciones técnicas y normativas que deben implementar los operadores mineros. Su objetivo es definir las medidas necesarias para rehabilitar las áreas afectadas por la actividad minera, logrando que estas recuperen características de un ecosistema que sea compatible con un entorno saludable y propicio para la vida, así como para la conservación del paisaje. La restauración de suelos degradados, debe llevarse a cabo mediante la ejecución de medidas antes, durante y después del cierre de operaciones, cumpliendo con las normas establecidas; Permitirán eliminar, mitigar y controlar los efectos adversos al ambiente generados o que pudieran generarse por los residuos sólidos, líquidos o gaseosos resultantes de la actividad minera (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2023).

Figura 2

Etapas del cierre de mina



Fuente: (Cerro Verde, 2022, p. 2).

Los objetivos incluyen alcanzar la estabilidad física, química y biológica del área, prevenir y controlar riesgos para la salud y el medio ambiente tras el cese de operaciones, y recuperar el estado del área perturbada a condiciones similares a las anteriores a la actividad o asignando un uso alternativo adecuado, protegiendo y minimizando los impactos. Busca fomentar la biodiversidad y restaurar las funciones

ecológicas del suelo, promoviendo la regeneración natural y la reforestación. La implementación de prácticas sostenibles es esencial para garantizar que el entorno recupere su integridad y la salud del ecosistema. (Cerro Verde, 2022, p. 3)

2.2.4. Restauración de suelos degradados

Implica intervenir para facilitar la recuperación de un ecosistema, área o paisaje que ha sido dañado, degradado o destruido. Su objetivo es reorientar estos sistemas hacia su trayectoria ecológica original y restaurar los servicios ecosistémicos que proveen. Busca conservar la diversidad biológica, asegurar la resiliencia ecológica y reestablecer la funcionalidad integral de los paisajes y ecosistemas, Incluye la reintroducción de especies nativas, la rehabilitación de suelos y cuerpos de agua, y la reconfiguración del entorno para favorecer los procesos naturales, promoviendo así la sostenibilidad a largo plazo y la estabilidad ambiental (SERFOR, 2018, p. 20).

Las estrategias para la mejora de un ecosistema degradado se fundamentan en las características de su estructura y función, así como en las propiedades fisicoquímicas del suelo. La restauración se define como el proceso de retornar el ecosistema a su estado original, restaurando tanto su estructura biológica como sus funciones ecológicas y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Sin embargo, existen otras metodologías, como la rehabilitación, que busca la recuperación parcial del ecosistema, sin alcanzar completamente su estado original. Además, la reclamación implica la sustitución del ecosistema original por uno distinto, adaptado a las nuevas condiciones y necesidades del entorno (Oliveros et al., 2017, p. 42). entre las principales técnicas tenemos:

2.2.4.1. Técnicas de fitorremediación

La fitorremediación es una técnica que explota la capacidad intrínseca de diversas especies vegetales para gestionar contaminantes ambientales a través de

diferentes mecanismos. Estas plantas pueden absorber y acumular contaminantes en sus tejidos, metabolizarlos en formas menos tóxicas, volatilizarlos al aire, o estabilizarlos dentro de la matriz del suelo. Esta estrategia es eficaz para tratar una variedad de contaminantes presentes en suelos, aire, aguas y sedimentos, incluyendo metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos complejos y derivados del petróleo. Además, la fitorremediación puede ser una solución sostenible y económica, que mejora la calidad ambiental mientras contribuye a la recuperación de ecosistemas degradados (Delgadillo et al., 2011, p. 597).

2.2.4.2. Enmiendas orgánicas

Son empleadas para optimizar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, lo que resulta en un aumento de los macro y micronutrientes esenciales para mejorar la producción vegetal. Entre las más destacadas se incluyen los abonos verdes, lodos de depuración, estiércol y vermicompost. Estas enmiendas, en combinación con microorganismos eficientes, tienen el potencial de mejorar la retención y disponibilidad del agua para las plantas, mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, y contribuir a la recuperación de suelos degradados. Además, estas prácticas pueden disminuir la erosión del suelo, facilitar el secuestro de metales pesados y carbono, y solubilizar nutrientes esenciales, incrementando así su biodisponibilidad para las plantas. De este modo, el uso de enmiendas orgánicas no solo favorece la productividad agrícola, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental y la resiliencia de los ecosistemas edáficos (Murillo et al., 2020, p. 58).

2.2.4.3. La estabilización/solidificación (E/S)

Técnica avanzada de tratamiento de suelos contaminados que involucra la adición de agentes estabilizantes o aglomerantes, como cemento, cal o polímeros, para

inmovilizar contaminantes y reducir su movilidad y bioaccesibilidad. Este proceso combina la estabilización química, que transforma los contaminantes en formas menos solubles y menos tóxicas, con la solidificación física, que encapsula los contaminantes en una matriz sólida, mejorando la cohesión y estabilidad estructural del suelo. Aplicada tanto in situ como ex situ, la E/S es particularmente efectiva para tratar contaminantes inorgánicos, como metales pesados y radionúclidos, presentes en suelos afectados por actividades mineras; La técnica ofrece ventajas significativas, incluyendo la reducción de la lixiviación de contaminantes y la mejora de la estabilidad del suelo, aunque su eficacia a largo plazo depende de la durabilidad de la matriz solidificada y las condiciones ambientales (Méndez, 2008, p. 51).

2.2.5. Restauración del área de influencia de la minera Yanacocha

Calero (2020) menciona que, en la restauración del área degradada, se siguieron los siguientes pasos:

Incorporación de Cal Agrícola $\text{Ca}(\text{OH})_2$ / $\text{Ca}(\text{CO})_3$. Para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, se aplicó cal agrícola en una cantidad promedio de 1000 kg/ha^{-1} , ajustando según los resultados de los análisis previos. Esta incorporación se realizó al menos dos meses antes de la siembra, con los cálculos y ajustes supervisados por el encargado de Cierre de Mina. Los ratios variaron en función de las características del suelo.

Incorporación de Abono Orgánico. Para suplir las deficiencias de nutrientes y materia orgánica, se añadieron productos de origen orgánico, tales como estiércol de gallina (1 t/ha^{-1}), compost o humus de lombriz (1 t/ha^{-1}) y guano de aves marinas (1 t/ha^{-1}), mejorando así la fertilidad y estructura del suelo.

Extracción y Transporte de *Calamagrostis sp.* y/o *Paspalum*. El área de extracción natural fue definida en coordinación con el área de Responsabilidad Social, y se realizó la extracción de plantas de Ichu y *Paspalum* usando zapapicos, con un límite de tres propágulos por m² y una cobertura vegetal superior al 70%. En el caso de *Calamagrostis sp.*, se seleccionaron plantas con un follaje de 15-20 cm de altura y un diámetro de 10 cm, incluidas sus raíces. Para *Paspalum*, se seleccionaron plantas rastreras con un diámetro mínimo de 10 cm.

Trasplante de *Calamagrostis sp.* y/o *Paspalum*. La densidad de trasplante fue de 8 plantas por m², dividiéndose en 4 plantas de Ichu y 4 de *Paspalum* en cada metro cuadrado de suelo a revegetar. Dependiendo de las condiciones del terreno, se trasplantaron solamente Ichu o *Paspalum*, manteniendo siempre la densidad de 8 plantas/m².

Incorporación de Semilla al Voleo (Semilla Botánica). Para la revegetación, se esparcieron manualmente 70 kg/ha⁻¹ de semillas, compuestas en un 70% por especies introducidas y en un 30% por especies nativas. Entre las variedades empleadas estaban *Dactylis glomerata* (Amba y Potomac, 5 kg/ha⁻¹ cada una), *Trifolium pratense* (Quiñequeli y Kenland, 2 kg/ha⁻¹ cada una), *Avena strigosa* (6 kg/ha⁻¹), *Lolium multiflorum* (Magnum tetraploide y Andrea diploide, 5 y 6 kg/ha⁻¹, respectivamente) y *Festuca arundinacea* (Fawn, 5 kg/ha⁻¹), complementadas con 20 kg/ha⁻¹ de especies nativas.

Plantación de Especies Arbustivas, Semi-Arbustivas o Arbóreas. Una vez concluidas las etapas anteriores, se plantaron especies como Quinuales (*Polylepis racemosa*, *Polylepis incana*), Alisos (*Alnus sp.*) y Colles. Estas especies fueron distribuidas sin un patrón geométrico definido, para emular una cobertura natural, alcanzando una densidad de aproximadamente 500 plantas por hectárea. Solo en casos

excepcionales, y debido a compromisos legales, se incluyó la plantación de pinos (*Pinus radiata*) en zonas específicas, conforme a las directrices del Plan de Acción de Biodiversidad, evitando así la introducción de especies exóticas en áreas de restauración (p. 1-20).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. *Dinámica de las propiedades fisicoquímicas del suelo*

Estudio y análisis de cómo las características físicas y químicas del suelo cambian y evolucionan en respuesta a diferentes técnicas de manejo y condiciones ambientales (Pérez et al., 2012).

2.3.2. *Propiedades Físico-Químicas del Suelo*

Atributos que definen su estructura, composición y capacidad de reacción, influyendo en su fertilidad y capacidad de soporte para la vegetación y los microorganismos (López y Estrada, 2015, p. 3).

2.3.3. *Área degradada*

Territorio deteriorado por la extracción excesiva de recursos, ya sea de manera natural o antropogénica. Estas actividades degradan el suelo y la vegetación, retrasando o inhibiendo la regeneración natural tras el abandono (SERFOR, 2018, p. 19).

2.3.4. *Plan de cierre de minas*

Conjunto de acciones técnicas y legales elaboradas por los titulares mineros para rehabilitar áreas afectadas, buscando recuperar un ambiente compatible con la vida y el paisaje (MINEM, 2023, p. 8).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la investigación

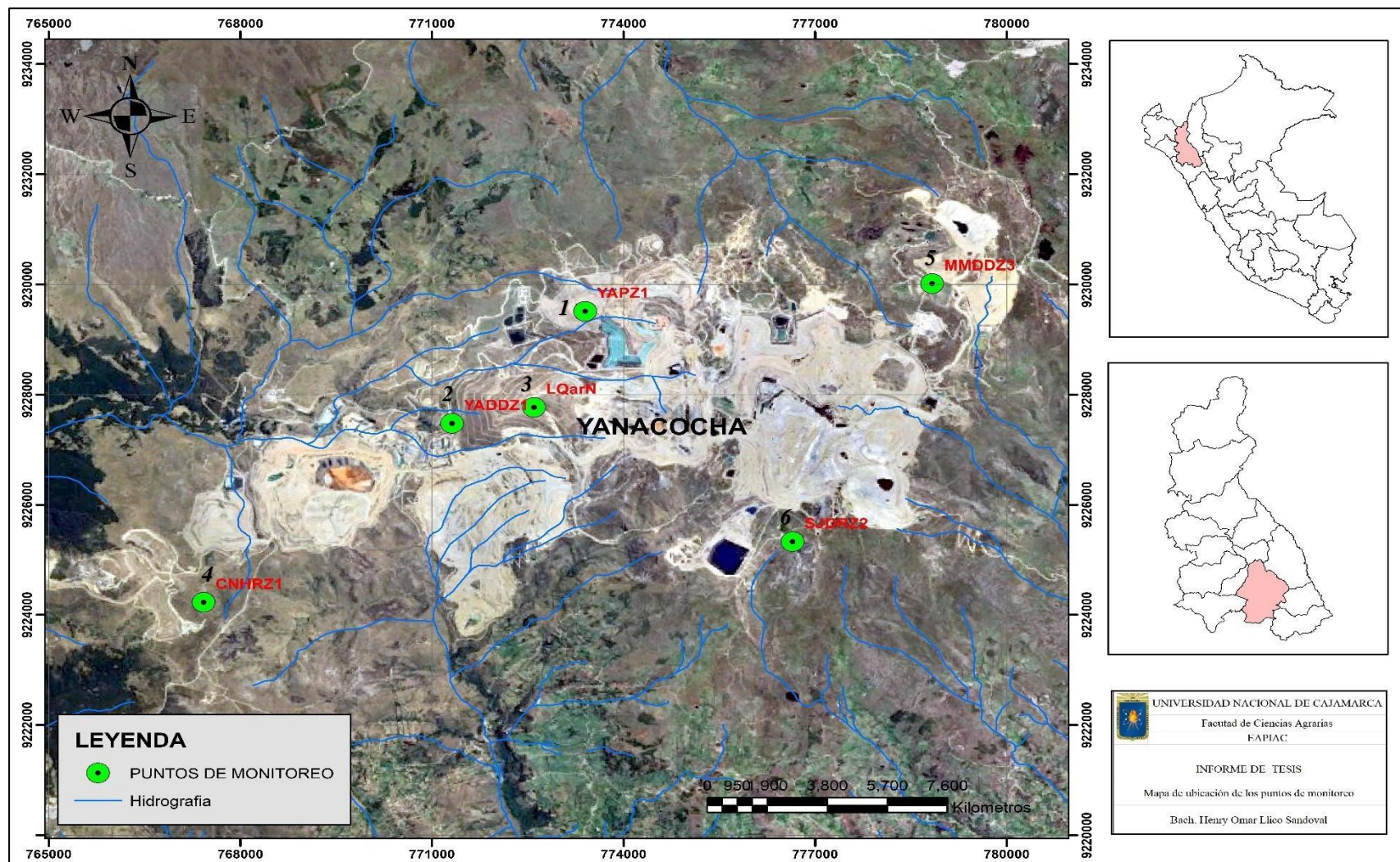
El área de estudio se encuentra ubicada principalmente en las partes altas de las subcuencas de los ríos Grande, Paccha, Rejo y las quebradas Honda y Shillamayo, entre los 3600 y 4100 metros de altitud. El estudio se realizó analizando los informes de laboratorio de 6 parcelas permanentes correspondientes a áreas en proceso de rehabilitación o cierre progresivo dentro del Complejo Minero Yanacocha, abarcando los suelos ubicados en las áreas relacionadas a los componentes y residuos mineros incluidos en el Plan de Cierre Progresivo de la empresa MYSRL.

Tabla 5

Coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo

Cuenca	Subcuenca	Parcela	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
			Este	Norte		
Río Rejo	Shilamayo	YAPZ1	773401	9229510	3973	Yanacocha área revegetada PAD
		YADDZ1	771315	9227474	3661	Yanacocha área revegetada
		LQarN	772600	9227767	3848	La Quinoa área rehabilitada Norte
	El Rejo	CNHRZ1	767424	9224227	3602	Cerro Negro área revegetada
Quebrada Honda	Quebrada Honda	MMDDZ3	778833	9230013	4089	Maqui Maqui. Área revegetada
Río Chonta	La Paccha	SJDRZ2	776647	9225328	4045	San José. Área revegetada

Figura 3 Ubicación del estudio



3.2. Condiciones Ambientales y Geológicas del Área de Estudio

3.2.1. Clima

El área de estudio presenta un clima frío, muy lluvioso y con humedad abundante durante todas las estaciones del año, característico de las regiones altoandinas. Según la clasificación climática de Thornthwaite, el área se clasifica como A (r) C', indicando un clima perhúmedo (letra A) con excedente hídrico anual significativo, donde las precipitaciones superan ampliamente la evapotranspiración potencial. La designación (r) indica una distribución uniforme de humedad durante todo el año, mientras que C' representa un déficit hídrico moderado en determinados periodos (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2020)

3.2.2. Temperatura

El área de estudio presenta temperaturas máximas entre 17°C y 21°C en el norte y 13°C y 17°C en el sur, mientras que las temperaturas mínimas oscilan entre 3°C y 7°C en el norte y -3°C y -1°C en el sur. Estas condiciones térmicas reflejan un clima frío típico de zonas altoandinas, con implicancias directas en la adaptación de la vegetación y el comportamiento térmico del suelo (SENAMHI, 2020).

3.2.3. Precipitación

El área de estudio presenta un régimen de precipitación anual que varía entre 1200 mm y 1800 mm, lo que lo clasifica dentro de las zonas de alta pluviosidad. Este rango de precipitaciones es característico de regiones altoandinas y está influenciado por factores como la altitud, la topografía y los patrones atmosféricos regionales (SENAMHI, 2020).

3.2.4. Velocidad y dirección del viento

Las velocidades medias anuales de viento en el área de estudio son: 2.4 m/s en La Quinua, 4.1 m/s en Yanacocha, 3.5 m/s en el kilómetro 24, 5.9 m/s en Carachugo y

3.3 m/s en Maqui Maqui. Según la escala Beaufort, La Quinua presenta una brisa muy débil (grado 2), Yanacocha y Km 24 una brisa débil (grado 3), Carachugo una brisa moderada (grado 4) y Maqui Maqui una brisa suave (grado 2). En cuanto a la dirección del viento, en La Quinua predominan el WNW y ENE, en Carachugo el E y ESE, en Maqui Maqui el NE, E y ENE, y en Yanacocha el NE, con las frecuencias más altas en cada caso. (STANTEC S.A, 2019, p. 161).

3.2.5. Humedad relativa

Durante la época húmeda, la humedad relativa en el área de estudio varía entre 76% en noviembre y 88.3% en febrero, con un promedio de 82.5%. En la época seca, la humedad relativa disminuye ligeramente, oscilando entre 68.6% en agosto y 81.2% en septiembre, con un promedio de 74.6%. Anualmente, la humedad relativa fluctúa entre 78% en Maqui Maqui y 83% en Carachugo (STANTEC S.A, 2019, p. 161).

3.2.6. Geología

El área de estudio se ubica en el norte del cinturón Orogénico Andino, con rocas sedimentarias del Mesozoico y volcánicas del Terciario. Estas rocas presentan pliegues y sobrescurrimientos orientados Noreste-Sureste, desviados a Este-Oeste en la intersección con el corredor estructural Chicama–Yanacocha. Las unidades geológicas locales incluyen brechas freato-magmáticas, diatremas, depósitos morrénicos y unidades volcánicas. Estructuralmente, predominan fallas sinestrales NW-SE, que controlan la mineralización. Los procesos geodinámicos identificados incluyen caída de rocas, erosión de riberas y laderas, y deslizamientos (STANTEC S.A, 2019, p. 162).

3.3. Materiales, equipos

De campo

- GPS portátil Trimble GPS Geo 7X
- Cámara fotográfica Nikon D850

- Libreta de campo
- Marcadores
- Fotocheck

De gabinete

- Laptop MacBook Pro 16" (M1 Pro Chip)
- Impresora Canon imageRUNNER ADVANCE C3520i
- Marcadores, lapiceros y lápiz
- Informes de laboratorio de suelos 2013-2019

3.4. Metodología

El estudio retrospectivo, siguió el siguiente procedimiento:

- Se solicitó el acceso a las instalaciones de la minera Yanacocha para realizar la visita a campo y verificar los puntos de muestreo utilizados en los informes previos.
- Se realizó una visita a campo para identificar y registrar los puntos de muestreo, asegurando la precisión y ubicación según lo descrito en los informes de laboratorio de suelos.

Figura 4

Visita a campo para la identificación de los puntos de monitoreo



- Se obtuvieron los informes de laboratorio de la Dirección de Medio Ambiente de la Minera Yanacocha, los cuales fueron emitidos por un laboratorio certificado y acreditado de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) durante los años 2013 a 2019.

Figura 5

Obtención de los informes de laboratorio



- Se revisaron los informes de laboratorio del período 2013-2019, que contienen datos sobre las propiedades físico-químicas del suelo en el área de estudio.
- El análisis se enfocó en evaluar la dinámica y variabilidad temporal de las propiedades del suelo, observando las fluctuaciones en los parámetros analizados.
- Se evaluó la evolución de la textura del suelo, analizando su distribución granulométrica durante el período.
- Se analizó la variación del contenido de materia orgánica, esencial para la retención de nutrientes y la actividad biológica del suelo.

- Se consideraron las fluctuaciones en la conductividad eléctrica, que influye en la salinidad y disponibilidad de nutrientes.
- Se revisaron los niveles de fósforo y potasio disponible, fundamentales para el crecimiento vegetal, observando su concentración a lo largo del tiempo.
- Se analizó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y a los cationes cambiabiles (Ca, Mg, K, Na), parámetros clave para la fertilidad del suelo.
- El objetivo fue comprender la variabilidad de estos parámetros en función de factores climáticos y de manejo a lo largo de los años.
- Los informes utilizados para este análisis están detallados en el Anexo 1 de este estudio.
- Se aplicó un modelo estadístico basado en regresión lineal y coeficiente de correlación para analizar la dinámica temporal de las propiedades físico-químicas del suelo.
- Se calculó el coeficiente de correlación entre cada parámetro y el tiempo, evaluando la relación lineal entre ambos.
- Para cada parámetro, se ajustó un modelo de regresión lineal, obteniendo la ecuación que describe su evolución temporal y la pendiente de la línea de tendencia, que indica la tasa de cambio.
- La regresión generó una línea de tendencia para cada parámetro, reflejando la dirección y magnitud del cambio con el tiempo.
- Se calculó el coeficiente de determinación (R^2) para evaluar el ajuste del modelo, donde valores cercanos a 1 indican un ajuste adecuado y valores cercanos a 0, un ajuste deficiente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Dinámica temporal de las propiedades físicas del suelo como la textura (arena, limo, arcilla), durante el período 2013-2019

Tabla 6

Propiedades físicas en los puntos de monitoreo

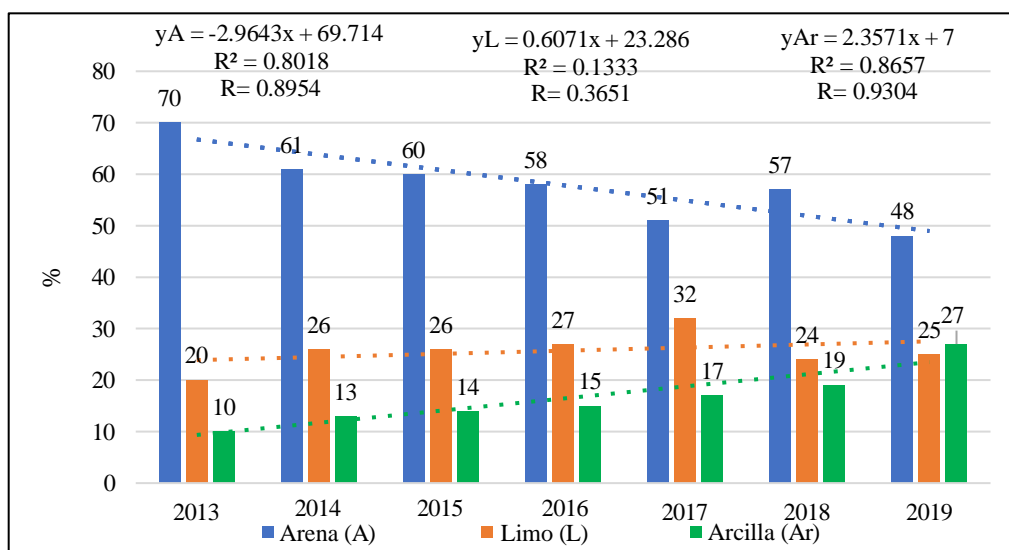
Puntos de monitoreo	Propiedades físicas	Años de monitoreo						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
YAPZ1	Arena (%)	70	61	60	58	51	57	48
	Limo (%)	20	26	26	27	32	24	25
	Arcilla (%)	10	13	14	15	17	19	27
	Clase textural	Fr. A	Fr. A	Fr. A	Fr. A	Fr.A	Fr.A	Fr.Ar.A
YADDZ1	Arena (%)	73	61	62	57	47	47	46
	Limo (%)	20	28	27	28	32	30	26
	Arcilla (%)	7	11	11	15	21	23	28
	Clase textural	Fr. A	Fr. A	Fr.A	Fr. A	Fr.	Fr.	Fr.Ar A
LQarN	Arena (%)	69	61	60	67	53	57	50
	Limo (%)	18	24	24	22	28	24	22
	Arcilla (%)	13	15	16	11	19	19	28
	Clase textural	Fr. A	Fr. A	Fr.A.	Fr. A	Fr. A	Fr.A	Fr.Ar.A
CNHRZ1	Arena (%)	64	61	61	61	47	46	45
	Limo (%)	26	28	26	30	30	30	30
	Arcilla (%)	10	11	13	9	23	24	25
	Clase textural	Fr. A	Fr. A	Fr. A	Fr. A	Fr.	Fr.	Fr.
MMDDZ3	Arena (%)	71	71	58	54	53	49	48
	Limo (%)	25	24	31	32	32	24	25
	Arcilla (%)	4	5	11	14	15	27	27
	Clase textural	Fr. A	Fr. A	Fr.A	Fr. A	Fr. A	Fr. Ar.A	Fr.Ar.A
SJDRZ2	Arena (%)	71	69	65	71	51	47	46
	Limo (%)	20	20	21	20	30	26	26
	Arcilla (%)	9	11	14	9	19	27	28
	Clase textural	Fr. A	Fr. A	Fr.A	Fr. A	Fr.	Fr.Ar.A	Fr.Ar.A

Nota: Fr: Franco, Fr. A: Franco arenoso, Fr. Ar. A: Franco arcillo arenoso

La tabla 6, presenta los resultados del análisis de la textura del suelo (arena, limo y arcilla) durante el periodo 2013-2019 en 6 puntos de muestreo: YAPZ1, YADDZ1, LQarN, CNHRZ1, MMDDZ3 y SJDRZ2. Se describen las variaciones en cada fracción textural a lo largo del tiempo (informes, ver anexo 1).

Figura 6

Distribución porcentual de textura del suelo en el punto YAPZ1

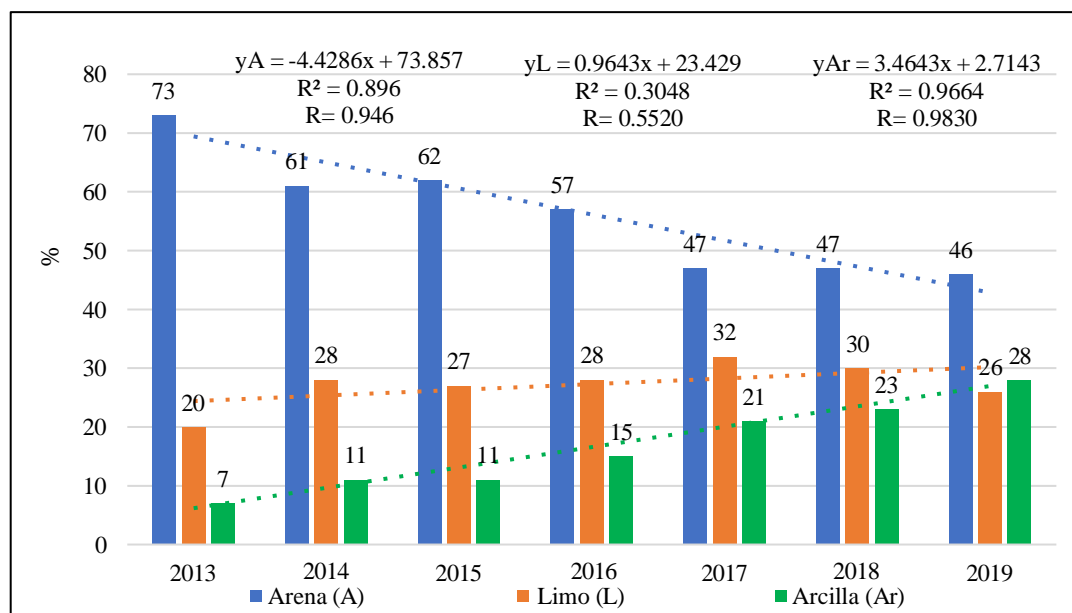


En el punto YAPZ1 (figura 6), los resultados muestran una disminución progresiva del porcentaje de arena (70% en 2013 a 48% en 2019) y un aumento simultáneo de limo (20% a 25%) y arcilla (10% a 27%), lo que llevó a un cambio textural de franco arenoso (Fr. A) a franco arcillo arenoso (Fr. Ar. A). Estos cambios pueden atribuirse a las actividades de manejo, como la incorporación de cal agrícola y abonos orgánicos, que promovieron la floculación y estabilización de partículas finas, así como al intemperismo y aporte continuo de materia orgánica generado por la cobertura vegetal establecida. Este comportamiento coincide con lo reportado por Salamanca (2020), quien identificó texturas franco arenosas en suelos en rehabilitación inicial, y con Ahirwal y Maiti (2016), que encontraron porcentajes de arena superiores al 60% en las etapas tempranas de rehabilitación. Además, Zhang et al. (2016) documentaron un aumento gradual en el contenido de arcilla asociado al tiempo de

rehabilitación, influenciado por el intemperismo y la formación de agregados impulsada por el aporte orgánico y la cobertura vegetal, lo que explica la cronosecuencia textural observada en nuestro análisis. El análisis de regresión y correlación mostró que el contenido de arena presentó una relación negativa con el tiempo ($y_A = -2.9643x + 69.714$), con una alta correlación ($R = 0.8954$) y un buen ajuste ($R^2 = 0.8018$), lo que indica una disminución progresiva, atribuida al proceso de floculación y estabilización de partículas finas por la materia orgánica y la cal agrícola. En contraste, el contenido de limo mostró una relación positiva débil ($y_L = 0.6071x + 23.286$) y bajo ajuste ($R^2 = 0.1333$), lo que sugiere estabilidad en su proporción. Finalmente, el contenido de arcilla presentó una relación positiva marcada ($y_{Ar} = 2.3571x + 7$), con alta correlación ($R = 0.9304$) y ajuste fuerte ($R^2 = 0.8657$), reflejando un aumento consistente debido al intemperismo y la acumulación de materia orgánica, que favorece la formación de agregados.

Figura 7

Distribución porcentual de textura del suelo en el punto YADDZI

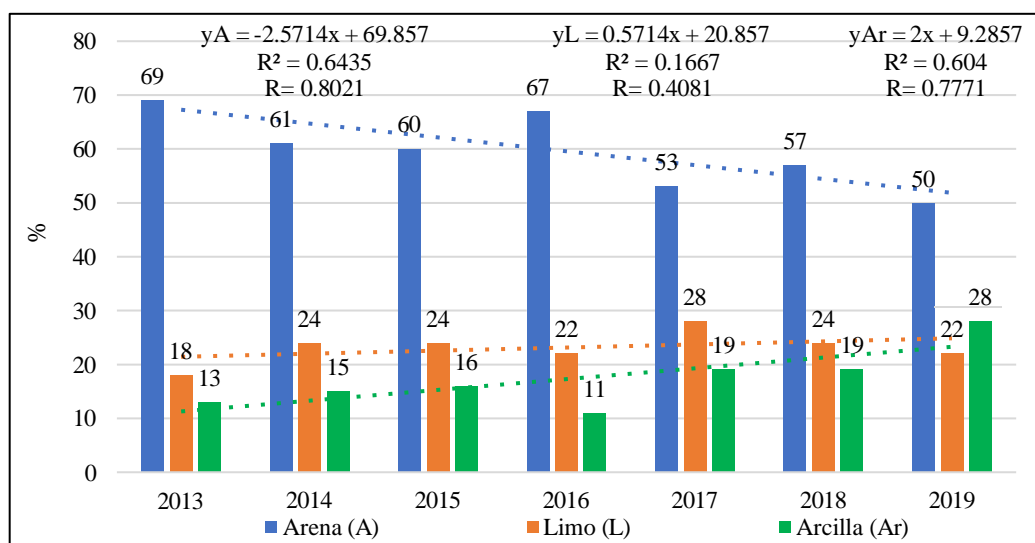


En el punto YADDZ1 (Figura 7), se observa una clara evolución entre 2013 y 2019. Se evidencia una relación negativa entre la arena y el tiempo, lo que indica una

disminución progresiva en su proporción (de 73% a 46%), mientras que la arcilla muestra una relación positiva, con un aumento significativo en su concentración (de 7% a 28%). La relación entre el limo y el tiempo es moderada y positiva, lo que sugiere una ligera tendencia al aumento de su proporción (de 20% a 26%). Los coeficientes de correlación positiva entre la arena y la arcilla ($R=0.946$ y $R=0.9830$, respectivamente) indican una fuerte relación entre estos componentes, mientras que la relación más moderada para el limo ($R=0.5520$) refleja una correlación más débil pero aún presente. Estos resultados son consistentes con los planteamientos de Chinchilla et al. (2011), quienes señalan que factores climáticos como la lixiviación y la meteorización alteran la distribución de las partículas del suelo, promoviendo un aumento de arcilla en la capa superficial, especialmente en zonas con alta precipitación. Además, el trabajo de Van (2006) resalta el papel de la materia orgánica y la revegetación en la mejora de la estructura del suelo, donde el intemperismo favorece la estabilización del suelo y la formación de partículas más finas. Así, los cambios en la textura del suelo en este punto se pueden atribuir a una combinación de factores climáticos, prácticas de revegetación, enclado e incorporación de materia orgánica.

Figura 8

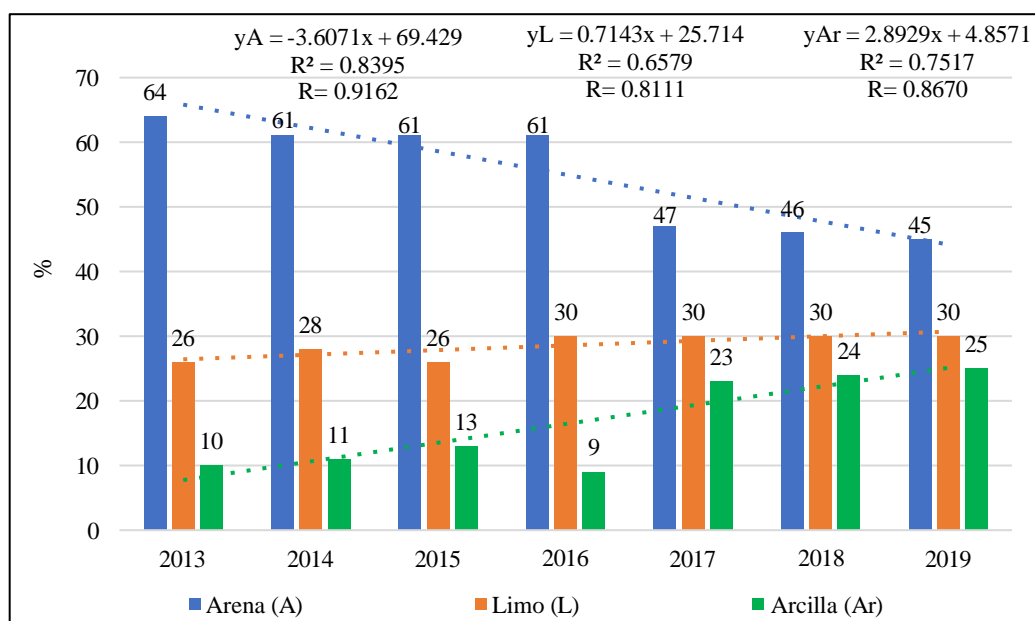
Distribución porcentual de textura del suelo en LQarN



En el punto LQarN (figura 8), la textura del suelo muestra una evolución clara entre 2013 y 2019, pasando de franco arenosa a franco arcillo arenosa. La proporción de arena disminuye del 69% al 50%, mientras que la arcilla aumenta del 13% al 28%, con el contenido de limo fluctuando entre 18% y 22%. Estos cambios en la textura del suelo pueden estar asociados con diversos factores naturales y de manejo. Julca et al. (2006) indican que la materia orgánica juega un papel fundamental en la formación de agregados estables, mejorando la estructura del suelo y favoreciendo la retención de agua, lo cual podría haber contribuido al aumento de arcilla. Además, la actividad biológica, como la fauna del suelo, los microorganismos y la penetración de raíces, puede haber favorecido la estabilización del suelo y la formación de agregados, tal como lo señala Torres et al. (2013). Según los coeficientes, la relación negativa y moderada entre la arena y el tiempo ($R=0.8021$) sugiere una disminución progresiva de la arena, mientras que la relación positiva y fuerte entre la arcilla y el tiempo ($R=0.7771$) indica su aumento. Estos resultados reflejan los cambios en la textura del suelo a lo largo del tiempo, que responden a factores tanto naturales como de manejo.

Figura 9

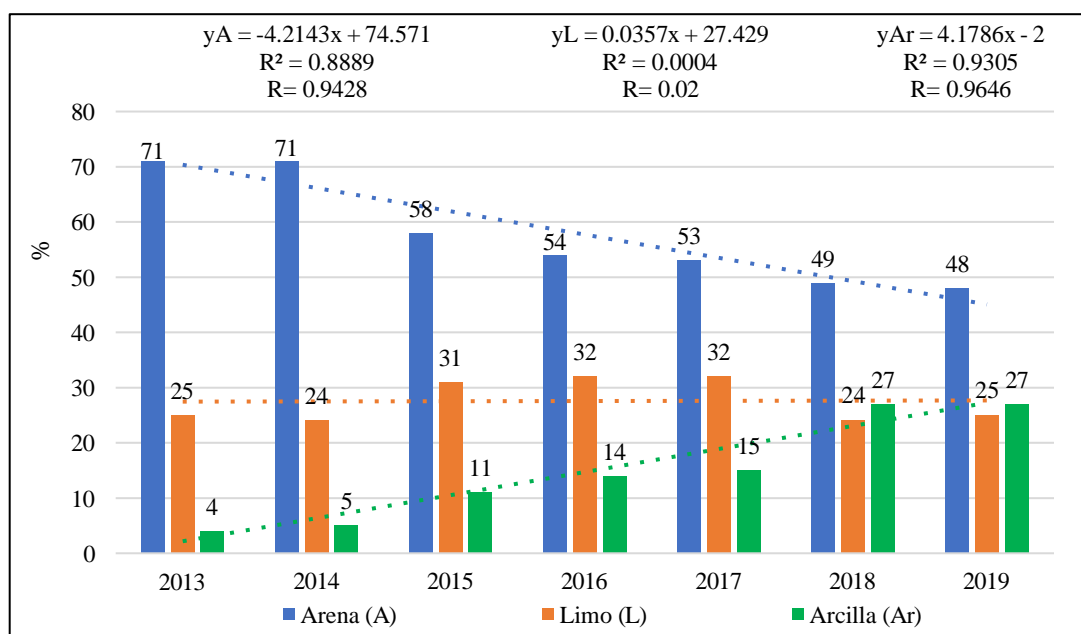
Distribución porcentual de textura del suelo en el punto CNHRZI



En el punto CNHRZ1 (figura 9), entre 2013 y 2019, se observa una clara tendencia con una reducción en la proporción de arena del 64% al 45%, un aumento de arcilla del 10% al 25%, y el contenido de limo manteniéndose relativamente constante, entre el 26% y el 30%. Estos cambios pueden explicarse por factores climáticos y biológicos. Según Chinchilla et al. (2011), La lixiviación y meteorización trasladan partículas del suelo, favoreciendo la acumulación de arcilla en la capa superficial, especialmente en áreas de alta precipitación. Además, Van (2006) resalta que la materia orgánica y la revegetación contribuyen a la estabilización del suelo y a la formación de partículas más finas. Julca et al. (2006) también destacan que la materia orgánica facilita la formación de agregados estables y mejora la retención de agua, actividad biológica, fauna del suelo, microorganismos y las raíces de las plantas juegan un papel importante en la estabilización del suelo, como lo señala Torres et al. (2013). Estadísticamente, se observa una relación negativa entre la arena y el tiempo ($R = 0.9162$), lo que indica su disminución, mientras que la arcilla muestra una relación positiva ($R = 0.8670$), reflejando su aumento, con una relación moderada para el limo ($R = 0.8111$).

Figura 10

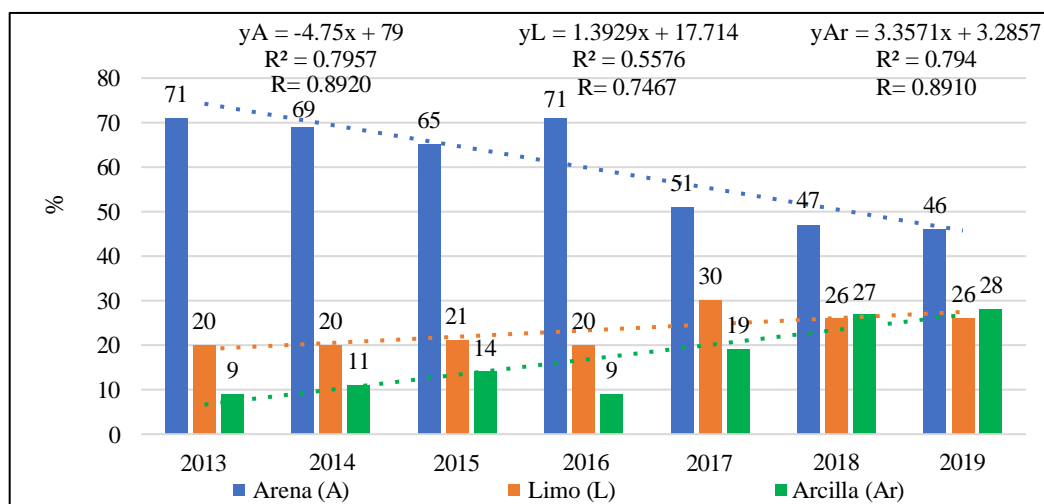
Distribución porcentual de textura del suelo en el punto MMDDZ3



En el punto MMDDZ3 (figura 10), el suelo evoluciona de una textura franco arenosa a franco arcillo arenosa entre 2013 y 2019, evidenciando una disminución en la proporción de arena (del 71% al 48%) y un notable aumento en la arcilla (del 4% al 27%), mientras que el limo presenta fluctuaciones menores, manteniéndose entre el 24% y el 32%. Estos cambios reflejan procesos de intemperismo y la influencia de la cobertura vegetal, como lo documentan Zhang et al. (2016), quienes observaron incrementos de arcilla en suelos con mayor tiempo de rehabilitación, y Salamanca, quien asocia la disminución de arena con el aporte orgánico y el intemperismo promovido por la vegetación. Además, Wongprom et al. (2020) resalta que la lixiviación causada por la exposición del suelo puede afectar su estructura y fertilidad. Estadísticamente, los resultados muestran una relación negativa fuerte para la arena ($R=0.9428$) y una relación positiva muy fuerte para la arcilla ($R=0.9646$), mientras que el limo no evidencia cambios significativos ($R=0.02$).

Figura 11

Distribución porcentual de textura del suelo en el punto SJDRZ2



En el punto SJDRZ2 (figura 11), el suelo inicialmente presentaba una textura franco arenosa que, con el tiempo, evolucionó a franco arcillo arenosa. Este cambio se refleja en la disminución del porcentaje de arena, que pasó del 71% al 46%, y en el incremento de la arcilla, que aumentó del 9% al 28%, mientras que el limo mostró una

variación más moderada, oscilando entre el 20% y el 30%. Según Chinchilla et al. (2011), procesos como la lixiviación y la meteorización redistribuyen las partículas del suelo, favoreciendo la acumulación de arcilla en áreas con precipitaciones elevadas. Van (2006) destaca que la materia orgánica y la revegetación mejoran la estructura del suelo al promover la formación de partículas más finas, mientras que Julca et al. (2006) subraya que la materia orgánica facilita la formación de agregados estables, incrementando la retención de agua. Torres et al. (2013) complementan este análisis al atribuir un rol clave a la actividad biológica, como la acción de raíces y microorganismos, en la estabilización del suelo. Además, Quinto et al. (2022) y Ahirwal y Maiti (2016) señalaron que suelos en procesos de rehabilitación o afectados por actividades mineras suelen mantener un alto contenido de arena. En cuanto al análisis estadístico, se identificó una relación negativa fuerte para la arena ($R= 0.8920$), una relación positiva moderada para el limo ($R= 0.7467$) y una relación positiva fuerte para la arcilla ($R= 0.8910$).

4.2. Dinámica de las propiedades químicas del suelo como el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, P (disponible), K (disponible).

La tabla 7 muestra las propiedades químicas en los años de estudio, muestra su dinámica y evolución en los puntos del áreas de manejo de cierre de minas analizados.

Tabla 7

Propiedades químicas del suelo en el periodo 2013-2019

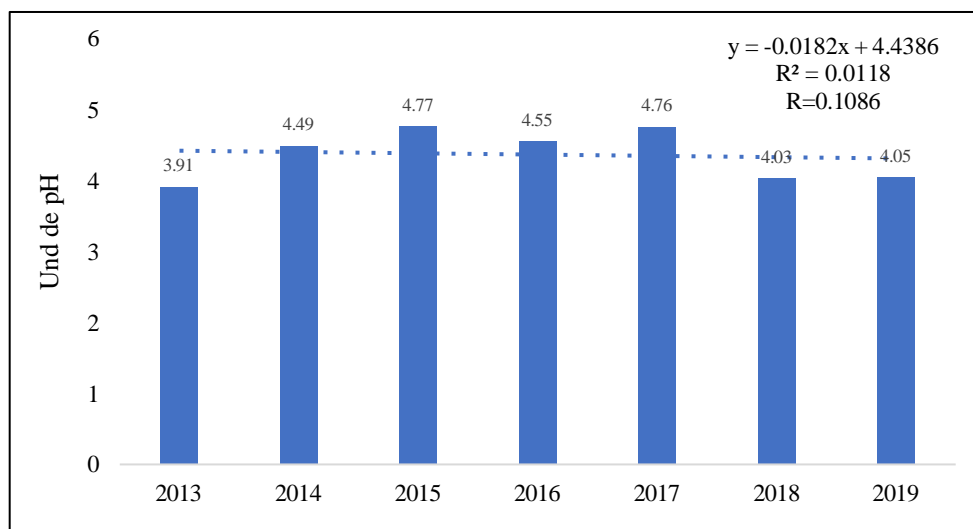
Puntos de monitoreo	Propiedades químicas	Años de monitoreo						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
YAPZ1	pH (Und)	3.91	4.49	4.77	4.55	4.76	4.03	4.05
	Conductividad (dS/m)	0.11	0.1	0.09	0.09	0.09	0.06	0.08
	Materia orgánica (%)	3.01	3.08	5.16	6.31	4.91	8.67	8.7
	P disponible (ppm)	3.01	3.6	3.91	2.9	4.7	3.9	3.7
	K disponible (ppm)	40	50	53	77	54	100	101

Puntos de monitoreo	Propiedades químicas	Años de monitoreo						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
YADDZ1	pH (Und)	3.93	4.21	4.98	4.57	4.16	4.85	4.13
	Conductividad (dS/m)	0.09	0.07	0.06	0.06	0.05	0.03	0.06
	Materia orgánica (%)	3.8	3.97	5.31	6.14	7.11	5.24	7.54
	P disponible (ppm)	2.4	2.9	2.7	2.7	3.5	2.4	4
	K disponible (ppm)	75	76	83	89	90	209	125
LQarN	pH (Und)	4.35	4.42	4.56	4.47	4.3	4.8	3.79
	Conductividad (dS/m)	0.15	0.14	0.12	0.11	0.12	0.04	0.11
	Materia orgánica (%)	3.04	3.39	6.32	5.91	7.39	7.13	6.12
	P disponible (ppm)	2.4	2.8	2.9	3.2	4.9	2.4	3.9
	K disponible (ppm)	79	80	91	103	116	162	154
CNHRZ1	pH (Und)	4.5	4.69	4.75	4.7	4.58	4.53	4.56
	Conductividad (dS/m)	0.09	0.08	0.06	0.03	0.05	0.06	0.05
	Materia orgánica (%)	3.7	3.79	6.33	6.1	5.9	4.8	7.01
	P disponible (ppm)	2.31	2.5	2.71	2.1	4.1	3.1	3
	K disponible (ppm)	18.3	17.1	65	79	56	97	113
MMDDZ3	pH (Und)	4.62	5.64	5.6	4.55	4.6	5	5.3
	Conductividad (dS/m)	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06	0.04	0.04
	Materia orgánica (%)	4.4	4.51	4.83	5.14	4.78	5.09	5.52
	P disponible (ppm)	2.4	2.6	2.7	2.8	2.4	2.7	3.8
	K disponible (ppm)	43	51	44	43	54	58	59
SJDRZ2	pH (Und)	3.98	4.21	4.58	4.66	4.4	4.42	4.57
	Conductividad (dS/m)	0.09	0.08	0.06	0.04	0.07	0.05	0.07
	Materia orgánica (%)	4.42	4.54	5.4	7.28	7.09	5.87	7.43
	P disponible (ppm)	2.1	2.3	2.4	2.4	2.2	3.9	4
	K disponible (ppm)	67	99	74	76	102	95	109

Potencial de hidrógeno

Figura 12

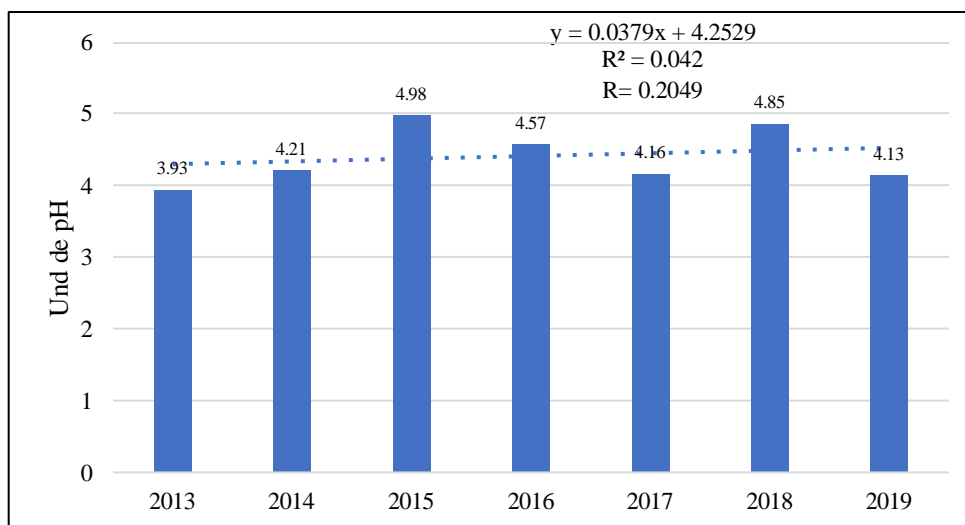
Potencial de hidrógeno en el punto YAPZI



En el punto YAPZ1 (figura 12), el suelo presenta un pH ácido durante el 2013-2019, con valores que oscilan entre 3.91 y 4.77, lo que refleja condiciones típicas de zonas impactadas por minería, donde la oxidación de sulfuros, según Burgos et al. (2003), libera protones al medio, acidificando el suelo. Las fluctuaciones observadas, como los incrementos en ciertos años, podrían atribuirse a la aplicación de cal orgánica (encalado), que introduce iones de calcio para neutralizar los protones, aumentando temporalmente el pH. Por otro lado, los descensos posteriores estarían vinculados a la descomposición de materia orgánica, un proceso que, como señala Soriano Soto (2018), genera ácidos orgánicos y contribuye a la mineralización, incrementando la acidez. Xiong (2015) resalta que el tiempo y las enmiendas aplicadas son clave para mitigar la acidez en suelos mineros, mientras que Higidio et al. (2023) con revegetación y enmiendas lograron elevar el pH hasta valores cercanos a la neutralidad. Sin embargo, en este caso, los cambios fueron limitados. La correlación entre los años y el pH es casi nula ($R^2 = 0.0118$, $R = 0.1086$), lo que indica que las variaciones responden a factores externos más que a una tendencia lineal. Sin embargo, el pH se encuentra en el rango de suelos naturales de Jalca según Sanchez y Dillon (2006).

Figura 13

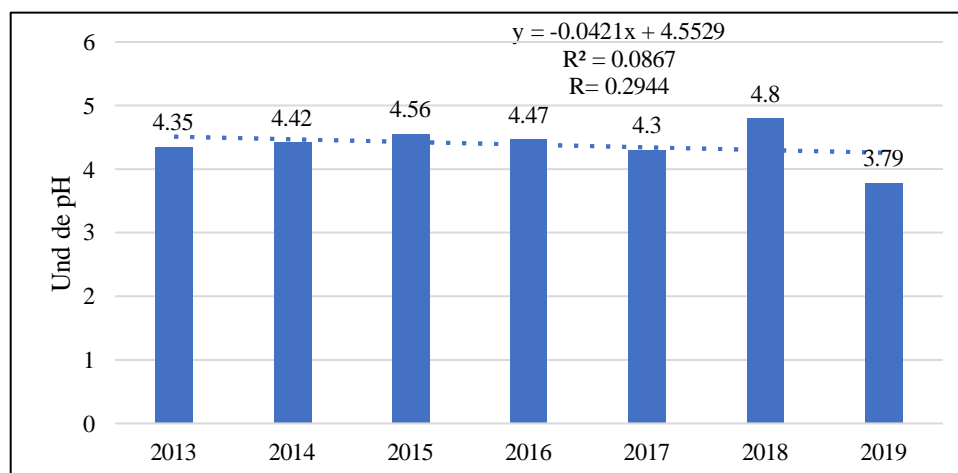
Potencial de hidrógeno en el punto YADDZI



En el punto YADDZ1 (figura 13), los valores de pH reflejan un ambiente ácido, con fluctuaciones que van de 3.93 a 4.98. Este comportamiento es característico de zonas impactadas por minería, donde la oxidación de sulfuros, según Burgos et al. (2003), libera protones que acidifican el suelo. Además, en áreas con mayor presencia de elementos traza, se registran niveles de pH más bajos, mientras que zonas con menor concentración muestran valores más elevados. También Sánchez y Dillon (2006) menciona que el pH de suelos de jalca presentan suelos ligeramente ácidos comportamiento registrado en este estudio. El incremento observado en los primeros años podría asociarse al encalado, un proceso que, como explican Cruz y Macal (2018), introduce iones calcio y oxhidrilos al suelo, elevando temporalmente el pH. Sin embargo, las variaciones posteriores estarían relacionadas con la aplicación de abonos orgánicos, cuya descomposición genera ácidos orgánicos que influyen negativamente en el pH. Por otro lado, Salamanca (2020) y Pérez et al. (2012) reportaron que los suelos rehabilitados, aunque pueden alcanzar valores de pH más cercanos a la neutralidad (6-7), suelen permanecer ácidos con variaciones mínimas a lo largo del tiempo. En este caso, la correlación estadística entre los años y el pH fue baja ($R^2 = 0.042$, $R = 0.2049$), lo que sugiere que los cambios no tienen una tendencia definida.

Figura 14

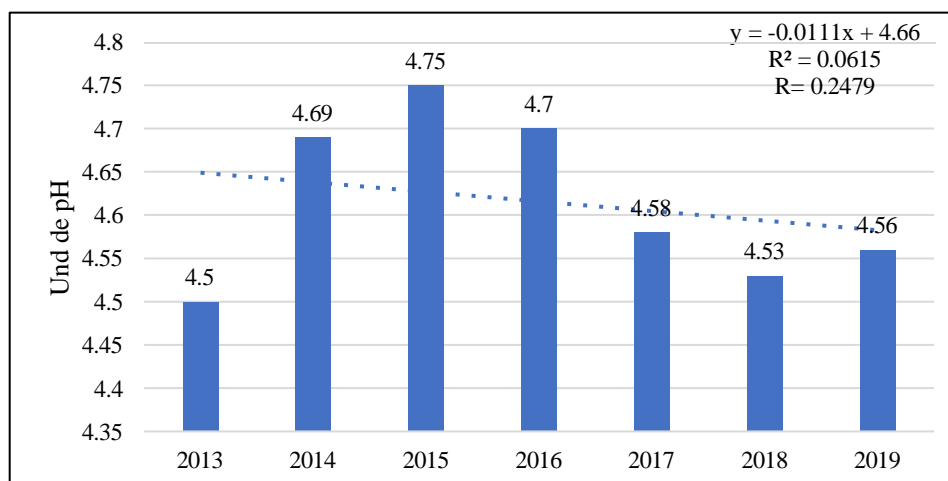
Potencial de hidrógeno en el punto LQarN



En el punto LQarN (figura 14), el suelo mantuvo un pH ácido durante todo el periodo de monitoreo (2013-2019), con valores que oscilaron entre 3.79 y 4.8, evidenciando condiciones típicas de áreas mineras. Según Aduvire (2006), esta acidez puede atribuirse a la oxidación de minerales sulfurosos, la pérdida de cationes básicos por lixiviación y la liberación de protones por metales como hierro y aluminio. También Sánchez y Dillon (2006) menciona que en suelo naturales de jalca el pH tiende a la acidez. Las leves fluctuaciones observadas, como los incrementos en algunos años, podrían estar asociadas a la aplicación de cal orgánica, que temporalmente eleva el pH. Sin embargo, las disminuciones posteriores estarían relacionadas con la mineralización del abono orgánico, que, al descomponerse, genera ácidos orgánicos que afectan negativamente la acidez, como describe Soriano Soto (2018). De manera similar, Ahirwal y Maiti (2016) encontraron rangos de pH de 4.5 a 6.5 en suelos rehabilitados y no perturbados en sitios mineros, mientras que Sevilla (2014) documentó un caso atípico de alcalinidad con un pH de 8.13 en una escombrera. En este caso específico, la relación estadística entre los años y el pH muestra una baja correlación ($R^2 = 0.0867$, $R = 0.2944$), indicando que las variaciones responden principalmente a factores externos más que a un patrón lineal definido.

Figura 15

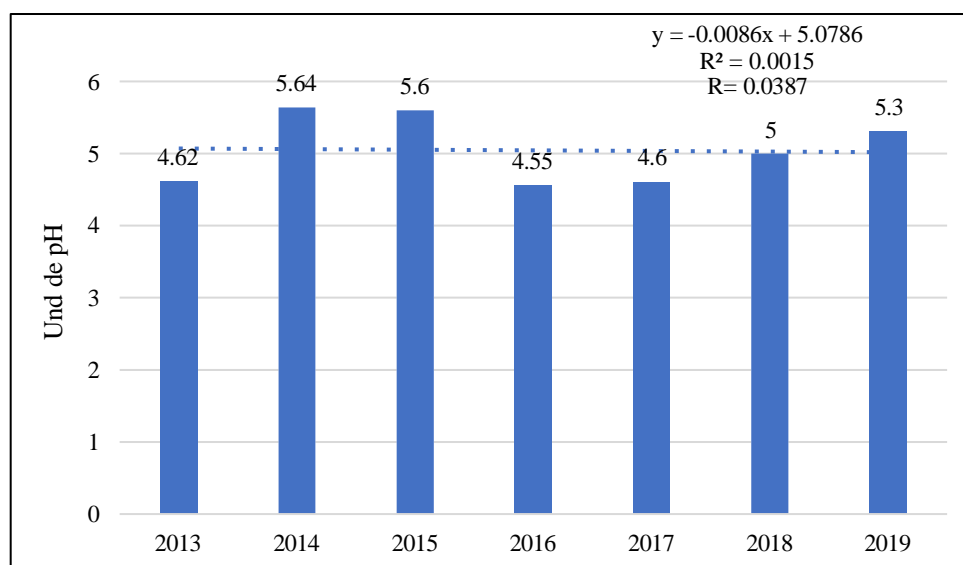
Potencial de hidrógeno en el punto CNHRZI



En el punto CNHRZ1 (figura 15), los valores de pH registrados entre 2013 y 2019 evidencian una acidez persistente, fluctuando entre 4.5 y 4.75, característica común en suelos mineros debido a la oxidación de sulfuros, que libera protones al medio y reduce el pH, según lo señalado por Burgos et al. (2003). Durante los primeros años, se observa un ligero incremento en el pH, probablemente relacionado con el encalado, cuya acción neutraliza temporalmente la acidez al liberar iones de calcio. Sin embargo, en los años posteriores, las fluctuaciones del pH carecen de una tendencia definida, lo que podría atribuirse al uso de enmiendas y abonos orgánicos que, al descomponerse, generan ácidos orgánicos y contribuyen a la mineralización, como indica Soriano Soto (2018). Quinto et al. (2022) reportaron un pH promedio similar en suelos con características geológicas basadas en arcillo-litas y limolitas, donde la infertilidad y la alta precipitación, al acelerar la meteorización y la liberación de cationes básicos, perpetúan las condiciones ácidas. La baja correlación estadística ($R^2 = 0.0615$, $R = 0.2479$) confirma que las variaciones de pH están más influenciadas por factores externos como el encalado en los primeros años, adición de abonos orgánicos y revegetación y el aumento de la arcilla que por el tiempo.

Figura 16

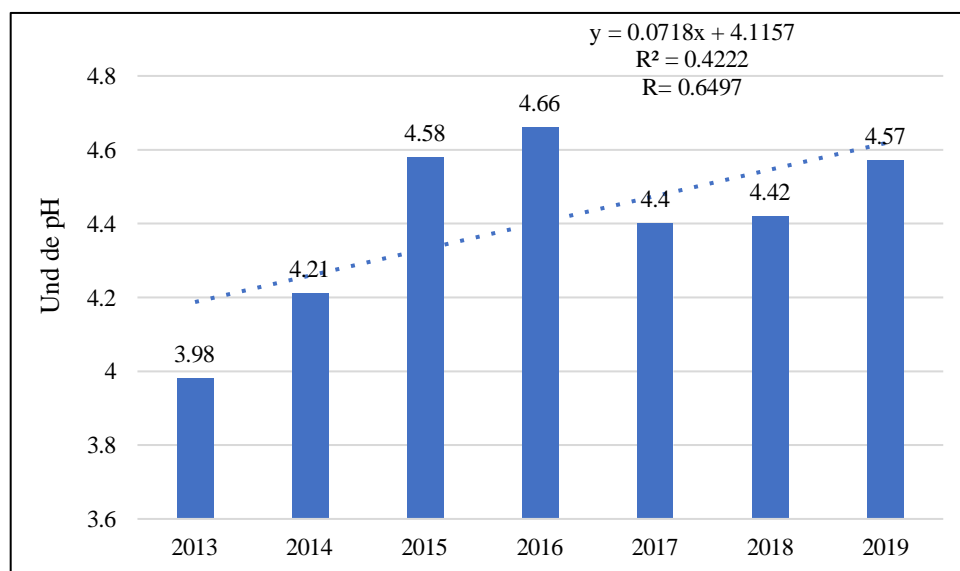
Potencial de hidrógeno en el punto MMDDZ3



El punto MMDDZ3 (figura 16) presenta un pH ácido a lo largo de los años, con valores que oscilan entre 4.55 y 5.64. Según Monterroso y Macías (1998), esta acidez es característica de suelos mineros y se origina por la oxidación de sulfuros como la pirita, que produce ácido sulfúrico, y por la lixiviación de bases, lo que acumula cationes ácidos como H^+ y Al^{3+} debido a la baja CIC. En los primeros años, se observa un incremento en el pH, atribuido al encalado, que introduce iones calcio y oxhidrilos al suelo, elevándolo temporalmente (Cruz y Macal, 2018). Las fluctuaciones posteriores pueden deberse a la descomposición de abonos orgánicos, generando ácidos orgánicos que influyen en la acidez del suelo. Salamanca (2020) y Pérez et al. (2012) señalan que en suelos rehabilitados el pH permanece ácido, con leves variaciones, pero sin una tendencia clara hacia la neutralidad a lo largo del tiempo. La baja correlación estadística obtenida ($R^2 = 0.0015$, $R = 0.0387$) sugiere que los cambios de pH responden principalmente a factores externos más que a la evolución temporal del suelo.

Figura 17

Potencial de hidrógeno en el punto SJDRZ2



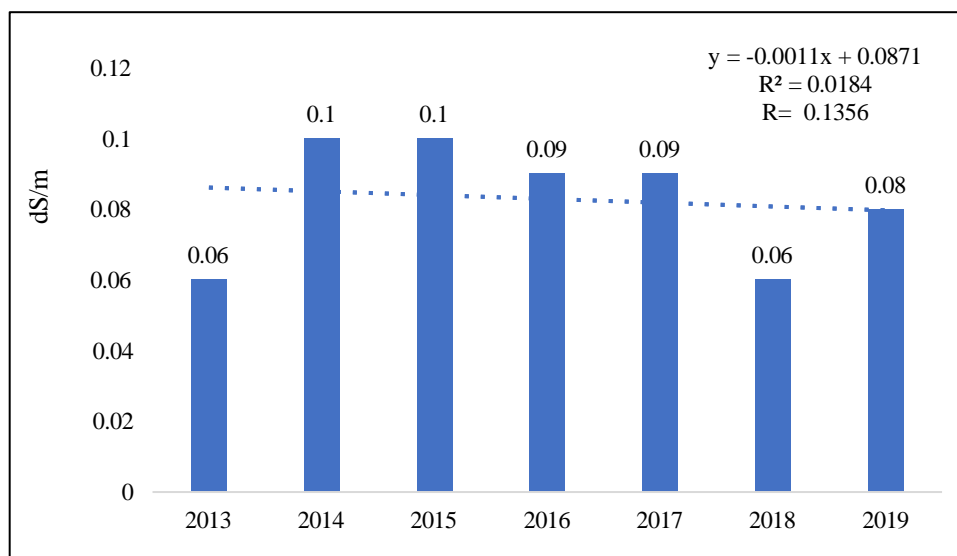
El punto SJDRZ2 (figura 17) presentó un pH ácido durante el período analizado, variando entre 4.55 y 5.64. Esta acidez se atribuye a procesos como la oxidación de

minerales sulfurosos y la lixiviación de cationes básicos, liberando protones de metales como hierro y aluminio (Aduvire, 2006). Los incrementos de pH observados pueden explicarse por la aplicación de cal agrícola, que temporalmente neutraliza la acidez, mientras que las disminuciones están relacionadas con la descomposición de abonos orgánicos, que generan ácidos (Soriano Soto, 2018). Ahirwal y Maiti (2016) reportan rangos de pH similares en suelos mineros, observando su persistencia en suelos rehabilitados. En suelos afectados por la minería y sin intervención, Xiong (2015) indica que la acidez se mantiene constante, a diferencia de suelos intervenidos, donde prácticas como la revegetación pueden elevar el pH, favoreciendo condiciones más cercanas a la neutralidad (Higidio et al., 2023). La correlación obtenida ($R^2 = 0.4222$, $R = 0.6497$) sugiere una relación moderada entre las variaciones del pH y el tiempo, indicando una tendencia en su comportamiento a lo largo del período analizado, resaltando la importancia del encalado y la revegetación que influyen la variación del pH.

Conductividad eléctrica

Figura 18

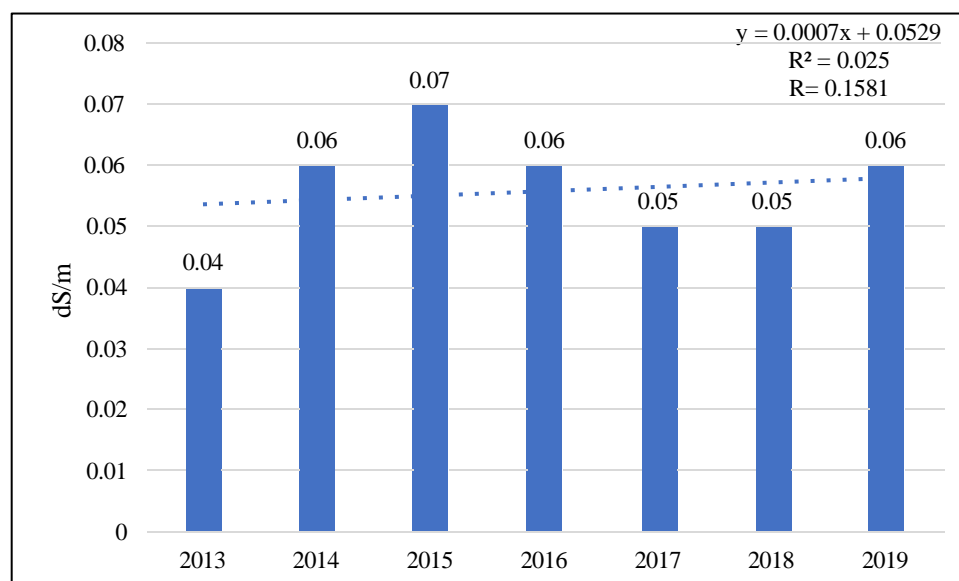
Conductividad eléctrica en el punto YAPZI



En el punto YAPZ1 (figura 18), los datos de conductividad eléctrica (CE) muestran una dinámica similar a la observada en el pH, un incremento en los primeros años, seguido de variaciones posteriores. Este comportamiento inicial puede estar asociado a la liberación de cationes como calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) a partir de la aplicación de cal y abono orgánico, que no solo neutralizan protones (H^+) para elevar el pH, sino que también contribuyen al aumento de partículas cargadas en el suelo, incrementando la conductividad eléctrica. Pérez et al. (2012) identificaron una relación similar, destacando que la CE varía en función de los minerales disueltos, como potasio y calcio, presentes en diferentes etapas de evolución del suelo. Sin embargo, en estudios de Xiong (2015), se observa que la CE tiende a disminuir con el tiempo, una tendencia que no está exclusivamente vinculada a las enmiendas, sino a las interacciones químicas en el suelo, donde el aumento del pH puede reducir la movilidad de ciertos iones. En este punto, la baja correlación entre la CE y el tiempo ($R = 0.1356$, $R^2 = 0.0184$) indica que las fluctuaciones no siguen una tendencia definida, sugiriendo la influencia de otros factores como el balance de cationes y aniones en solución.

Figura 19

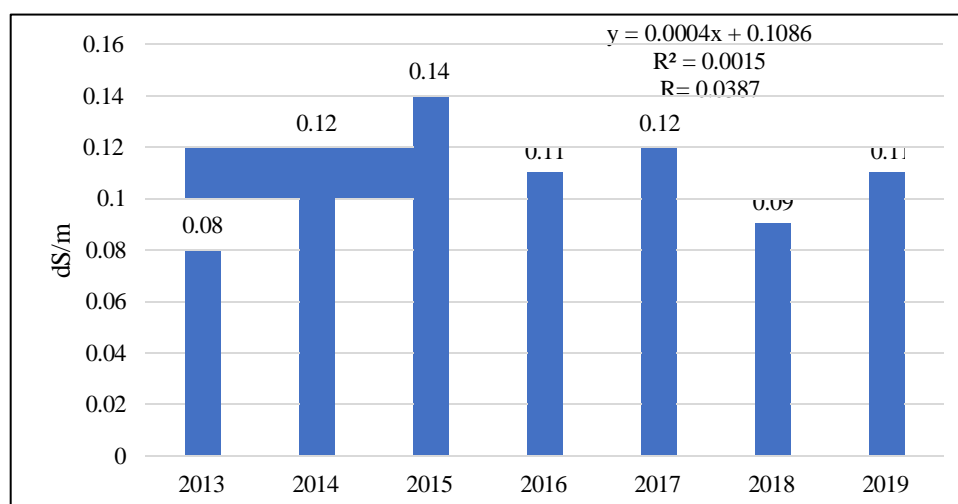
Conductividad eléctrica en el punto YADDZI



En el punto YADDZ1, se observa una dinámica similar a la del pH, con incrementos en la conductividad eléctrica (CE) en los primeros años seguidos de una tendencia a la disminución en años posteriores. Esta variabilidad puede explicarse por la aplicación de cal, que inicialmente incrementa la CE debido a la liberación de iones calcio (Ca^{2+}) y carbonatos (CO_3^{2-}) al suelo. Con el tiempo, el aumento del pH favorece la precipitación de metales y sales solubles, lo que provoca una reducción de la conductividad. De acuerdo con Carrillo et al. (2017), la adición de cal puede elevar temporalmente la CE, pero a medida que el pH se estabiliza, la conductividad tiende a disminuir. Salamanca (2020) también señala que, en suelos mineros en rehabilitación, la CE suele ser más alta en las etapas iniciales y tiende a estabilizarse a medida que avanza el proceso de rehabilitación. La correlación muestra un R^2 de 0.025, indicando una relación muy débil entre la conductividad y el tiempo. El valor de $R = 0.1581$ sugiere que las variaciones en la conductividad no están significativamente asociadas al tiempo, implicando la influencia de otros factores en su dinámica.

Figura 20

Conductividad eléctrica en el punto LQarN

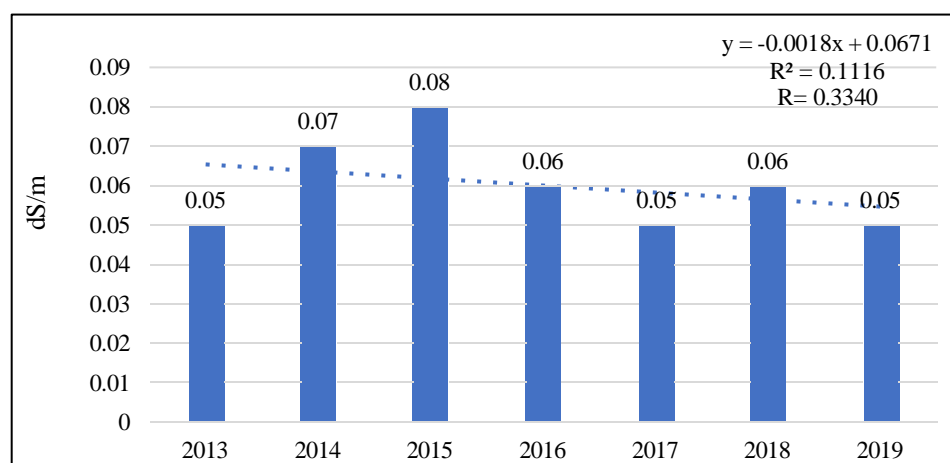


En el punto LQarN (figura 20), se observa un incremento en la conductividad durante los primeros años, lo cual podría estar relacionado con la incorporación de cal al abono orgánico. Este aumento inicial se explica por la liberación de iones calcio (Ca^{2+})

y carbonatos (CO_3^{2-}) en el suelo. Con el paso del tiempo, el aumento del pH favorece la precipitación de metales y sales solubles, lo que genera una disminución en la conductividad. Según Carrillo et al. (2017), este patrón es común en las primeras etapas de rehabilitación de suelos, donde la conductividad es elevada, pero con el tiempo tiende a estabilizarse. Salamanca (2020) también resalta que, en suelos mineros en rehabilitación, la conductividad eléctrica es más alta al principio y luego se estabiliza a medida que avanza el proceso. Por otro lado, Ahirwal y Maiti (2016) reportaron que la conductividad en suelos rehabilitados es mayor en comparación con suelos no perturbados, con valores de 0.03 a 0.46 dS/m, lo que sugiere que los suelos afectados por minería conservan cierta salinidad residual. La correlación entre la conductividad y el tiempo presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0.0015, lo que indica que la relación es mínima. El valor de $R = 0.0387$ refuerza la conclusión de que la conductividad no está fuertemente influenciada por el tiempo, sugiriendo que otros factores podrían estar incidiendo en este comportamiento.

Figura 21

Conductividad eléctrica en el punto CNHRZ1

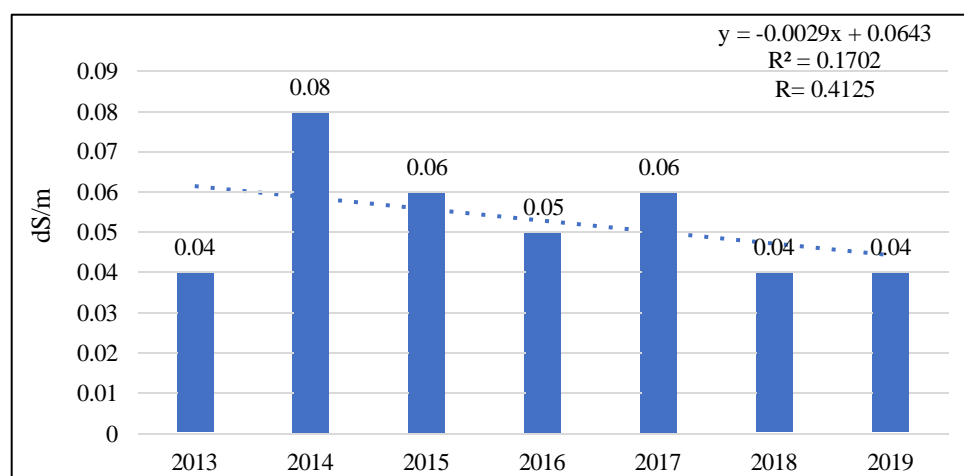


En el punto CNHRZ1 (figura 21), la conductividad eléctrica mostró un aumento en los primeros años, atribuible a la aplicación de enmiendas como cal, que liberan cationes como calcio (Ca^{2+}) y potasio (K), elevando temporalmente la conductividad.

Este fenómeno es consistente con lo señalado por Pérez et al. (2012), quienes indicaron que, en etapas iniciales, la presencia de estos minerales incrementa la conductividad. Posteriormente, la disminución de la conductividad puede explicarse por el aumento del pH, que favorece la precipitación de metales y sales solubles, lo que reduce la conductividad, como lo explicó Xiong (2015). Salamanca (2020) observó que, en suelos en rehabilitación, la conductividad es más alta en etapas tempranas, estabilizándose con el tiempo, un patrón que también podría aplicarse en este caso. Además, Ahirwal y Maiti (2016) destacaron que en suelos rehabilitados la conductividad es más alta debido a la salinidad residual, lo que podría estar contribuyendo a la variabilidad observada. La correlación entre la conductividad y el tiempo ($R^2 = 0.1116$, $R = 0.3340$) indica una relación débil, sugiriendo que otros factores, además del tiempo.

Figura 22

Conductividad eléctrica en el punto MMDDZ3

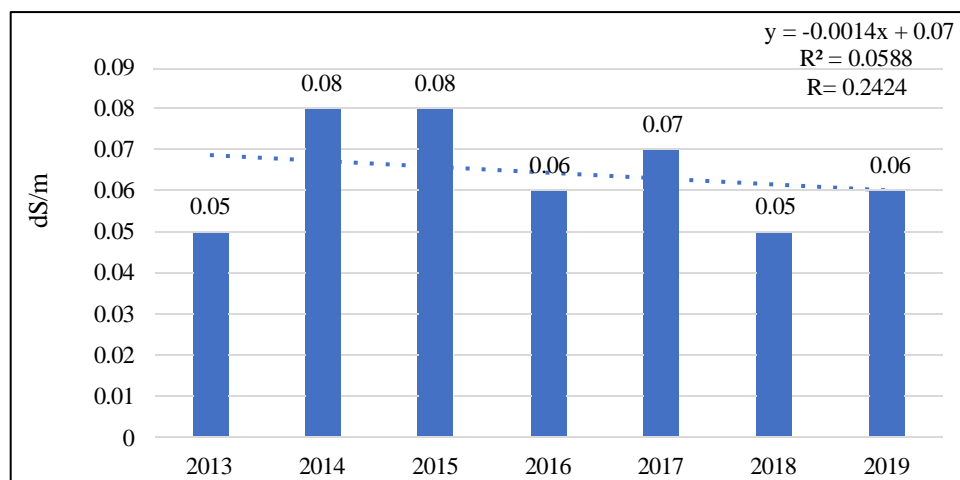


En el punto MMDDZ1 (figura 22), se observa un incremento en la conductividad eléctrica en los primeros años, seguido de disminuciones en los años posteriores. Según Combatt et al. (2009) este comportamiento puede explicarse por la aplicación de cal y el lavado con agua, que se ve potenciado por la interacción con la lluvia que facilitan la solubilización de compuestos presentes en la fase intercambiable o

soluble del suelo, lo que inicialmente incrementa la conductividad debido a la liberación de iones como Fe^{2+} , Mn^{2+} y NH_4^+ . Sin embargo, con el paso del tiempo y la precipitación de metales como el hierro (Fe^{2+}), que forma compuestos insolubles como $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y FeS , la conductividad disminuye. Salamanca (2020) también observó que, en suelos mineros en rehabilitación, la conductividad eléctrica suele ser más alta en las primeras etapas de cierre de minas, pero se estabiliza hacia niveles ideales conforme avanza el proceso de rehabilitación. La correlación de la conductividad con el tiempo con un R^2 de 0.1702 y un valor de $R = 0.4125$, lo que indica una relación moderada, sugiriendo que factores externos intervienen en la variabilidad de la conductividad eléctrica en estos suelos.

Figura 23

Conductividad eléctrica en el punto SJDRZ2



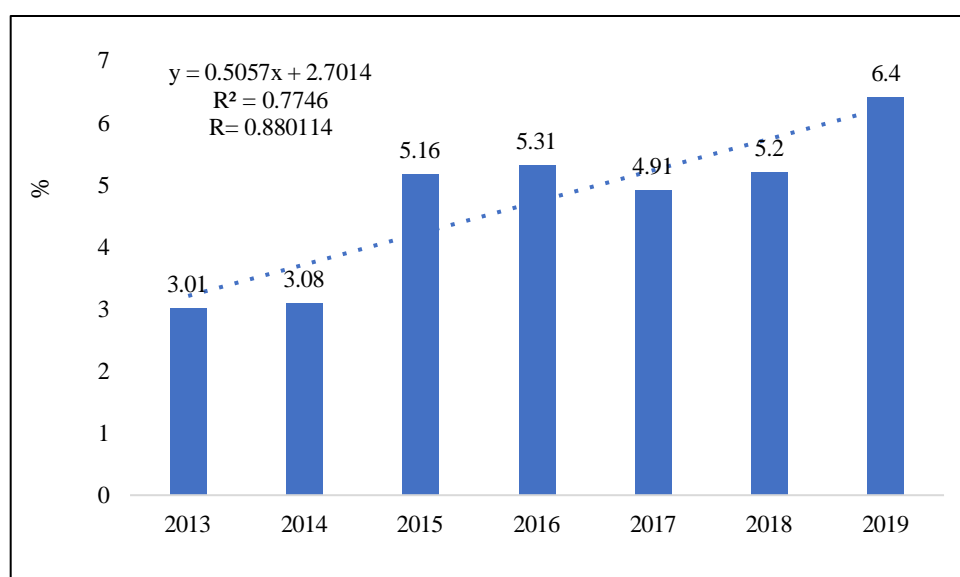
En el punto SJDRZ2 (figura 23), se observa un comportamiento de incremento en los primeros años, seguido de una disminución en los años posteriores, similar a lo observado en el pH. Este patrón puede ser explicado por la aplicación de cal y la interacción con la lluvia. Según Combatt et al. (2009), estas prácticas facilitan la solubilización de compuestos presentes en la fase intercambiable o soluble del suelo, lo que inicialmente aumenta la conductividad debido a la liberación de iones como Fe^{2+} ,

Mn^{2+} y NH_4^+ . Con el tiempo, la precipitación de metales como el hierro (Fe^{2+}) en compuestos insolubles como $Fe(OH)_2$ y FeS provoca una disminución en la conductividad. Además, Carrillo et al. (2017) explican que el aumento inicial de la conductividad puede estar relacionado con la liberación de iones calcio (Ca^{2+}) y carbonatos (CO_3^{2-}) en el suelo, lo que incrementa la concentración de sales solubles. Con el tiempo, el aumento del pH favorece la precipitación de estas sales y metales, reduciendo la conductividad. Mendoza y Rojas (2022) señalan que una salinidad moderada a alta (2.1 a 8.5 dS/m) puede aumentar la movilidad de metales pesados, resalta la importancia de controlar los niveles de salinidad en los suelos en rehabilitación, Lobos (2008) clasificó los suelos con una conductividad menor a 2 dS/m como no salinos, lo que favorece el establecimiento de vegetación. La correlación para este punto sigue la ecuación $y = -0.0014x + 0.07$, con un R^2 de 0.0588 y un valor de $R = 0.2424$, lo que indica una relación débil entre el tiempo y la conductividad.

Materia orgánica

Figura 24

Materia orgánica en el punto YAPZI

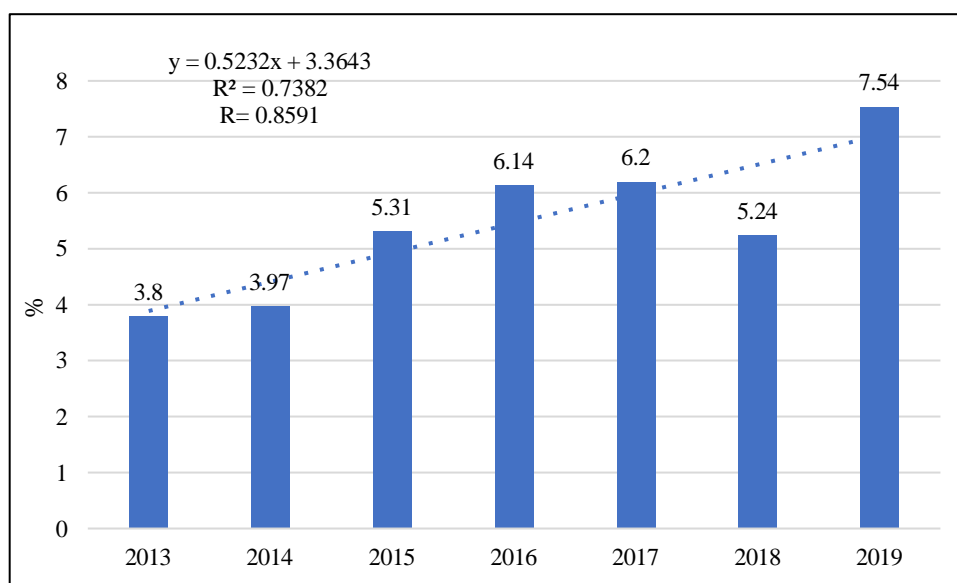


En el punto YAPZI (figura 24), los valores de materia orgánica mostraron un incremento sostenido desde 3.01% en 2013 hasta 6.4% en 2019. Este comportamiento

se atribuye a la revegetación con especies como *Calamagrostis sp.* y *Paspalum*, que contribuyen a la descomposición de raíces y residuos vegetales, enriqueciendo el suelo con carbono orgánico y mejorando la estabilidad estructural al reducir la erosión. Asimismo, la incorporación de abonos orgánicos como estiércol, compost y guano de aves ha favorecido la actividad microbiana, promoviendo la formación de humus. Estudios como el de Salamanca (2020) y Pérez et al. (2012) confirman que los procesos de rehabilitación, a través de enmiendas y revegetación, aumentan significativamente la materia orgánica en suelos mineros rehabilitados, alcanzando valores similares entre 8% y 10%, asociados con la madurez de la cobertura vegetal. El patrón de incremento progresivo en el tiempo presenta un coeficiente de correlación (R) de 0.8801 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.7746, lo que indica que el 77.46% de la variabilidad en el contenido de materia orgánica se debe a factores temporales y las estrategias implementadas, como la incorporación de enmiendas orgánicas y la revegetación, las cuales influyen en la dinámica de la descomposición de la vegetación muerta y en el consecuente aporte de materia orgánica al suelo.

Figura 25

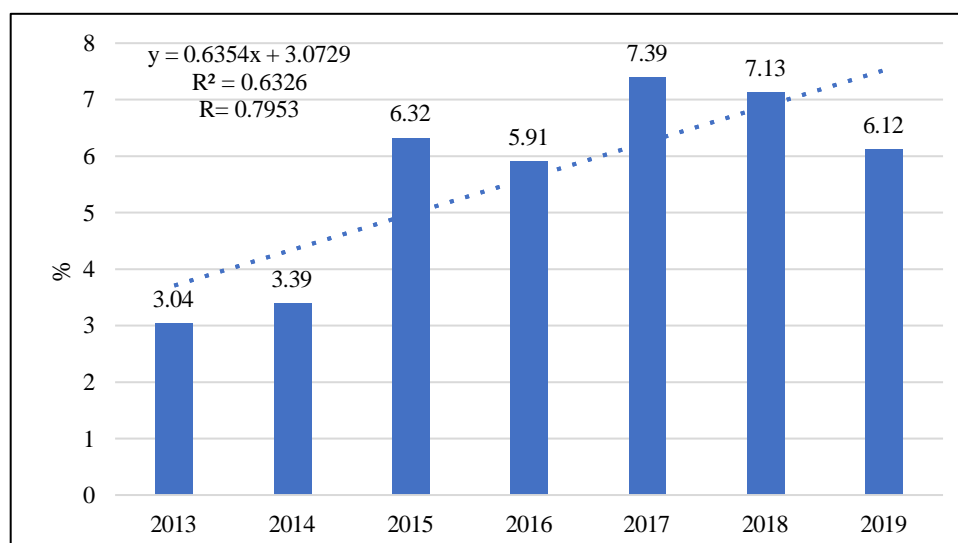
Materia orgánica en el punto YADDZI



En el punto YADDZ1 (figura 25), los valores de materia orgánica mostraron un aumento constante desde 3.8% en 2013 hasta 7.54% en 2019. Este incremento se explica por la aplicación de abonos orgánicos como estiércol, compost y guano de aves, que enriquecen el suelo con nutrientes, estimulan la actividad microbiana y promueven la descomposición de material orgánico. La revegetación con especies como *Calamagrostis* sp. y *Paspalum* también contribuye al aporte de carbono a través de la descomposición de raíces y restos vegetales, mientras que la corrección del pH mediante cal agrícola optimiza las condiciones edáficas, favoreciendo la acumulación de materia orgánica. Estudios como los de Quinto et al. (2022) y Wongprom et al. (2020) respaldan estas observaciones, señalando que las prácticas de manejo, incluidas las enmiendas y la descomposición de hojarasca en suelos mineros, son efectivas para revertir la pérdida de materia orgánica y estimular su incremento. El análisis estadístico muestra una correlación directa y proporcional con el tiempo, evidenciada por un coeficiente de correlación (R) de 0.8591 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.7382, lo que indica que el 73.82% de la variación en los niveles de materia orgánica se explica por el tiempo y las estrategias de manejo aplicadas.

Figura 26

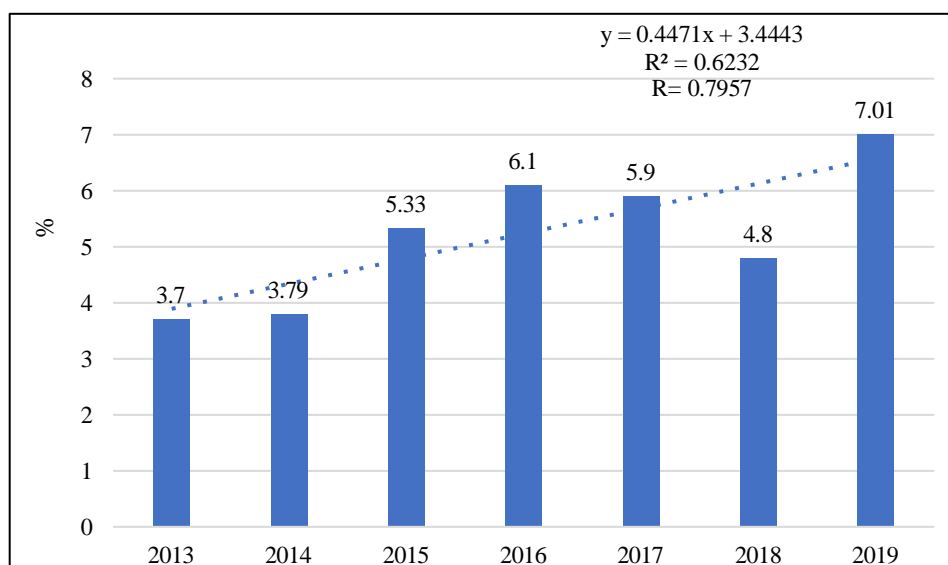
Materia orgánica en el punto LQarN



En el punto LQarN (figura 26), se observó un aumento progresivo de la materia orgánica, desde 3.04% en 2013 hasta 6.12% en 2019, lo cual se atribuye a diversos factores que interactúan entre sí. La aplicación de abonos orgánicos, como estiércol y compost y guano de aves ha incrementado los nutrientes del suelo, favoreciendo la actividad microbiana y acelerando la descomposición. Por otro lado, la revegetación contribuye significativamente a la descomposición de raíces y restos vegetales, lo que reduce la erosión y mejora la retención de carbono. En estudios como el de Pérez et al. (2012), se observa que suelos rehabilitados con revegetación alcanzan valores de materia orgánica entre el 8% y 10%, lo cual está relacionado con el aporte orgánico de la vegetación madura. De forma similar, Higidio et al. (2023) reportaron un aumento en los niveles de materia orgánica en suelos mineros rehabilitados, desde 1.43% hasta 3.06% tras la aplicación de enmiendas y fertilizantes junto con la revegetación. El análisis de correlación muestra una relación directa y proporcional entre el incremento de la materia orgánica el tiempo, con un coeficiente de correlación (R) de 0.7953 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.6326, indica que el 63.26% de la variabilidad en los niveles de materia orgánica se explica por el tiempo y las prácticas aplicadas.

Figura 27

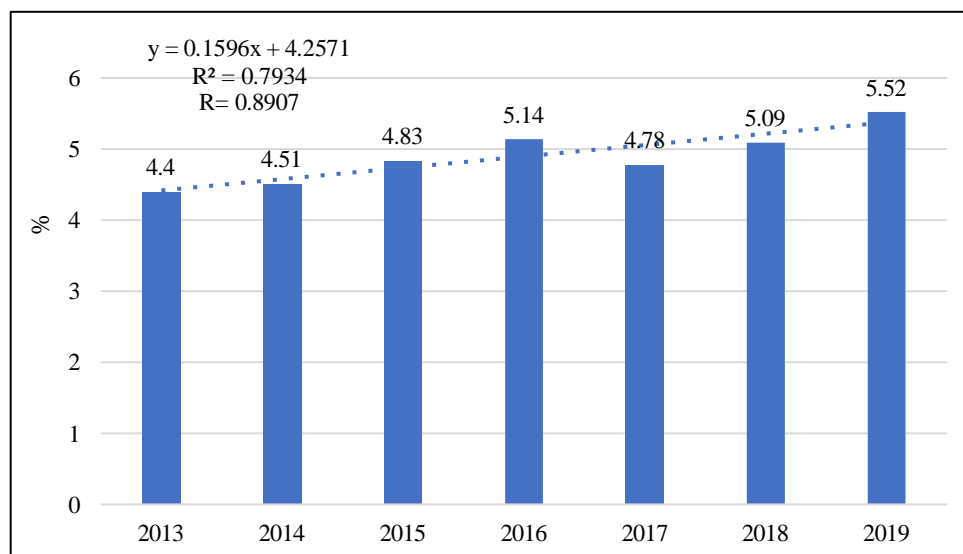
Materia orgánica en el punto CNHRZI



En el punto CNHRZ1, los valores de materia orgánica aumentaron de 3.7% en 2013 a 7.01% en 2019, debido a prácticas como la aplicación de abonos orgánicos (estiércol, compost y guano de aves), que enriquecen el suelo con nutrientes y favorecen la actividad microbiana, acelerando la descomposición de raíces y restos vegetales. Además, la revegetación contribuye a este proceso. Sin embargo, en 2017 y 2018 se observó una ligera disminución, explicada por la reducción del pH en esos años. Soriano Soto (2018) señala que suelos con pH ácido dificultan la actividad microbiológica y la degradación de la materia orgánica. En estudios como el de Quinto et al. (2022), se encontró que la acumulación de hojarasca de plantas revegetadas incrementa la materia orgánica, alcanzando un 6.62%. Wongprom et al. (2020) indicaron que, aunque las actividades mineras reducen la materia orgánica, las prácticas de manejo pueden revertir esta tendencia. El análisis de correlación muestra una relación directa y proporcional entre el aumento de la materia orgánica y el tiempo, con un coeficiente de correlación (R) de 0.7957 y un coeficiente de determinación (R²) de 0.6232, lo que indica que el 62.32% de la variabilidad en la materia orgánica se explica por el tiempo y las prácticas implementadas.

Figura 28

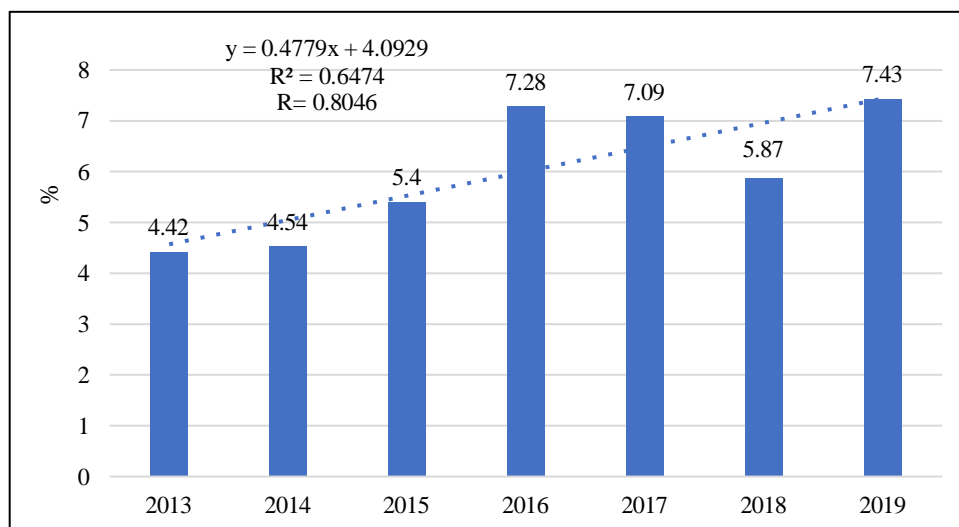
Materia orgánica en el punto MMDDZ3



En el punto MMDDZ3 (figura 28), los valores de materia orgánica aumentaron de 4.4% en 2013 a 5.52% en 2019, lo que refleja un incremento progresivo a lo largo del tiempo. Este aumento se atribuye a la revegetación y a la aplicación de abonos orgánicos, que favorecen la descomposición de la materia orgánica y optimizan la microbiota del suelo. Salamanca (2020) observó incrementos en la materia orgánica en suelos mineros rehabilitados gracias a la incorporación de enmiendas y la revegetación, que activan la biota edáfica. De manera similar, Pérez et al. (2012) encontraron que los suelos rehabilitados con revegetación alcanzaron valores de materia orgánica entre 8% y 10%, lo que se relaciona con la madurez de la vegetación y su aporte al suelo. Además, David Giraldo (2017) resalta la importancia de la acumulación de materia orgánica para la fertilidad del suelo, proporcionando una buena estructura edáfica y un suministro continuo de nutrientes. El análisis de correlación muestra una relación directa y proporcional entre el aumento de la materia orgánica y el tiempo, con un coeficiente de correlación (R) de 0.8907 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.7934, lo que indica que el 79.34% de la variabilidad en la materia orgánica se explica por el tiempo y las prácticas de manejo implementadas.

Figura 29

Materia orgánica en el punto SJDRZ2

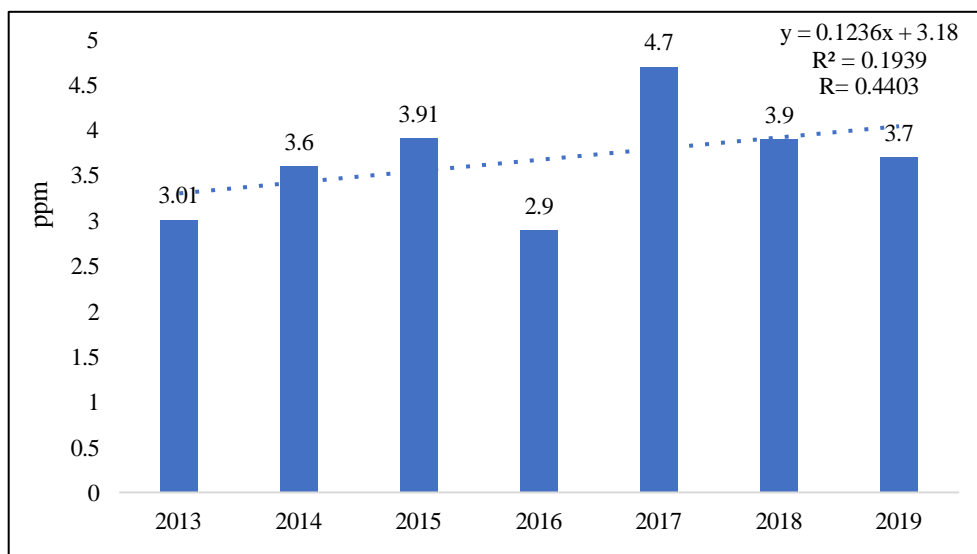


En el punto SJDRZ2, se observan incrementos progresivos en los primeros años, pasando de 4.42% en 2013 a 7.43% en 2019, lo que se atribuye a la revegetación y la aplicación de abonos orgánicos que favorecen la vida microbiana, proporcionan nutrientes y fomentan la degradación de la materia orgánica. Salamanca (2020) reportó incrementos en la materia orgánica, resultado de la incorporación de enmiendas y procesos de revegetación que activan la biota edáfica. Quinto et al. (2022) también encontraron un aumento del 6.62% de materia orgánica, indicando que el manejo adecuado favorece su incremento, especialmente por la acumulación de hojarasca de plantas revegetadas. Sin embargo, en los años posteriores se presentó una ligera disminución, que según Soriano Soto (2018), se debe a los efectos del pH ácido, el cual inhibe la actividad de los microorganismos, dificultando la degradación de la materia orgánica. La correlación muestra una relación directa entre el tiempo y los niveles de materia orgánica, con un coeficiente de correlación (R) de 0.8046 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.6474, lo que indica que el 64.74% de la variabilidad de la materia orgánica está explicada por el tiempo y las prácticas implementadas.

Fósforo (P) disponible

Figura 30

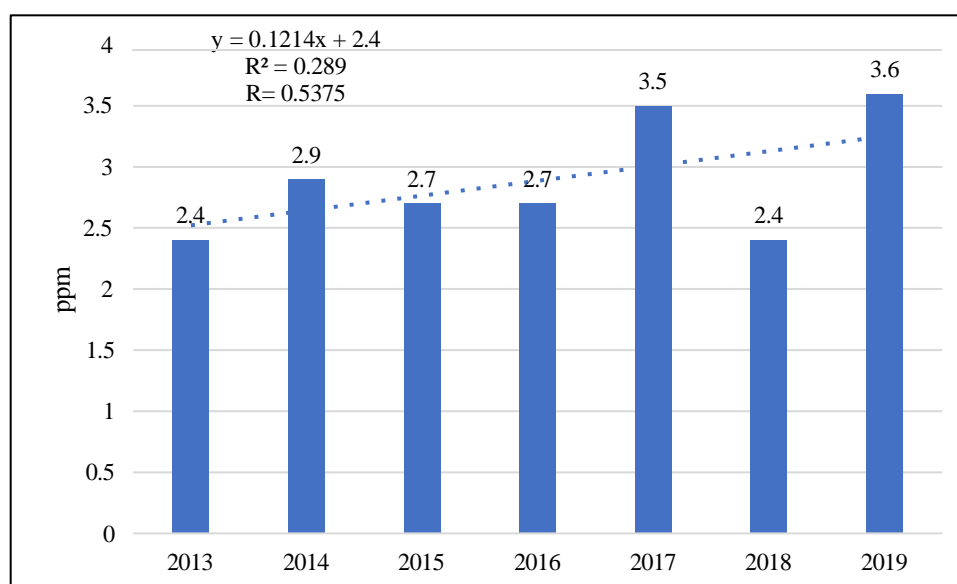
Fósforo disponible en el punto YAPZI



En el punto YAPZ1, los incrementos en los niveles de fósforo disponible en los primeros años (de 3.01 ppm en 2013 a 4.7 ppm en 2017) se deben a la descomposición de la materia orgánica, que transforma los compuestos orgánicos en ortofosfatos disponibles. Además, los ácidos orgánicos generados durante la descomposición solubilizan los fosfatos minerales, aumentando su disponibilidad (Fertilab, 2013). Sin embargo, las disminuciones observadas en 2016 y 2018 pueden estar relacionadas con el pH del suelo. Un aumento del pH puede liberar aluminio, que se combina con fosfatos y forma compuestos insolubles. La aplicación de cal mejora la disponibilidad de fósforo al precipitar el aluminio (Rojas, s.f.). La correlación muestra una relación moderada entre el fósforo disponible y el tiempo, con un coeficiente de correlación (R) de 0.4403 y un R^2 de 0.1939, lo que indica que solo el 19.39% de la variabilidad en el fósforo disponible puede explicarse por el tiempo.

Figura 31

Fósforo disponible en el punto YADDZ1

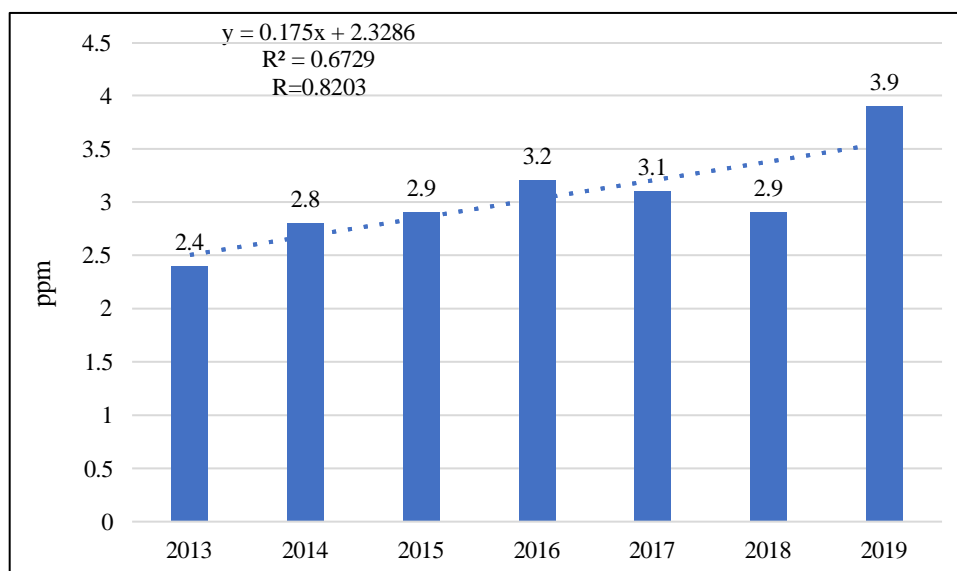


En el punto YADDZ3 (figura 31), se observa un comportamiento similar al del punto anterior, con incrementos en los niveles de fósforo disponible, atribuidos a la materia orgánica proveniente de los abonos orgánicos y la revegetación. Estos factores

favorecen la mineralización de compuestos orgánicos ricos en fósforo, facilitada por la actividad microbiana. Además, los ácidos orgánicos generados durante la descomposición actúan como agentes quelantes, ayudando a liberar el fósforo (Marquínez y Potosí, 2006). Sin embargo, las disminuciones observadas pueden explicarse por el pH del suelo, ya que en suelos ácidos la solubilidad del aluminio y el hierro aumenta, lo que provoca que estos elementos precipiten con el fósforo en forma de compuestos insolubles; en suelos con pH menos ácido, la disponibilidad de fósforo mejora debido a la liberación de estos compuestos, mientras que en suelos alcalinos la disponibilidad es baja debido a la formación de fosfato de calcio, la mayor disponibilidad de fósforo se encuentra en suelos con pH cercano a 7. (Lora Silva, 1978). La correlación muestra una relación moderada, con un coeficiente de correlación (R) de 0.5375 y un R^2 de 0.289, lo que indica que el 28.9% de la variabilidad en la disponibilidad de fósforo puede explicarse por el tiempo y las prácticas implementadas.

Figura 32

Fósforo disponible en el punto LQarN

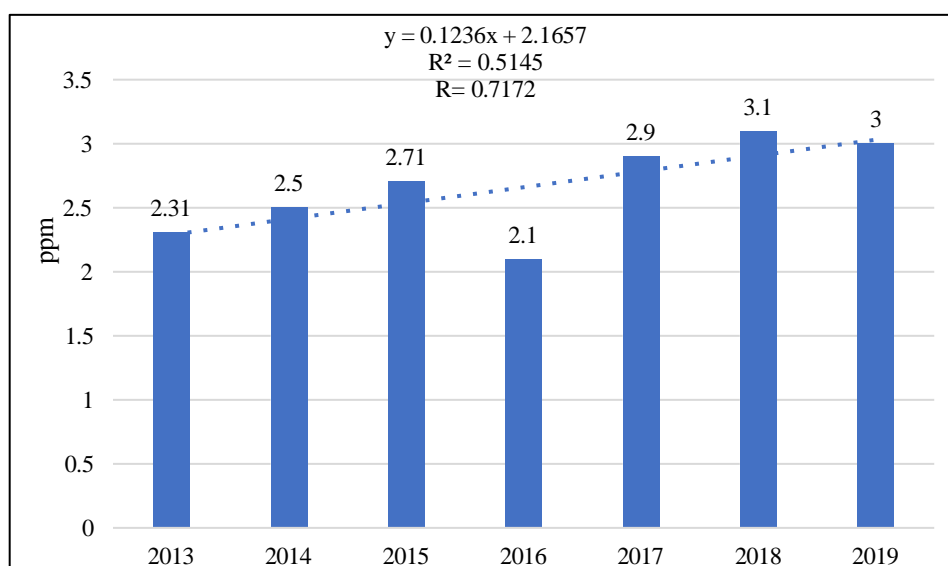


En el punto LQarN (figura 32), se observa un comportamiento similar al de los puntos anteriores, con incrementos en los niveles de fósforo disponible, atribuibles a los

abonos orgánicos que aportan nutrientes al suelo. Según Fertilab (2013), el fósforo disponible tiene una relación directa con la materia orgánica. Las disminuciones en algunos años podrían explicarse por el pH del suelo, ya que en suelos ácidos el fósforo se une con el aluminio (Al) y el hierro (Fe), formando compuestos insolubles que reducen su disponibilidad, como indica Rojas (s.f.). El análisis estadístico muestra una correlación directa y proporcional con el tiempo, con un coeficiente de correlación (R) de 0.8203 y un R^2 de 0.6729, lo que sugiere que el 67.29% de la variabilidad en la disponibilidad de fósforo puede explicarse por el tiempo y las prácticas implementadas.

Figura 33

Fósforo disponible en el punto CNHRZ1

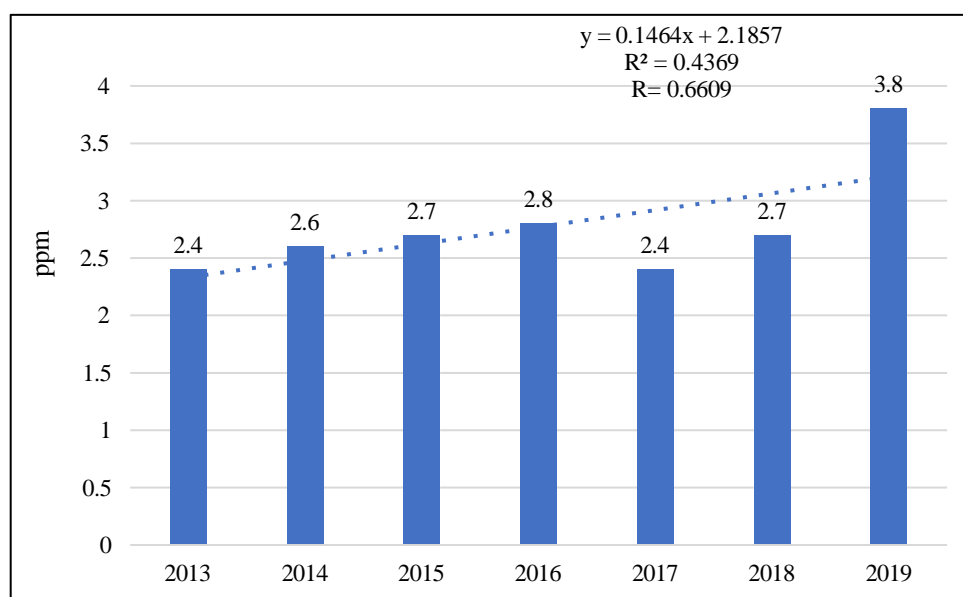


En el punto CNHRZ1 (figura 33), se sigue la misma dinámica observada en los puntos anteriores, con un aumento en la disponibilidad de fósforo en los primeros años, atribuida a la materia orgánica. La descomposición microbiana de los compuestos orgánicos favorece la liberación de fósforo disponible. Sin embargo, en 2016 y 2019 se presenta una disminución, lo que podría explicarse por el pH del suelo, ya que en suelos ácidos el fósforo se une con aluminio (Al) y hierro (Fe), formando compuestos insolubles que limitan su disponibilidad (Rojas, s.f.). Salamanca (2020) observó

mejoras en los niveles de fósforo en suelos degradados por minería mediante técnicas de manejo, donde el fósforo aumentó de 2 a 6 ppm con una tendencia positiva. No obstante, estudios como el de Ahirwal y Maiti (2016) mostraron que en suelos mineros rehabilitados desde hace 25 años, los niveles de fósforo permanecieron relativamente estables, entre 30-34%. El análisis estadístico muestra una correlación directa y proporcional con el tiempo ($R = 0.7172$, $R^2 = 0.5145$), indicando que el 51.45% de la variabilidad en la disponibilidad de fósforo puede ser explicada por el tiempo y a las técnicas de rehabilitación.

Figura 34

Fósforo disponible en el punto MMDDZ3

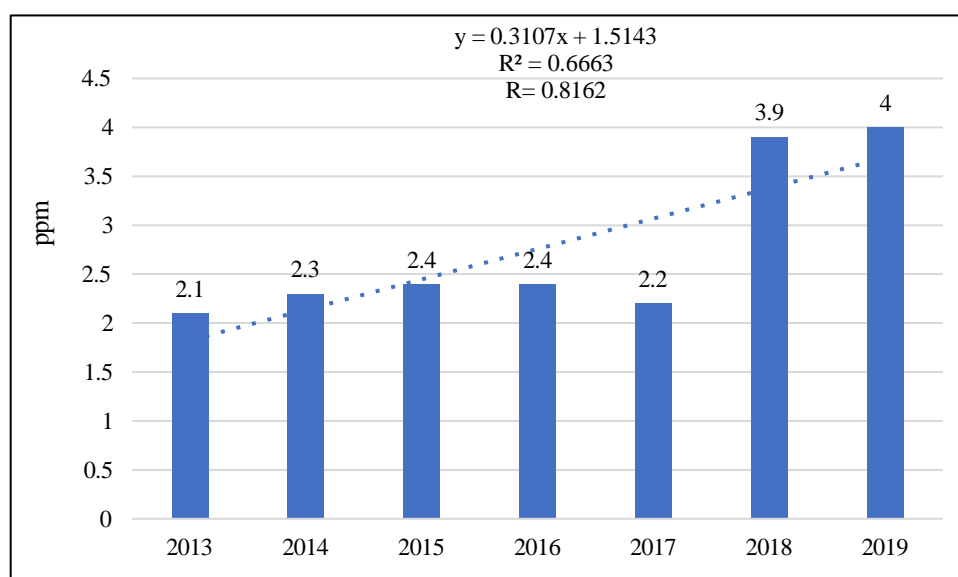


En el punto MMDDZ3 (figura 34), se observa una variación en la disponibilidad de fósforo, con un aumento progresivo en los primeros años, seguido por una disminución en 2017, y luego un repunte en 2019. Lora Silva (1978) atribuye estos cambios a la mineralización de la materia orgánica, que favorece la presencia de microorganismos encargados de proveer nutrientes al suelo. Sin embargo, las bajas en la disponibilidad de fósforo Lora Silva lo atribuye al Al y Fe (pH ácido del suelo) que forman compuestos insolubles, reduciendo así la disponibilidad del fósforo. El análisis

estadístico muestra una correlación directa y proporcional con el tiempo ($R = 0.6609$, $R^2 = 0.4369$), indicando que el 43.69% de la variabilidad en la disponibilidad de fósforo puede ser explicada por el tiempo, sin embargo, Quinto et al. (2022) identificaron que, en áreas mineras degradadas, aunque el contenido de fósforo disponible era alto debido a la presencia de apatita en las rocas removidas, no se observó un incremento significativo en la disponibilidad edáfica de fósforo en escalas de tiempo menores a 30 años. Además, Crews et al. (1995) señalaron que las transformaciones de fósforo disponible a formas menos móviles o no disponibles requieren escalas temporales mucho más amplias, llegando a extenderse entre 300 y 20,000 años.

Figura 35

Fósforo disponible en l punto SJDRZ2



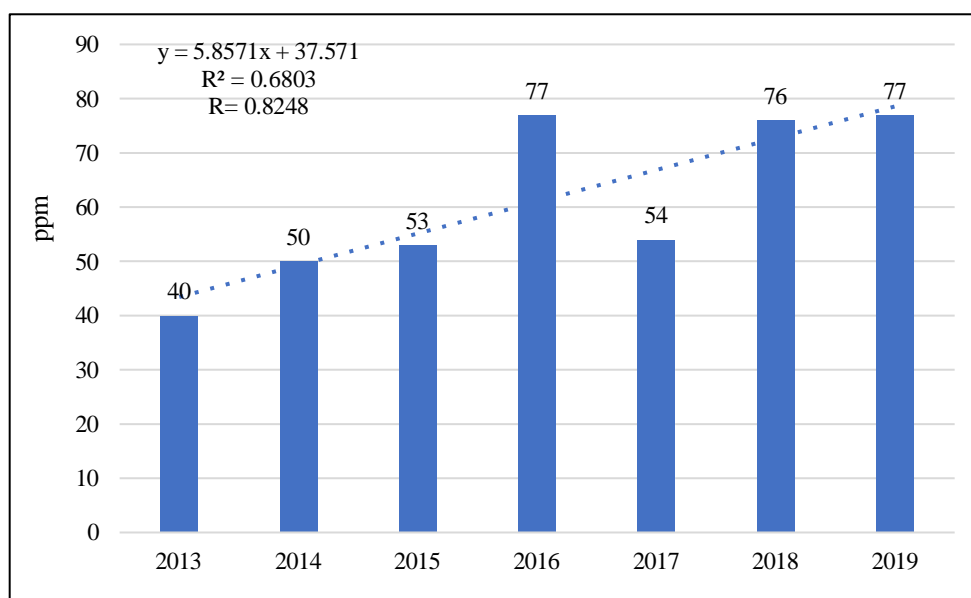
En el punto SJDRZ2 (figura 35), la disponibilidad de fósforo muestra incrementos atribuidos a la incorporación de materia orgánica mediante abonos y revegetación, lo que facilita la mineralización de compuestos orgánicos ricos en este nutriente y su liberación por acción microbiana, apoyada por ácidos orgánicos que actúan como quelantes (Marquínez y Potosí, 2006). Las disminuciones están relacionadas con el pH ácido, que promueve la formación de compuestos insolubles con

Al y Fe, reduciendo su disponibilidad. Según Pérez et al. (2012), estos cambios también pueden influirse por variaciones en el relieve. Salamanca (2020) reportó que técnicas de manejo mejoraron el fósforo en suelos mineros, incrementándolo de 2 a 6 ppm, mientras que Ahirwal y Maiti (2016) observaron estabilidad en valores de fósforo en suelos rehabilitados durante 25 años. El análisis estadístico muestra una correlación positiva y significativa con el tiempo ($R = 0.8162$, $R^2 = 0.6663$), lo que indica que gran parte de la variabilidad del fósforo se explica por los años y factores asociados al manejo del suelo.

Potasio (K) disponible

Figura 36

Potasio disponible en el punto YAPZI

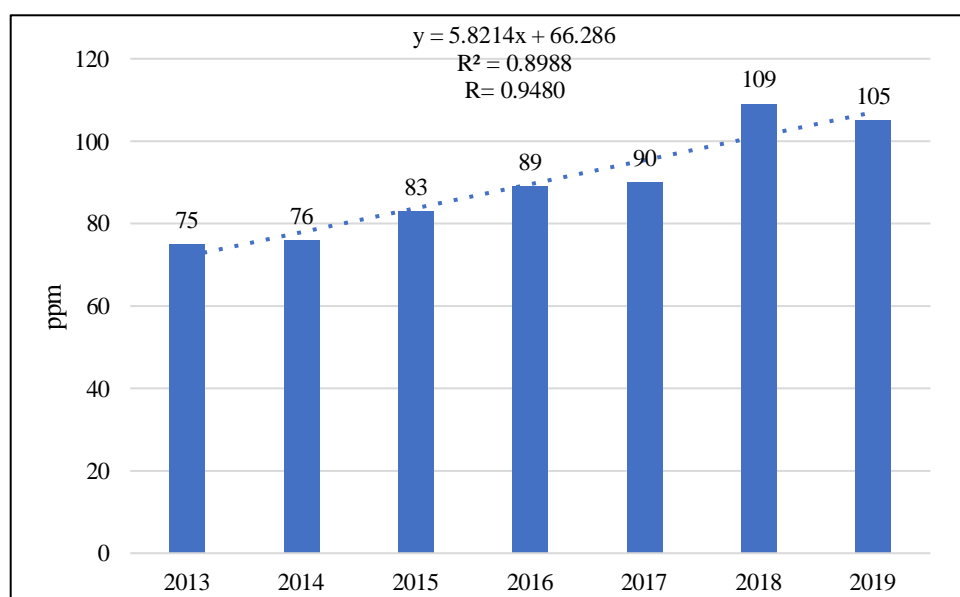


En el punto YAPZI (figura 36), el potasio disponible muestra un incremento progresivo a lo largo de los años, lo que se relaciona con el porcentaje de arcilla en el suelo. Las arcillas, mediante su capacidad de intercambio catiónico, retienen el potasio en formas intercambiables accesibles para las plantas. Además, en minerales como illitas y vermiculitas, el potasio se fija entre capas estructurales, liberándose lentamente y funcionando como una reserva a largo plazo (Núñez Russi, 2014). Sin embargo, la disminución observada en 2017 podría estar relacionada con un pH bajo, donde el

aluminio ocupa posiciones de intercambio, reduciendo la capacidad del suelo para retener cationes como el potasio y disminuyendo la saturación de bases (Bolan et al., 2003). Pérez et al. (2012) también reportaron que el potasio incrementa con el tiempo debido al aumento de materia orgánica y que los suelos con revegetación tienen mayores niveles de K, atribuyéndolo al aporte de biomasa vegetal que influye positivamente en su disponibilidad. El análisis estadístico muestra una fuerte correlación positiva ($R = 0.8248$, $R^2 = 0.6803$), indicando que el tiempo y los factores mencionados influyen en el potasio disponible.

Figura 37

Potasio disponible en el punto YADDZ1

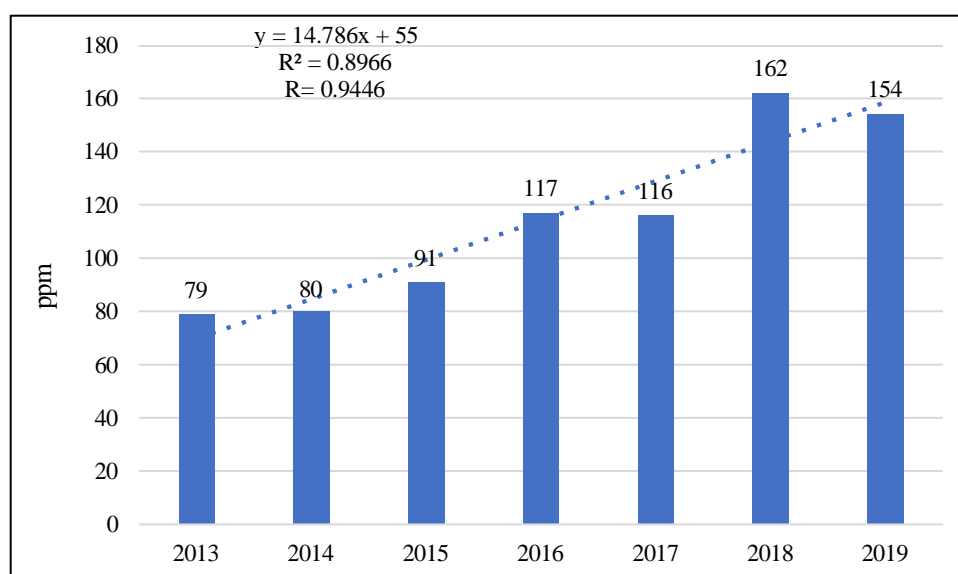


En el punto YADDZ1 (figura 37), el potasio disponible muestra un aumento significativo a lo largo de los años, lo que se atribuye al incremento en el porcentaje de arcilla en el suelo. Hernández et al. (1988) destacaron una relación directa entre la cantidad de arcilla y las fracciones de potasio total e intercambiable. Por otro lado, Osorio (s.f.) señaló que los suelos con mayor contenido de arena presentan menor potasio disponible debido a la lixiviación. Asimismo, las disminuciones observadas en los niveles de potasio disponible pueden estar relacionadas con un pH ácido, donde el

aluminio ocupa las posiciones de intercambio catiónico, desplazando al potasio. En su estudio, Higidio et al. (2023) encontraron que, en suelos afectados por minería, el potasio se encuentra en niveles bajos, pero la aplicación de enmiendas orgánicas permitió incrementar su disponibilidad. El análisis estadístico del punto muestra una correlación muy alta ($R = 0.9480$, $R^2 = 0.8988$), lo que indica que el tiempo y los factores mencionados explican de manera significativa la variación observada en los niveles de potasio disponible.

Figura 38

Potasio disponible en el punto LQarN

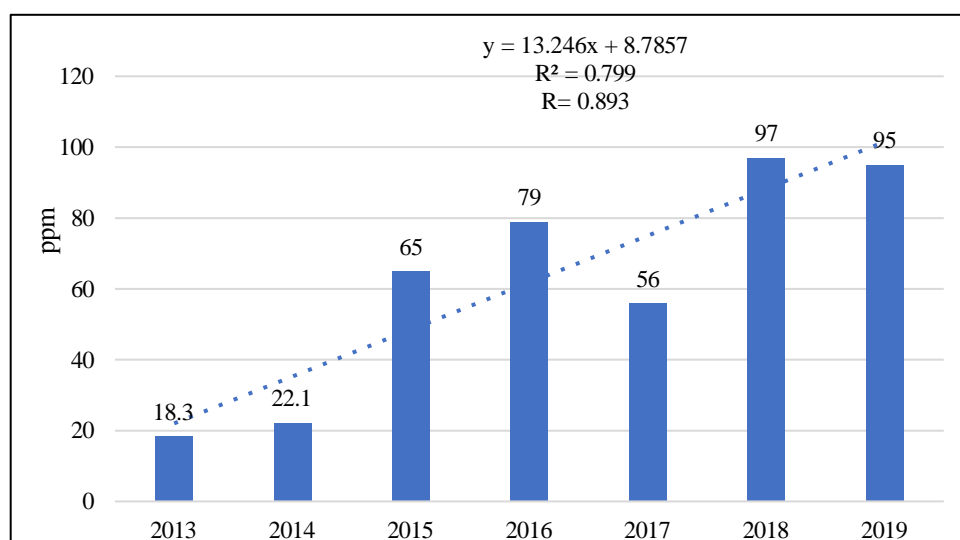


En el punto LQarN (figura 38), los niveles de potasio disponible presentan una dinámica similar a los otros puntos evaluados, caracterizada por un aumento progresivo a lo largo del tiempo. Este comportamiento se relaciona con el papel de las arcillas en el suelo, las cuales, gracias a su capacidad de intercambio catiónico, retienen el potasio en formas accesibles para las plantas. Además, minerales como las illitas y vermiculitas actúan como reservas de potasio, fijándolo entre sus capas estructurales y liberándolo de manera gradual (Núñez Russi, 2013). Sin embargo, la disminución registrada en 2017 podría explicarse por la influencia de un pH bajo, que favorece la ocupación de sitios de

intercambio por el aluminio, limitando la retención de cationes como el potasio y reduciendo la saturación de bases (Bolan et al., 2003). La correlación obtenida ($R = 0.9446$, $R^2 = 0.8966$) refleja una relación significativa entre el tiempo y los factores que regulan la disponibilidad de potasio en el suelo.

Figura 39

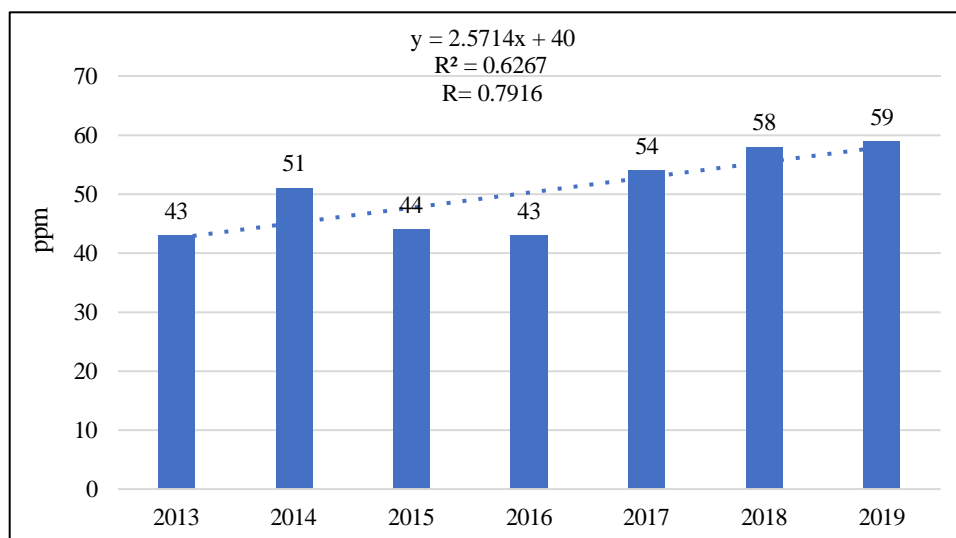
Potasio disponible en el punto CNHRZ1



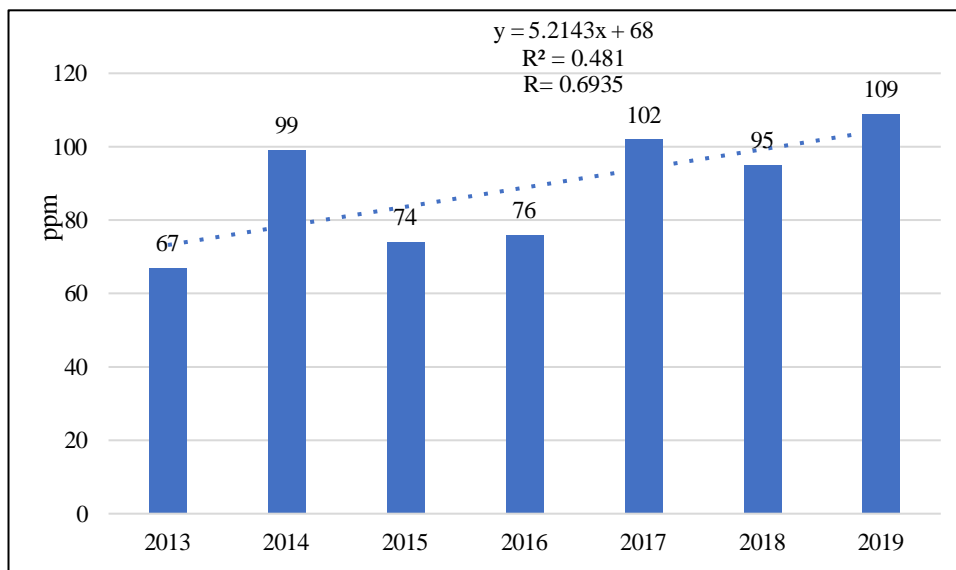
En el punto CNHRZ1 (figura 39), los niveles de potasio disponible muestran incrementos progresivos en el tiempo, lo cual se atribuye al contenido de arcilla en el suelo. Según Conti (s.f.), las arcillas retienen potasio en distintas posiciones mediante cargas eléctricas negativas en su superficie o bordes, dependiendo del tipo de arcilla y la ubicación del ion. Las disminuciones observadas podrían deberse a un pH ácido, donde el aluminio ocupa las posiciones de intercambio catiónico, desplazando al potasio y reduciendo su disponibilidad (Osorio, s.f.). Salamanca (2020) y Ahirwal y Maiti (2016) indicaron que, en algunos casos, los niveles de potasio permanecen estables con el tiempo, sin superar variaciones del 10%. Por otro lado, Xiong (2015) señaló que las enmiendas incrementan temporalmente el potasio, pero estos efectos tienden a revertirse. La correlación obtenida ($R^2 = 0.799$, $R = 0.893$) refleja una relación significativa entre el tiempo y los factores edáficos.

Figura 40

Potasio disponible en el punto MMDDZ3



En el punto MMDDZ3 (figura 40), los niveles de potasio disponible presentan incrementos progresivos a lo largo del tiempo, lo cual se atribuye a un mayor porcentaje de arcilla y menor contenido de arena, según Aguado et al. (2002). Este autor señala que el potasio es retenido en sitios específicos en la periferia de las arcillas, particularmente micáceas, que predominan en la fracción fina del suelo. Los suelos con altas proporciones de estas arcillas muestran mayores valores de potasio. Las disminuciones observadas se relacionan con un pH ácido que favorece la ocupación de sitios de intercambio por aluminio, limitando la retención de cationes como el potasio y reduciendo la saturación de bases (Bolan et al., 2003). Pérez et al. (2012) destacaron que el aumento de materia orgánica y la revegetación también contribuyen al incremento del potasio disponible, indicando que la biomasa vegetal influye positivamente en su disponibilidad. Además, Higido et al. (2023) reportó que, en suelos afectados por minería, el potasio se encontró en niveles bajos; sin embargo, la aplicación de enmiendas orgánicas logró incrementar su disponibilidad. La correlación obtenida ($y = 2.5714x + 40$, $R^2 = 0.6267$, $R = 0.7916$) confirma una relación significativa entre el tiempo y las características del suelo.

Figura 41*Potasio disponible en el punto SDJRZ2*

El punto SJDRZ2 (figura 41) muestra un aumento en la disponibilidad de potasio relacionado con el contenido de arcilla, ya que la retención de potasio depende de la cantidad y tipo de arcilla presente, como señala Conti (s.f.). Las disminuciones en 2017 se atribuyen a un pH ácido que favorece la ocupación de los sitios de intercambio catiónico por el aluminio, desplazando al potasio y reduciendo su disponibilidad (Osorio, s.f.). Para mejorar la disponibilidad de potasio, Carrillo et al. (2017) sugieren la aplicación de cal para corregir el pH del suelo. Salamanca (2020) no observó una tendencia consistente en los valores de potasio, encontrando que en algunas áreas los niveles se mantuvieron estables, lo cual también fue indicado por Ahirwal y Maiti (2016), quienes señalaron que los niveles de potasio no variaron más del 10% en comparación con suelos no perturbados. Xiong (2015) indicó que las enmiendas orgánicas aumentaron la disponibilidad de potasio, aunque este efecto disminuyó con el tiempo. El análisis estadístico muestra un coeficiente de determinación $R^2 = 0.481$, significa que el 48.1% de la variabilidad se explica por el tiempo, el coeficiente de correlación $R = 0.6935$ indica una relación positiva moderada entre ambos factores.

**4.3. Dinámica de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes
cambiables en el suelo (Ca, Mg, K, Na) y la, durante el periodo 2013-2019**

Tabla 8

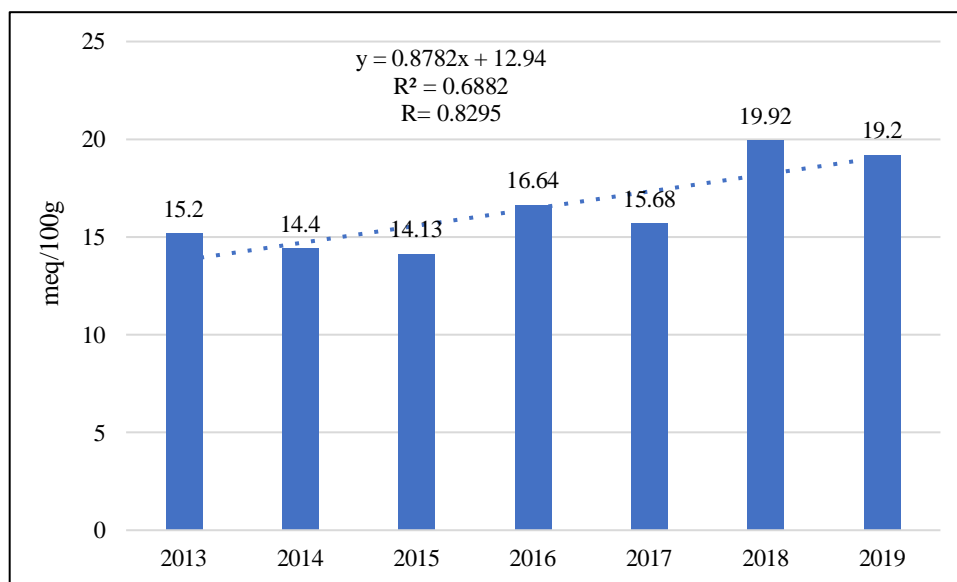
CIC (meq/100g) y cationes cambiables Ca, Mg, K, Na (meq/100g) en el suelo

Puntos de monitoreo	Propiedades químicas	Años de monitoreo						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
YAPZ1	CIC	15.2	14.4	14.13	16.64	15.68	19.92	19.2
	Ca cambiabile	1.2	1.6	1.41	1.86	2.44	2.31	2.29
	Mg cambiabile	0.13	0.23	0.29	0.23	0.33	0.2	0.36
	K cambiabile	0.11	0.21	0.25	0.28	0.24	0.25	0.27
	Na cambiabile	0.05	0.03	0.09	0.1	0.13	0.03	0.14
YADDZ1	CIC	19.2	22.4	19.46	19.52	20.03	26.08	27.2
	Ca cambiabile	1.32	1.49	1.69	1.69	1.7	1.75	1.75
	Mg cambiabile	0.17	0.2	0.24	0.23	0.45	0.43	0.5
	K cambiabile	0.18	0.28	0.28	0.29	0.37	0.43	0.32
	Na cambiabile	0.07	0.03	0.08	0.09	0.14	0.1	0.14
LQarN	CIC	14.4	19.2	19.86	18.52	19.68	20.16	21.6
	Ca cambiabile	1.59	2	2.01	2.65	2.35	2.45	2.42
	Mg cambiabile	0.23	0.29	0.32	0.32	0.3	0.32	0.25
	K cambiabile	0.15	0.3	0.32	0.35	0.34	0.32	0.37
	Na cambiabile	0.04	0.03	0.1	0.11	0.12	0.08	0.11
CNHRZ1	CIC	11.2	16.32	16.34	13.92	20.8	20.16	19.52
	Ca cambiabile	1.5	2.62	2.72	2.36	1.6	1.97	2.1
	Mg cambiabile	0.33	0.35	0.32	0.37	0.47	0.28	0.36
	K cambiabile	0.21	0.22	0.28	0.28	0.2	0.24	0.31
	Na cambiabile	0.02	0.03	0.09	0.1	0.1	0.03	0.09
MMDDZ3	CIC	17.02	18.18	19.36	22.81	25.28	21.76	21.28
	Ca cambiabile	1.25	1.98	2.01	2.24	2.33	2.59	2.46
	Mg cambiabile	0.26	0.33	0.31	0.39	0.47	0.25	0.49
	K cambiabile	0.16	0.16	0.19	0.18	0.17	0.18	0.19
	Na cambiabile	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.03	0.09
SJDRZ2	CIC	18.2	21.6	21.7	19.68	26.2	26.4	26.88
	Ca cambiabile	1.03	1.08	1.45	1.67	1.26	1.57	1.58
	Mg cambiabile	0.24	0.25	0.3	0.28	0.3	0.28	0.31
	K cambiabile	0.19	0.25	0.26	0.29	0.28	0.26	0.24
	Na cambiabile	0.02	0.03	0.06	0.11	0.09	0.04	0.05

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Figura 42

Capacidad de intercambio catiónico en el punto YAPZI

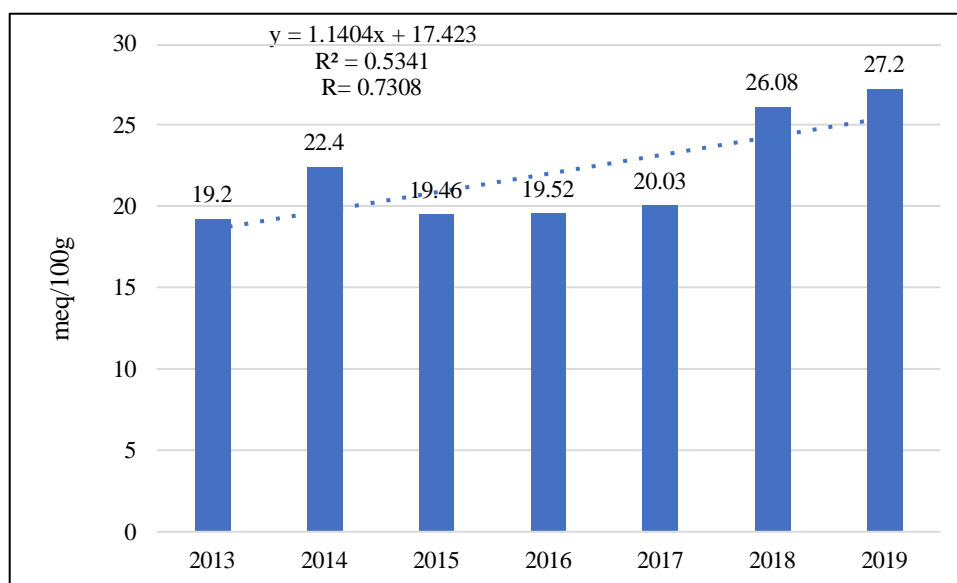


El punto YAPZ1 (figura 42) muestra incrementos progresivos en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), especialmente entre 2016 y 2018, atribuibles al aumento de materia orgánica y del contenido de arcilla en el suelo. Según Guevara Pescador (2017), los suelos arcillosos y ricos en materia orgánica presentan una CIC elevada debido a la alta proporción de partículas coloidales con carga negativa, propias de los minerales arcillosos y del humus. Estas partículas, con grupos funcionales como carboxilos (-COOH) e hidroxilos (-OH), ofrecen sitios de adsorción de cationes esenciales (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), mejorando la fertilidad del suelo y su resistencia a la lixiviación. Sin embargo, las disminuciones observadas en ciertos años podrían estar relacionadas con variaciones en el pH, ya que, como menciona Méndez Yustres (2012), un pH ácido puede protonar los grupos funcionales, reduciendo las cargas negativas disponibles y desplazando cationes en los sitios de intercambio. Higidio et al. (2023) también reportan disminuciones en la CIC debido a la pérdida de materia orgánica, un fenómeno observado en suelos mineros y que podría explicar las fluctuaciones

negativas. El análisis estadístico evidencia una correlación positiva alta ($R = 0.8295$), con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.6882, lo que indica que el 68.82% de la variabilidad de la CIC puede explicarse por las tendencias temporales observadas.

Figura 43

Capacidad de intercambio catiónico en el punto YADDZ1

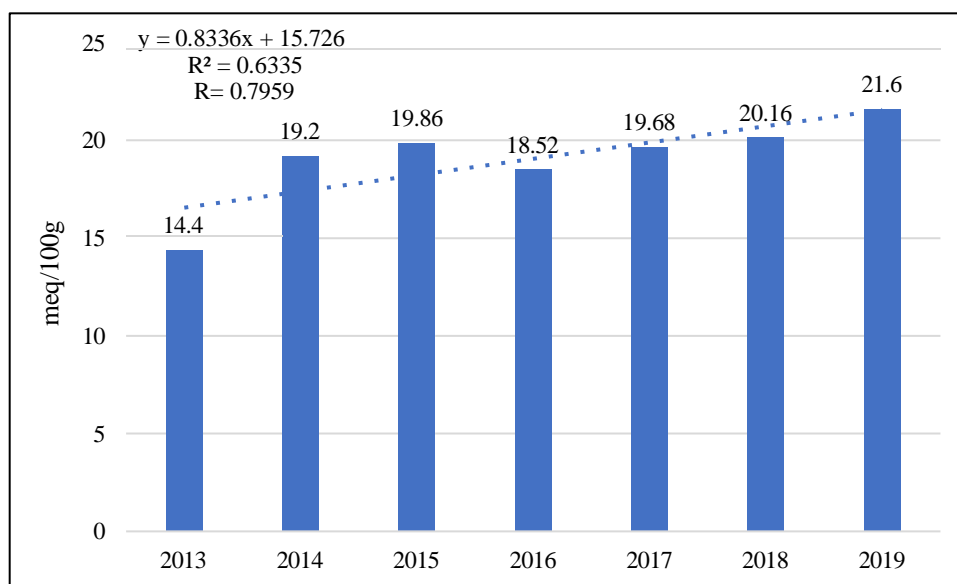


El punto YADDZ1 (figura 43) sigue una dinámica similar al YAPZ1, con aumentos en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que se atribuyen al incremento de materia orgánica, contenido de arcilla y pH más elevados. Cepeda Dovala (2012) menciona que los materiales que tienen la propiedad de intercambiar cationes son aquellos con cargas negativas en la superficie, como las arcillas. Beosain (1985) señala que las arcillas, tanto cristalinas como amorfas, presentan esta capacidad, siendo las cristalinas tipo 1:1 como la caolinita las que alcanzan hasta 200 cmol+/kg de suelo, mientras que las ilitas (2:1) varían entre 60 y 100 cmol+/kg. Por su parte, las arcillas amorfas, derivadas de óxidos, hidróxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio, incrementan esta propiedad con el pH, al igual que la materia orgánica, que puede aportar entre 100 y 200 cmol+/kg. Las disminuciones de CIC observadas en ciertos años se asocian con un pH bajo, que reduce las cargas negativas disponibles para la adsorción

de cationes (Fassbender y Bornemisza, 1987). El análisis estadístico evidencia una correlación positiva moderada entre la CIC y el tiempo, con un R^2 de 0.5341, lo que indica que el 53.41% de la variabilidad en los datos se explica por el tiempo, y un R de 0.7308, reflejando una relación moderada-alta.

Figura 44

Capacidad de intercambio catiónico en el punto LQarN

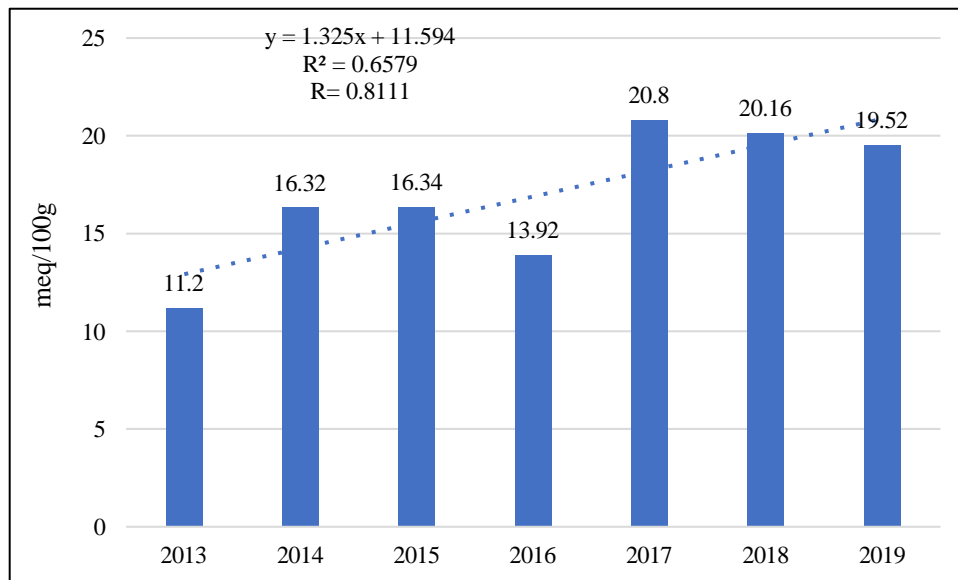


En el punto LQarN (figura 44), se observa un incremento progresivo en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) a lo largo de los años, siguiendo una dinámica similar a la de puntos anteriores. Este aumento se atribuye a la presencia de materia orgánica y arcillas, que, como señala Guevara Pescador (2017), proporcionan una CIC elevada debido a la abundancia de partículas coloidales con carga negativa, características de los minerales arcillosos y el humus. Sin embargo, las ligeras disminuciones observadas en ciertos años pueden explicarse por la acidificación del suelo. Según Méndez (2012), un pH ácido puede reducir las cargas negativas disponibles al protonar los grupos funcionales (-COOH, -OH) y desplazar cationes en los sitios de intercambio. Salamanca (2020), aunque reportó una CIC elevada en suelos de alta calidad, no identificó una tendencia positiva consistente en el tiempo, lo que

contrasta con los resultados de este estudio. En términos estadísticos, se encontró una correlación alta con un $R^2 = 0.6335$ y un $R = 0.7959$, lo que indica una relación significativa entre la CIC y el tiempo.

Figura 45

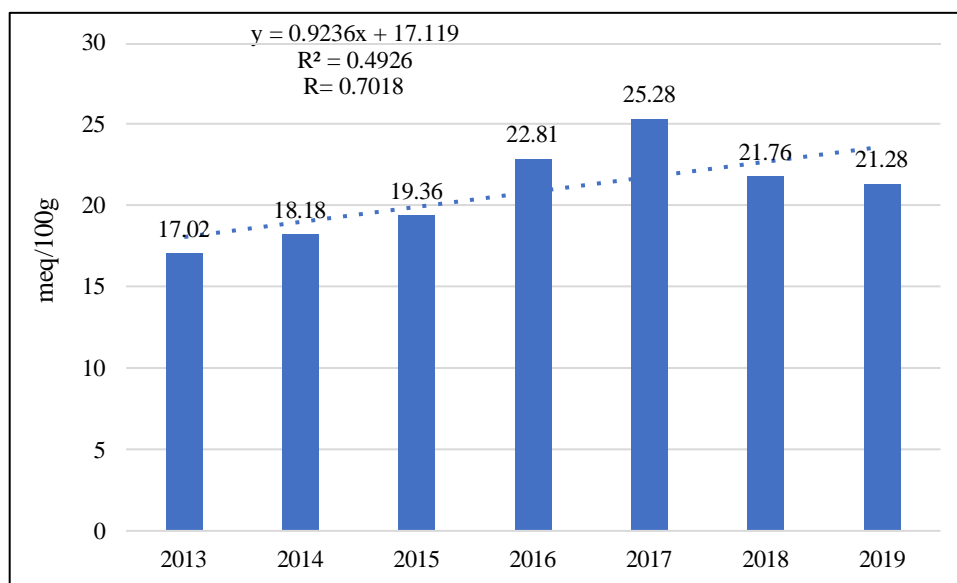
Capacidad de intercambio catiónico en el punto CNHRZ1



En el punto CNHRZ1 (figura 45), se observan incrementos en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) a lo largo de los años, atribuidos a la presencia de materia orgánica y arcillas, elementos esenciales para la retención de nutrientes en el suelo. Según Chávez Ávila (2015), una CIC baja indica una menor capacidad del suelo para retener nutrientes, característica típica de suelos arenosos o con deficiencia de materia orgánica y arcillas. Las disminuciones ocasionales en la CIC pueden explicarse por un pH bajo, que limita las cargas negativas disponibles para la adsorción de cationes, como menciona Soriano Soto (2018). Por otro lado, Guanilo (2006) reportó valores de CIC entre 24.96 y 49.60 meq/100 g en suelos mineros rehabilitados, similares a suelos no perturbados, lo que indica una estabilidad en esta propiedad en contextos específicos. Desde el análisis estadístico, se identificó una correlación alta, con un $R^2 = 0.6579$ y un $R = 0.8111$, lo que refleja una relación significativa entre la CIC y el tiempo.

Figura 46

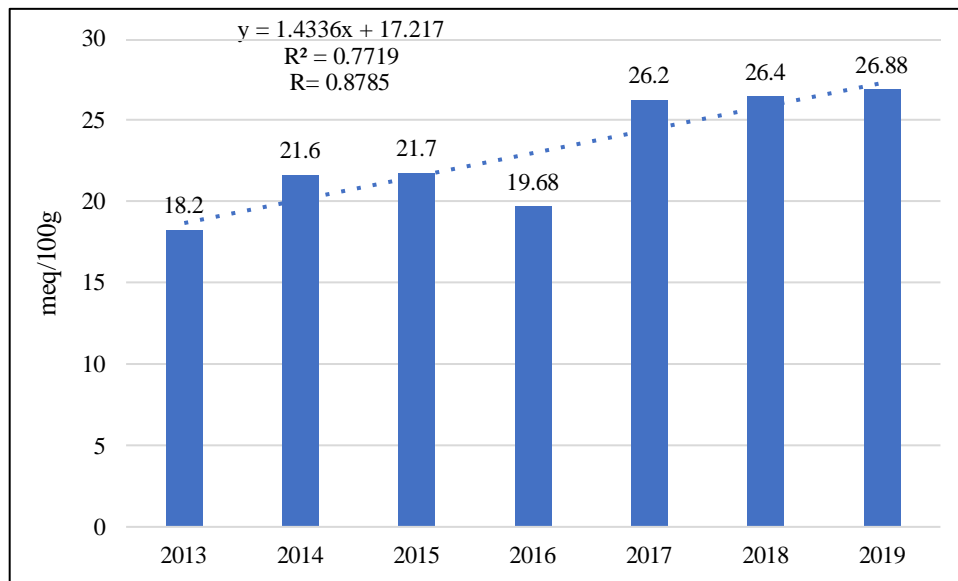
Capacidad de intercambio catiónico en el punto MMDDZ3



En el punto MMDDZ3 (figura 46), se observa un aumento progresivo en la CIC, relacionado con el contenido de arcillas y materia orgánica. Según Guevara Pescador (2017), los suelos arcillosos con materia orgánica presentan una CIC elevada debido a las partículas coloidales con carga negativa, características de los minerales arcillosos y el humus, las cuales retienen cationes. Las pequeñas disminuciones observadas en algunos años pueden atribuirse a variaciones en el pH, ya que, según Méndez (2012), un pH bajo puede reducir las cargas negativas, limitando la adsorción de cationes. Además, Higido et al. (2023) documentan que la pérdida de materia orgánica en suelos mineros disminuye la CIC, lo que puede explicar las fluctuaciones observadas. Aunque los incrementos son notables, no se sigue una tendencia totalmente constante, lo que sugiere que factores como el pH y el contenido de materia orgánica inciden en la CIC de manera no siempre uniforme. El análisis estadístico muestra una relación moderada con un coeficiente de correlación de $R = 0.7018$ y un $R^2 = 0.4926$, indicando que aunque las variaciones en la CIC están influenciadas por factores significativos, no siguen un patrón constante durante el periodo estudiado.

Figura 47

Capacidad de intercambio catiónico en el punto SJDRZ2

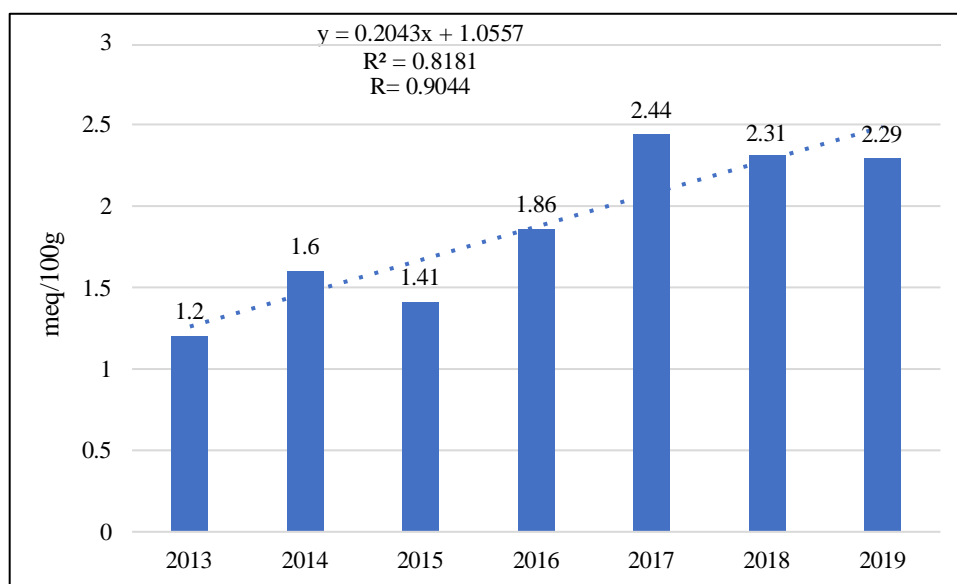


En el punto SJDRZ2 (figura 47), se observa una tendencia general al alza en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) a lo largo de los años, con un comportamiento variable en ciertos periodos. Entre 2013 y 2017, la CIC muestra incrementos continuos, pasando de 18.2 a 26.2, destacando un aumento notable en 2017. Este patrón sugiere un efecto positivo de factores como la materia orgánica y las arcillas, que favorecen la retención de cationes en el suelo. Sin embargo, en 2016, se registra una ligera disminución en la CIC (19.68), lo que puede estar relacionado con fluctuaciones en las condiciones del suelo, como variaciones en el pH o en el contenido de materia orgánica, factores que afectan la capacidad del suelo para adsorber cationes. A pesar de esta baja temporal, la tendencia global es positiva, alcanzando un valor máximo de 26.88 en 2019. El análisis estadístico de la relación entre la CIC y el tiempo muestra una fuerte correlación positiva, donde el coeficiente de determinación $R^2 = 0.7719$ indica que un 77.19% de la variabilidad de la CIC puede explicarse por el tiempo. Además, el coeficiente de correlación $R = 0.8785$ señala una alta relación entre ambas variables, confirmando la consistencia del patrón creciente en los datos.

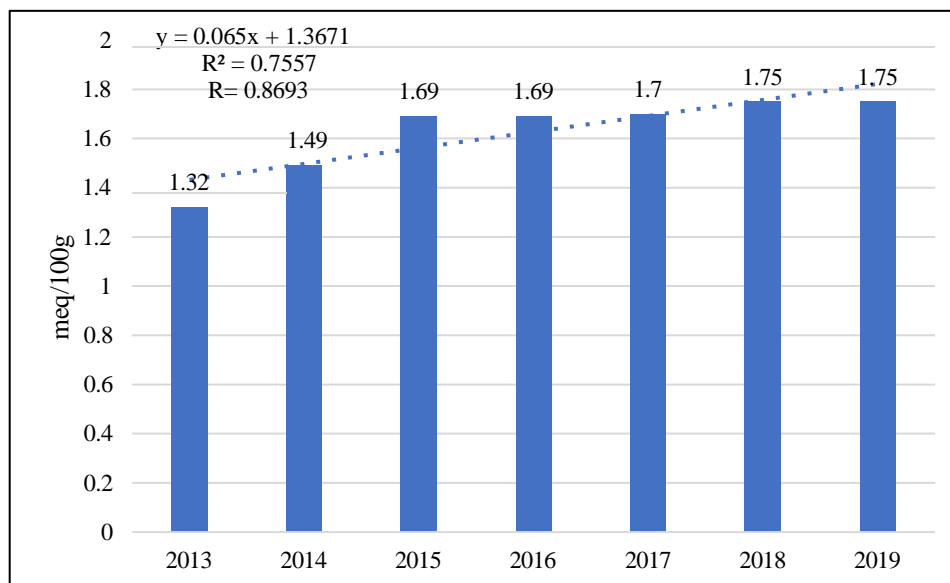
Calcio (Ca^{+2}) cambiabile

Figura 48

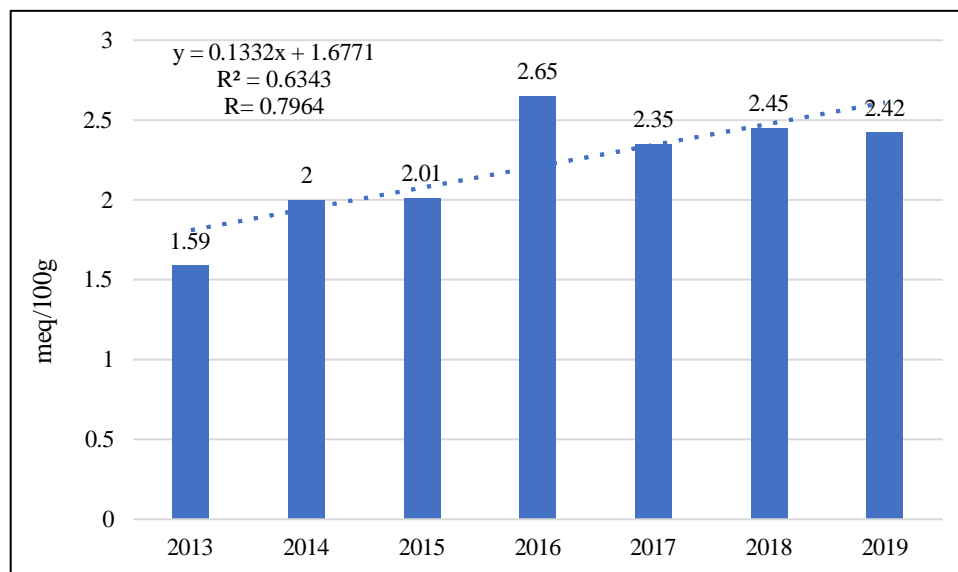
Calcio (Ca^{+2}) cambiabile en el punto YAPZI



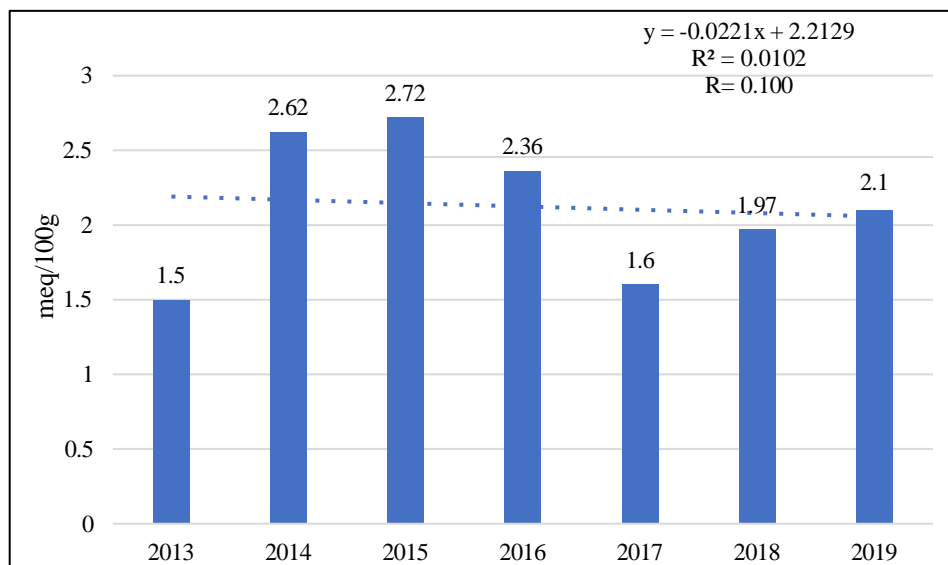
En el punto YAPZI (figura 48), el calcio intercambiabile mostró una tendencia creciente, pasando de 1.2 a 2.44 en 2017, aunque con un descenso en 2015, 2018 y 2019. Este patrón es similar al observado en la CIC. El aumento del calcio intercambiabile se atribuye al encalado (CaCO_3 o $\text{Ca}(\text{OH})_2$), que liberan iones de calcio (Ca^{2+}) adsorbidos en los sitios de intercambio catiónico, según Carbonero Zalduegui (1984). Además, Pérez et al. (2012) explican que el aumento de calcio está relacionado con el incremento de la materia orgánica en la cronosecuencia temporal. Quintos et al. (2022) destacan que suelos mineros jóvenes presentan bajas concentraciones de calcio, pero estas mejoran con enmiendas y revegetación. Las disminuciones en ciertos años podrían deberse a la lixiviación por precipitaciones o a la disminución del pH, que reduce la disponibilidad del calcio intercambiabile, como señala también Carbonero Zalduegui (1984). El análisis estadístico refuerza estas dinámicas, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.8181$ que explica el 81.81% de la variabilidad, y un coeficiente de correlación $R = 0.9044$, que evidencia una relación muy alta entre el calcio intercambiabile y el tiempo.

Figura 49*Calcio cambiabile en el punto YADDZI*

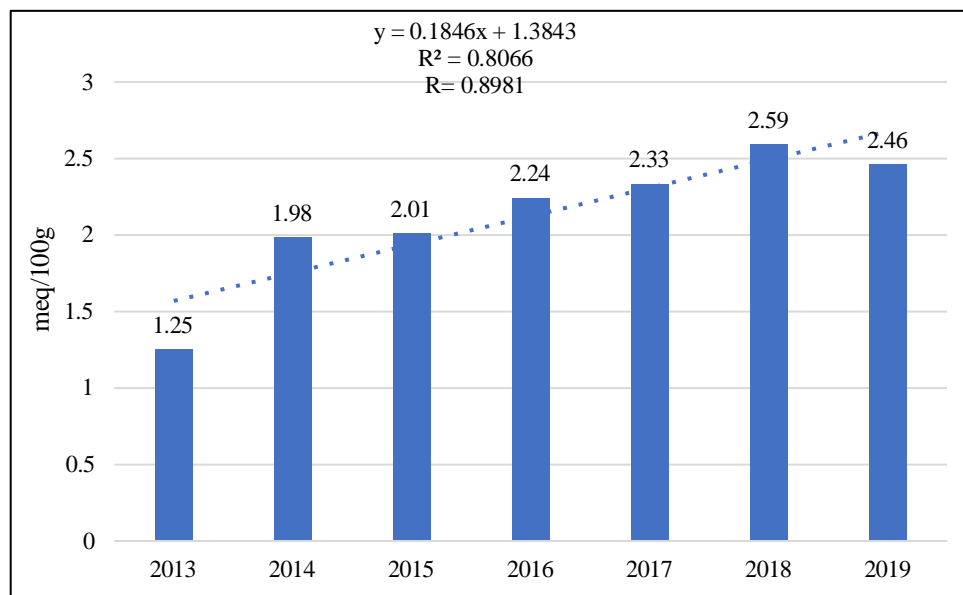
En el punto YADDZI (figura 49), el calcio intercambiabile mostró un aumento progresivo desde 1.32 en 2013 hasta 1.75 en 2019, con un incremento notable entre los primeros años y estabilidad en los posteriores. Este comportamiento se asocia principalmente al encalado mediante compuestos como CaCO_3 o Ca(OH)_2 , que liberan Ca^{2+} al suelo y lo fijan en los sitios de intercambio catiónico, asimismo, destacan que la materia orgánica incrementa la capacidad del suelo para retener calcio, favoreciendo la disponibilidad de este nutriente a lo largo del tiempo Lora Silva (1978). Por otro lado, las ligeras fluctuaciones observadas en algunos años pueden ser consecuencia de la lixiviación generada por las lluvias intensas, así como de variaciones en el pH, que afectan la capacidad del suelo para mantener cationes en estado intercambiabile Campillo y Campillo (s.f.). En el análisis estadístico, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.7557$ indica que el 75.57% de la variación del calcio intercambiabile se explica por el tiempo, mientras que el coeficiente de correlación $R = 0.8693$ evidencia una relación alta entre ambas variables, confirmando una tendencia positiva moderada en el periodo evaluado.

Figura 50*Calcio cambiabile en el punto LQarN*

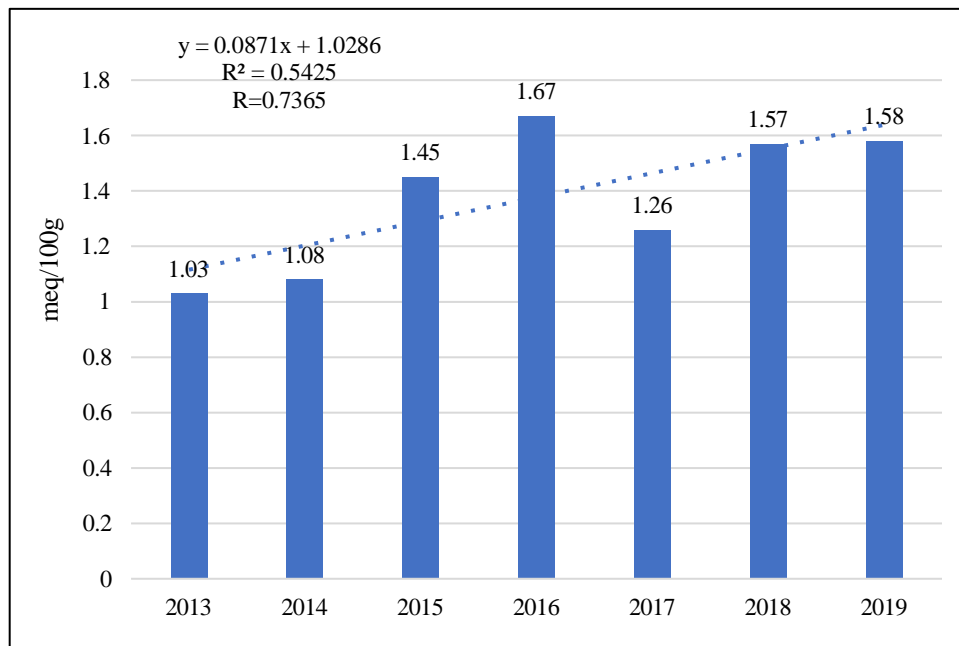
En el punto LQarN (figura 50), el calcio intercambiabile mostró un incremento progresivo, pasando de 1.32 en 2013 a 1.75 en 2019, con valores estables en los últimos dos años del periodo evaluado. Este aumento se atribuye al encalado con materiales como CaCO_3 o Ca(OH)_2 , que liberan calcio al suelo y lo adsorben en los sitios de intercambio catiónico, según Arevalo et al. (2024). Quintos et al. (2022) sostienen que en suelos mineros jóvenes, la concentración inicial de calcio es baja, pero puede incrementarse mediante la aplicación de enmiendas y revegetación, prácticas que además contribuyen a disminuir la acidez del suelo. Sin embargo, las disminuciones observadas en ciertos años podrían estar asociadas a procesos de lixiviación debido a las precipitaciones, como menciona Carbonero Zalduegui (1984), así como a la reducción del pH, que limita la disponibilidad de cationes intercambiables, según Soriano Soto (2018). En el análisis estadístico, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.6343$ indica que el 63.43% de la variabilidad en el calcio intercambiabile se explica por el tiempo, mientras que el coeficiente de correlación $R = 0.7964$ evidencia una relación alta y positiva, lo que confirma una tendencia creciente en el periodo analizado.

Figura 51*Calcio cambiabile en el punto CNHRZ1*

En el punto CNHRZ1 (figura 51), el calcio intercambiabile presentó un comportamiento fluctuante durante el periodo analizado. En los primeros años, se observaron incrementos, alcanzando un valor máximo de 2.72 en 2015, lo que se atribuye al efecto del encalado, la acumulación de materia orgánica y la revegetación, según Carbonero Zalduegui (1984). Quintos et al. (2022) respaldan que estas prácticas contribuyen a mejorar la disponibilidad de calcio, especialmente en suelos mineros jóvenes. Sin embargo, a partir de 2016 se registraron disminuciones, posiblemente asociadas a la lixiviación causada por las precipitaciones y a la disminución del pH, factores que limitan la retención de calcio en los sitios de intercambio catiónico. Además, Higidio et al. (2023) destacan que la revegetación con gramíneas y leguminosas puede enriquecer el suelo con minerales esenciales, incrementando su disponibilidad en suelos manejados. El análisis estadístico refleja una correlación baja entre el tiempo y el calcio intercambiabile, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.0102$, que indica que solo el 1.02% de la variabilidad se explica por el tiempo, y un coeficiente de correlación $R = 0.100$, que sugiere una relación muy débil.

Figura 52*Calcio cambiabile en el punto MMDDZ3*

En el punto MMDDZ3 (figura 52), los niveles de calcio intercambiabile mostraron una tendencia creciente desde 1.25 en 2013 hasta alcanzar 2.59 en 2018, con una ligera disminución a 2.46 en 2019. Este patrón de incremento puede ser atribuido a la aplicación de enmiendas calcáreas como CaCO_3 o Ca(OH)_2 , que liberan iones Ca^{2+} , los cuales son adsorbidos en los sitios de intercambio catiónico del suelo. Además, la presencia de materia orgánica y arcillas favorece la retención de estos cationes. La revegetación también contribuye a la acumulación de calcio al facilitar el reciclaje de nutrientes y la estabilización del suelo. Por otro lado, la disminución registrada en los últimos años podría estar relacionada con la acidificación del suelo, que reduce la capacidad de intercambio catiónico al protonar grupos funcionales en las superficies de las partículas, y con las precipitaciones intensas que promueven la lixiviación de nutrientes, incluyendo el calcio. El análisis estadístico indica una alta correlación entre el tiempo y los niveles de calcio intercambiabile, con un $R^2 = 0.8066$, lo que sugiere que el 80.66% de la variabilidad de los datos está explicada por el tiempo, y un coeficiente de correlación de $R = 0.8981$, reflejando una relación fuerte entre ambas variables.

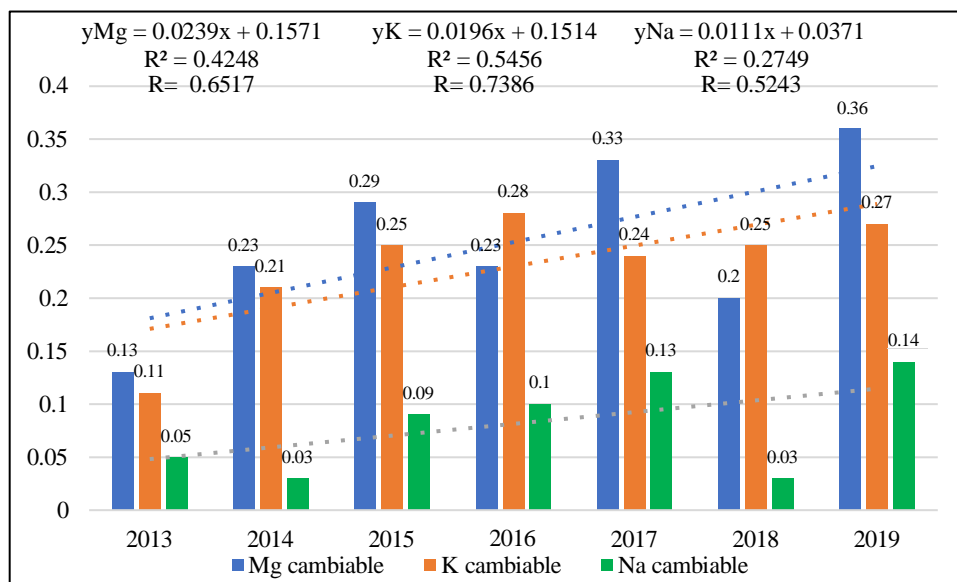
Figura 53*Calcio cambiabile en el punto SJDRZ2*

En el punto SJDRZ2 (figura 53), el calcio intercambiabile mostró incrementos significativos entre 2013 y 2016, alcanzando su máximo valor de 1.67 en 2016, lo cual se atribuye a la aplicación de enmiendas calcáreas y al aporte de materia orgánica, factores que favorecen la liberación y retención de Ca^{2+} en los sitios de intercambio catiónico del suelo. Sin embargo, en 2017 se registró una disminución a 1.26, posiblemente debido a procesos de lixiviación ocasionados por precipitaciones intensas y a una disminución del pH, que reduce la capacidad del suelo para retener cationes. Posteriormente, en 2018 y 2019, los valores se recuperaron ligeramente, alcanzando 1.58, lo cual podría estar relacionado con una estabilización en las condiciones del suelo y el efecto continuado de enmiendas y revegetación, que promueven el reciclaje de nutrientes. El análisis estadístico respalda esta dinámica, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.5425$, indicando que el 54.25% de la variación está explicada por el modelo, y un coeficiente de correlación de $R = 0.7365$, que evidencia una relación positiva y alta entre el tiempo y el calcio intercambiabile.

Magnesio (Mg^{+2}), potasio (K^{+}) y sodio (Na^{+}) cambiables

Figura 54

Magnesio, potasio y sodio cambiables en el punto YAPZI



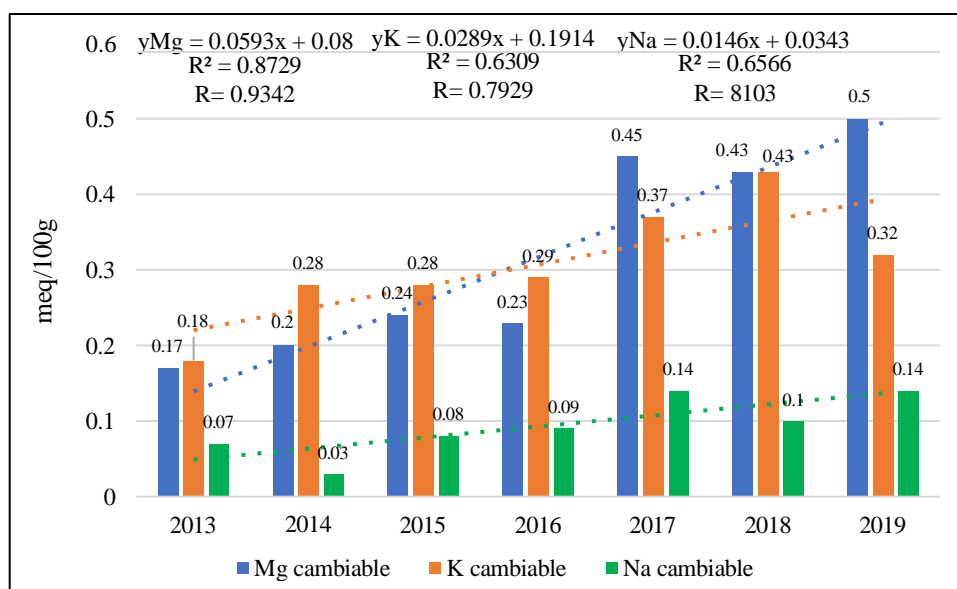
En el punto YAPZI (figura 54), el comportamiento de los cationes intercambiables (magnesio, potasio y sodio) mostró variaciones a lo largo del periodo analizado. El magnesio presentó incrementos en varios años, alcanzando un valor máximo de 0.36 meq/100g en 2019. Este aumento puede atribuirse al suministro de abonos orgánicos y la revegetación, lo que favorece la incorporación de magnesio, especialmente a través de residuos vegetales, como lo menciona Carbonero Zalduegui (1984). De manera similar, el potasio mostró un aumento progresivo, alcanzando 0.27 meq/100g en 2019, probablemente por los mismos factores, ya que los abonos orgánicos y la revegetación contribuyen a la disponibilidad de potasio en el suelo. Sin embargo, en 2018 se observó una disminución del magnesio, lo cual se relaciona con la influencia del pH y las precipitaciones intensas, que promueven la lixiviación de nutrientes esenciales, como lo menciona Guevara Pescador (2017). La correlación del magnesio con el tiempo es moderada ($R^2 = 0.4248$, $R = 0.6517$), sugiriendo una relación moderada entre la disponibilidad de magnesio y el tiempo. En cuanto al potasio, la

correlación también fue moderada ($R^2 = 0.5456$, $R = 0.7386$), indicando que el suministro de potasio está en parte relacionado con los cambios a lo largo del tiempo.

Para el sodio, la correlación fue más baja ($R^2 = 0.2749$, $R = 0.5243$).

Figura 55

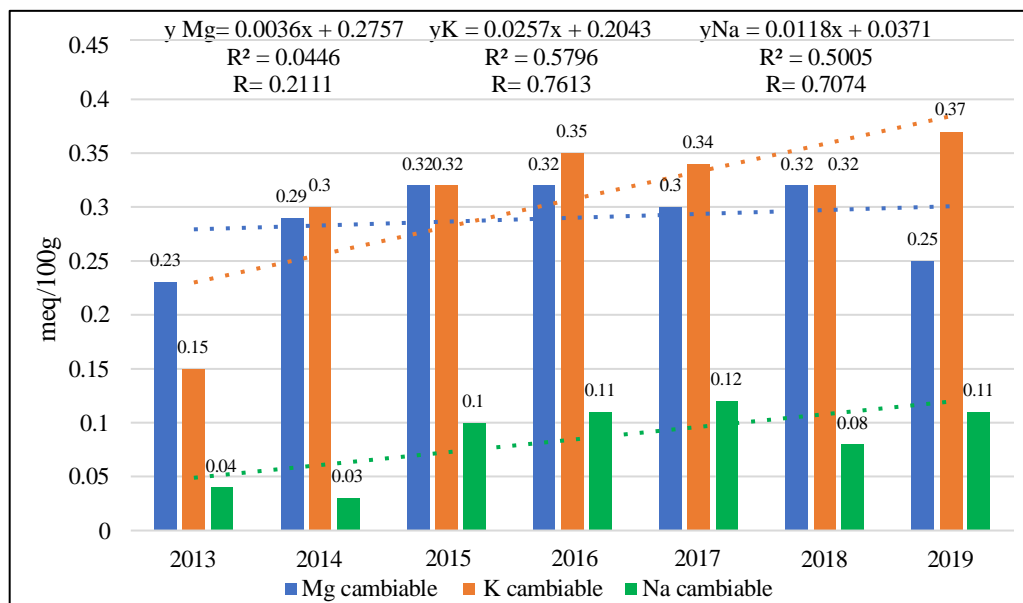
Magnesio, potasio y sodio cambiables en el punto YADDZ1



En el punto YADDZ1 (figura 55), los cationes intercambiables de magnesio, potasio y sodio mostraron incrementos progresivos a lo largo del periodo, alcanzando valores máximos de 0.5 meq/100g para el magnesio y 0.37 meq/100g para el potasio en 2019. Estos incrementos se atribuyen a la acumulación de materia orgánica y la presencia de arcillas, que favorecen la retención de nutrientes y reducen la lixiviación, como indica Núñez Russi (2014). La vegetación también contribuye a la estabilización del suelo y la acumulación de nutrientes. Sin embargo, en 2018 se observó una disminución del sodio, que se relaciona con la acidificación del suelo y la disminución del pH, limitando la retención de cationes. Los análisis estadísticos muestran una fuerte correlación entre el tiempo y el magnesio ($R^2 = 0.8729$, $R = 0.9342$) y el potasio ($R^2 = 0.6309$, $R = 0.7929$), mientras que el sodio mostró una correlación moderada ($R^2 = 0.6566$, $R = 0.8103$).

Figura 56

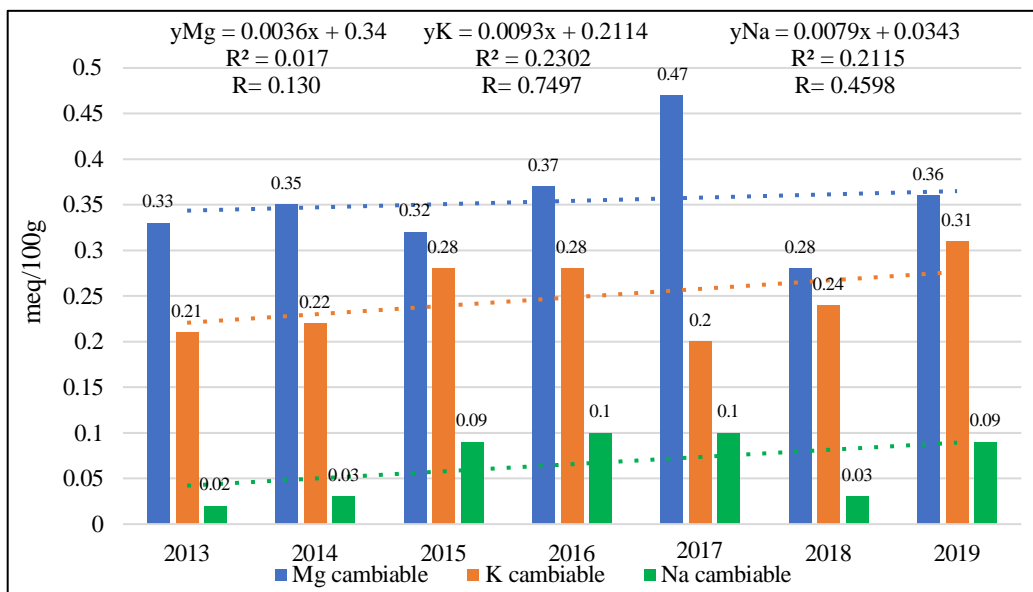
Magnesio, potasio y sodio cambiables en el punto LQarN



En el punto LQarN (figura 56), los cationes intercambiables de magnesio, potasio y sodio presentaron una dinámica de incrementos y disminuciones a lo largo de los años. Los aumentos en los niveles de magnesio y potasio, alcanzando 0.32 meq/100g en 2015 para el magnesio y 0.37 meq/100g en 2019 para el potasio, se atribuyen al suministro de abonos orgánicos y la revegetación, lo que favorece la incorporación de nutrientes, en especial el magnesio, proveniente de residuos vegetales, como lo describe Carbonero Zalduegui (1984). Además, Pérez et al. (2012) destacaron la influencia de la descomposición de la hojarasca en suelos de revegetación antigua, contribuyendo a la acumulación de materia orgánica. Sin embargo, las disminuciones en algunos años, particularmente en el magnesio y el sodio, se relacionan con la acidificación del suelo, evidenciada por la baja en el pH, lo que limita la retención de cationes, como se observa con el comportamiento del sodio en 2016 y 2018. Los análisis estadísticos muestran una correlación baja para el magnesio ($R^2 = 0.0446$, $R = 0.2111$), una correlación moderada para el potasio ($R^2 = 0.5796$, $R = 0.7613$), y una correlación moderada para el sodio ($R^2 = 0.5005$, $R = 0.7074$).

Figura 57

Magnesio, potasio y sodio cambiables en el punto CNHRZ1

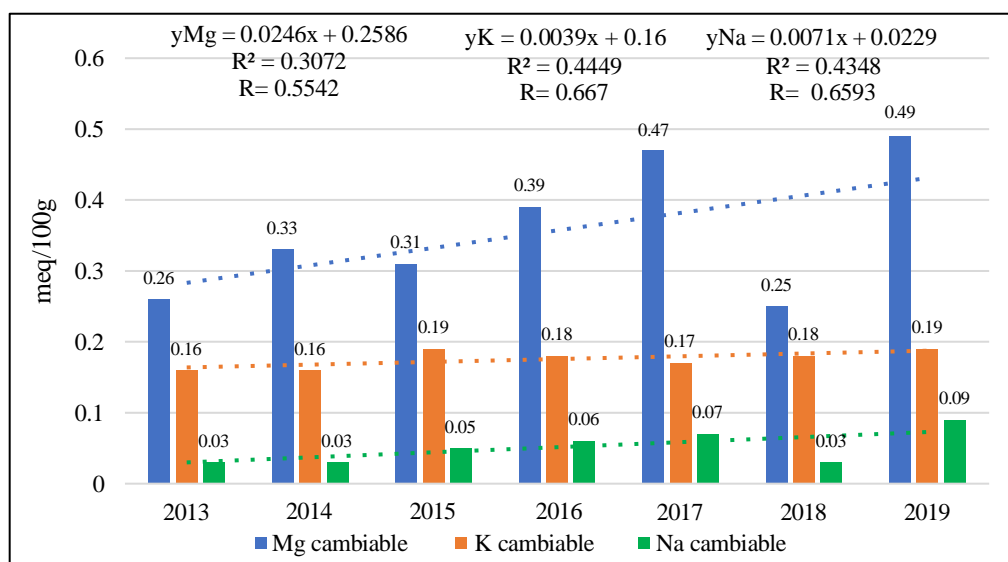


En el punto CNHRZ1 (figura 56), los cationes intercambiables de magnesio, potasio y sodio mostraron una dinámica de fluctuaciones similares a la observada en los puntos previos. El magnesio y el potasio presentaron incrementos progresivos, alcanzando 0.47 meq/100g en 2017 para el magnesio y 0.31 meq/100g en 2019 para el potasio, lo cual se atribuye a la acumulación de materia orgánica proveniente de la descomposición de residuos vegetales y la presencia de arcillas, que favorecen la retención de estos nutrientes en el suelo, como lo indican Quinto et al. (2022) y Wongprom et al. (2020). Estas prácticas de revegetación contribuyen significativamente a la mejora de la fertilidad del suelo, promoviendo la disponibilidad de cationes intercambiables. Sin embargo, a partir de 2018, se observó una disminución en los niveles de magnesio y potasio, lo que podría estar relacionado con la disminución del pH, que afecta la capacidad del suelo para retener estos nutrientes. En el caso del sodio, el comportamiento también refleja esta dinámica, con una disminución en 2016 y 2018, lo que sugiere que los factores de acidificación del suelo y la lixiviación por precipitaciones intensas contribuyen a la pérdida de este nutriente, como lo reportaron

Quinto et al. (2022). El análisis estadístico muestra una correlación baja para el magnesio ($R^2 = 0.017$, $R = 0.130$), una correlación moderada para el potasio ($R^2 = 0.2302$, $R = 0.7497$) y una correlación baja para el sodio ($R^2 = 0.2115$, $R = 0.4598$).

Figura 58

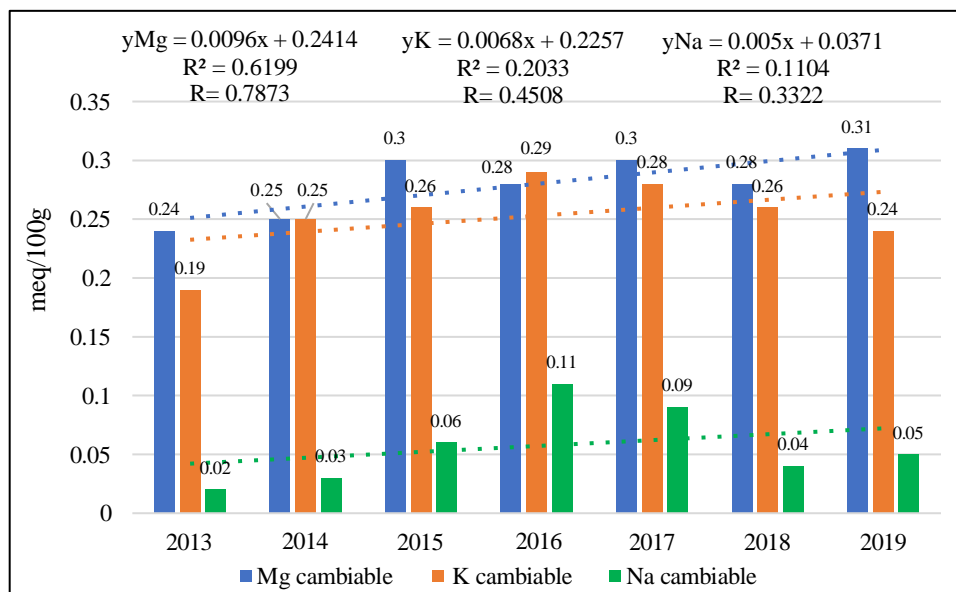
Magnesio, potasio y sodio cambiables en el punto MMDDZ3



En el punto MMDDZ3 (figura 58), los cationes de magnesio, potasio y sodio mostraron fluctuaciones a lo largo del tiempo. El magnesio presentó un aumento hasta 0.47 meq/100g en 2017, asociado a la acumulación de materia orgánica y revegetación, pero luego disminuyó a 0.25 meq/100g en 2018, lo que podría estar relacionado con la acidificación del suelo. El potasio también mostró un comportamiento similar, alcanzando su máximo en 2015 (0.19 meq/100g), lo cual se atribuye a la materia orgánica y a la estabilización del suelo. Por otro lado, el sodio mostró una tendencia creciente, alcanzando 0.09 meq/100g en 2019, lo que coincide con los hallazgos de Otero et al. (2012), quienes advierten que la salinidad y el sodio intercambiable pueden provocar procesos erosivos y deteriorar la calidad del suelo. Las correlaciones con el tiempo para los cationes fueron las siguientes: para el magnesio, la relación fue moderada ($R^2 = 0.3072$, $R = 0.5542$); para el potasio, también fue moderada ($R^2 = 0.4449$, $R = 0.667$); y para el sodio, la correlación fue alta ($R^2 = 0.4348$, $R = 0.6593$).

Figura 59

Magnesio, potasio y sodio cambiables en el punto SDJRZ2



En el punto SJDRZ2 (figura 59), los cationes de magnesio, potasio y sodio mostraron una dinámica de variaciones similar a los puntos anteriores. El magnesio presentó incrementos hasta 2017, alcanzando su máximo en 0.30 meq/100g, debido a la acumulación de materia orgánica, arcillas y la vegetación, tal como menciona Carbonero Zalduegui (1984), mientras que las disminuciones posteriores, en 2018, podrían explicarse por la lixiviación por las precipitaciones, acidificación del suelo y las fluctuaciones de pH, como indica Guevara Pesacador (2017). El potasio mostró una tendencia similar, con un aumento hasta 2016, favorecido por procesos de revegetación, y luego una leve disminución. Pérez et al. (2012) destacan que la acumulación de materia orgánica contribuye a la retención de este nutriente en suelos de revegetación. El sodio, por su parte, aumentó hasta 2016, pero luego disminuyó en 2017 y 2018, posiblemente debido a la lixiviación vinculada a la precipitación y el pH. El análisis estadístico reflejó una fuerte correlación para el magnesio ($R = 0.7873$, $R^2 = 0.6199$), moderada para el potasio ($R = 0.4508$, $R^2 = 0.2033$), y baja para el sodio ($R = 0.3322$, $R^2 = 0.1104$).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La dinámica de las propiedades físicas en los seis puntos de monitoreo muestra reducción de arena e incremento de arcilla con el trascurso del tiempo, modificando la textura del suelo. En YAPZ1, la arena pasa de 70% a 48%, la arcilla de 10% a 27%, cambiando de franco arenoso (Fr. A.) a franco arcillo arenoso (Fr.Ar.A.); en YADDZ1, la arena disminuye de 73% a 46%, la arcilla incrementa de 7% a 28%, con la misma transición textural; en LQarN, la arena disminuye de 69% a 50%, la arcilla incrementa de 13% a 28%, manteniendo una textura Fr.Ar.A; en CNHRZ1, la arena se reduce de 64% a 45%, la arcilla aumenta de 10% a 25%, permaneciendo Fr.A; en MMDDZ3, la arena disminuye de 71% a 48%, la arcilla crece de 4% a 27%, cambiando a Fr.Ar.A; en SJDRZ2, la arena disminuye de 71% a 46%, la arcilla asciende de 9% a 28%, alcanzando una textura Fr.Ar.A. El limo fluctúa moderadamente, sin un patrón definido en todos los puntos.
- La dinámica de las propiedades químicas del suelo es similar en los seis puntos de muestreo: muestran un pH ácido, con aumentos iniciales y variaciones posteriores, en un rango de 3.91 a 5.64. La conductividad eléctrica presenta un comportamiento semejante al pH, con valores que oscilan entre 0.03 y 0.15 dS/m. La materia

orgánica mostró tendencias ascendentes con ligeros descensos, variando entre 3.01% y 8.7%. El potasio y el fósforo disponible evidencian modificaciones ascendentes similares, con concentraciones entre 18.3 y 209 ppm, y 2.1 y 4.9 ppm, respectivamente.

- La dinámica de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los cationes cambiabiles (Ca, Mg, K, Na) fue similar en los seis puntos de monitoreo. La CIC mostró un incremento generalizado con algunas disminuciones en años específicos, con valores entre 11.2 y 27.2 meq/100 g. Los cationes cambiabiles presentaron un comportamiento análogo, con incrementos y algunas disminuciones en ciertos años, oscilando entre los siguientes rangos: Ca (1.03 - 2.72 meq/100 g), Mg (0.13 - 0.5 meq/100 g), K (0.11 - 0.43 meq/100 g) y Na (0.02 - 0.14 meq/100 g).

5.2. Recomendaciones

- Monitorear regularmente el pH y mantenerlo en un rango de 6.5 a 7.5 para optimizar la disponibilidad de nutrientes
- Realizar estudios periódicos del microbiota del suelo para evaluar su rol en la degradación de materia orgánica y la recuperación de propiedades edáficas.
- Analizar la estructura y composición de las arcillas para evaluar su capacidad de retención de nutrientes y mejorar la disponibilidad para la revegetación.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, G., Etchevers, J. D., Hidalgo, C., Galvis, A., y Aguirre, A. (2002). *Dinámica del potasio en suelos agrícolas*. *Agrociencia*, 36(1), 11-21.
<https://www.redalyc.org/pdf/302/30236102.pdf>
- Ahirwal, J., y Maiti, S. K. (2016). *Evaluación de las propiedades del suelo de diferentes usos de la tierra generados debido a las actividades de extracción de carbón a cielo abierto en el bosque tropical de Sal (Shorea robusta), India*. *CADENA*, 140, 155-166.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816216300455>
- Arán, D., Verde, J. R., Antelo, J., y Macías, F. (2020). *Calidad ambiental de suelos y aguas de la Mina Fé: situación inicial y alternativas de recuperación*. *SJSS*. *Spanish Journal of Soil Science*, 10(1), 81-100.
https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/21837/2020_sjss_aran_calidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Averruz, B., y Pastora, M. (2011). *Extracción de nutrientes en sistemas de producción de café con banano en el municipio El Cuá - Jinotega 2010-2011*. [Monografía

- de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/7025/1/6545.pdf>
- Bernal, A., y Hernández, A. (2017). *Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura*. Cultivos Tropicales, 23(4), 50- 57.
<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr10417.pdf>
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelos*. IICA.
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/12993>
- Bolan, N. S., Adriano, D. C., y Curtin, D. (2003). *Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability*. Advances in Agronomy, 78(58), 215-272.
- Burgos, P., Madejón, E., Pérez, A. G., y Cabrera, F. (2003). *Propiedades físico-químicas y variabilidad espacial de un suelo afectado por el vertido minero de Aznalcóllar*. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, VI, 219-222.
https://zonanosaturada.com/zns03/publications_files/p219-222.pdf
- Calderón, C., Bautista, G., y Rojas, S. (2018). *Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta*. ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia, 22(2), 141-157.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v22n2/0121-3709-rori-22-02-00141.pdf>
- Calderón, C., Bautista, G., y Rojas, S. (2018). *Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta*. ORINOQUIA, 22(2), 141-157.
<https://www.redalyc.org/journal/896/89660465002/html/>

- Cantero, M., Rhenals, V., y Moreno, A. (2015). *Determinación de la degradación del suelos por minería aurífera aluvial en la rivera del río San Pedro, Puerto Libertador, Córdoba, Colombia*. *Ingeniería e Innovación*, 3(1), 18-31.
<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/790>
- Carbonero Zalduegui, P. (1984). *Química del suelo y los fertilizantes*.
https://oa.upm.es/54493/1/QUIMICA_3.pdf
- Carrillo, R., González, M., y Navarro, M. (2017). *Adición de cal para disminuir la dismponibilidad de elementos potencialmente tóxicos en un residuo de mina*. *Agroproductividad*, 10(4), 87-91. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1008>
- Centro Internacional de Referencia e Información del Suelo [ISRIC]. (2002). *Procedures for soil analysis*.
https://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf
- Cepeda Dovala, J. M. (2012). *Química de suelos*. Trillas S.A.
- Cerro Verde. (2022). *Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas de la Unidad de Producción Cerro Verde*. <https://www.cerroverde.pe/pdf/folleto-cierre-de-minas-2022-digital-91.pdf>
- Chávez Avila, A. R. (2015). *Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras*. [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/165e509b-152c-4780-b524-c874b297e16e/content>

- Chinchilla, M., Alvarado, A., y Mata, R. (2011). *Factores formadores y distribución de suelos de la subcuenca del río Pirrís, Talamanca, Costa Rica*. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 33-57.
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v35n1/a03v35n1.pdf>
- Combatt, E., Mercado, T., y Palencia, G. (2009). *Alteración química de la solución de un suelo sulfatado ácido, con enclamiento y lavado en columna disturbadas*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 101-111.
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/646>
- Consorcio La Quinoa S.A.C. (2023). *SOW N° GEC-QPS-32025-0-30-C4001 Campaña de revegetación "Talud-Norte fase 1-La Quinoa"*.
- Conti, M. E. (s. f.). *Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo*. Cátedra de Edafología - Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires.
[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\\$FILE/AA%204.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/$FILE/AA%204.pdf)
- Córdova Cajas, E. S. (2018). *Propiedades Químicas del Suelo*. Universidad de las Américas.
https://www.academia.edu/36956245/Propiedades_quimicas_de_los_suelos
- Cremona, M., & Enriquez, A. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica*. *Presencia* (73), 5-8.
<https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>
- Crews, T. E., Kitayama, K., Fownes, J. H., Riley, R. H., Herbert, D. A., Mueller, y Vitousek, P. M. (1995). *Changes in Soil Phosphorus Fractions and Ecosystem Dynamics across a Long Chronosequence in Hawaii*. *Ecology*, 76, 1407-1424.
<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1938144>

Cruz, R. A., y Macal, J. A. (2018). *Efecto de dos tipos de cal en el pH del suelo y en la producción de sorgo sureño, Zamorano, Honduras*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e100a12c-9b9e-4a71-9a23->

[241ac4a526ce/content#:~:text=La%20cal%20hidratada%20es%20hidr%C3%B3xido,incrementa%20el%20pH%20del%20suelo.](https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e100a12c-9b9e-4a71-9a23-241ac4a526ce/content#:~:text=La%20cal%20hidratada%20es%20hidr%C3%B3xido,incrementa%20el%20pH%20del%20suelo.)

Debebe, W., Yirgu, T., y Debele, M. (2024). *Dynamics of Soil Physical and Chemical Properties under Different Current Land Use Types and Elevation Gradients in the Sala Watershed of Ari Zone, South Ethiopia*. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-11.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2024/7389265>

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., y Acevedo, O. (2011).

Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597- 612.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

Delgado, M., y Llorca, J. (2004). Estudios longitudinales: Concepto y particularidades.

Rev Esp Salud Pública, 78(2), 141-148.

<https://www.redalyc.org/pdf/170/17078202.pdf>

División de Ciencias de la Salud, Biológicas y Ambientales [DCSBA]. (s.f.). *Ingeniería ambiental de suelos UI Caracterización de suelos*. Universidad Abierta y a Distancia de México.

https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCSBA/BLOQUE1/TA/06/TIAS/unidad_01/descargables/TIAS_U1_Contenido.pdf

- Espinosa, J., y Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. International Plant Nutrition Institute. <http://www.cia.ucr.ac.cr/sites/default/files/2021-09/01%20Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos%2C%20libro%20por%20%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>
- Fassbender, H. W., y Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6801>
- Fertilab. (2013). *La Materia Orgánica y la Disponibilidad de Nutrientes Minerales*. https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La_Materia_Organica_y_la_Disponibilidad_de_Nutrientes_Minerales.pdf
- Garavito Neira, F. (1974). *Propiedades químicas de los suelos* (Vol. X). IGAC. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18436>
- Gisbert, J. M., Ibáñez, S., y Moreno, H. (2010). *La textura de un suelo*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>
- Guanilo Urbano, R. M. (2006). *Revegetación y evaluación de nutrientes y metales pesados encontrados en la vegetación de las canchas de desmonte de la Unidad Productiva Uchucchacua - Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/83336ace-62df-4a61-960e-e5fb5538c20d>
- Guariguata, M. R., y Ostertag, R. (2001). *Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics*. Forest Ecology and

Management, 148(1-3), 185-206.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112700005351>

Guevara Pescador, J. A. (2017). *Fundamentos para el estudio, identificación y determinación metodológica de la capacidad de intercambio catiónico una propuesta para suelos asociados al cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en el departamento del Valle del Cauca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio institucional.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18030/94544101.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gutiérrez, M. (2003). *Minería Unión de Grupos Ambientalistas (UGAM)*. <http://www.union.org.mx/guia/actividadesyagravios/mineria.htm>.

Hernández, J., Casanova, O., y Zamalvide, J. P. (1988). *Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay*. Boletín de Investigación. Montevideo: Facultad de.
https://www.researchgate.net/publication/342424527_Hernandez_J_1988_Capacidad_de_suministro_de_potasio_en_suelos_del_Uruguay

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1991). *Metodología de la Investigación*. MCGRAW-HILL.
https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf

Higidio, G., Baquero, C., Torres, K., Royero, A., y Acevedo, Y. (2023). *Eficiencia del uso de las especies como (GramineasyFabaceas) en suelos disturbados por minería de arcilla en la mina “El cielo” corregimiento de Valencia de Jesus-*

Cesar. Revista Politécnica ISSN 1900-2351, 19(23), 38-53.

<https://doi.org/https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n38a3>

Ingaramo, O., Paz, J., Mirás, J., y Vidal, E. (2007). *Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo*. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*, 32, 127 - 137.

[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/6334/CA-32-](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/6334/CA-32-10.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[10.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/6334/CA-32-10.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Julca, A., Meneses, L., Blas, R., y Bello, S. (2006). *La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura*. *Idesia*, 24(1), 49-61.

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009#:~:text=LA%20MATERIA%20ORG%C3%81NICA%20DEL%20SUELO&text=El%20humus%20tiene%20efecto%20sobre,y%20favoreciendo%20el%20intercambio%20gaseoso.)

[34292006000100009#:~:text=LA%20MATERIA%20ORG%C3%81NICA%20](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009#:~:text=LA%20MATERIA%20ORG%C3%81NICA%20DEL%20SUELO&text=El%20humus%20tiene%20efecto%20sobre,y%20favoreciendo%20el%20intercambio%20gaseoso.)

[DEL%20SUELO&text=El%20humus%20tiene%20efecto%20sobre,y%20favoreciendo%20el%20intercambio%20gaseoso.](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009#:~:text=LA%20MATERIA%20ORG%C3%81NICA%20DEL%20SUELO&text=El%20humus%20tiene%20efecto%20sobre,y%20favoreciendo%20el%20intercambio%20gaseoso.)

La Rotta, Á., y Torres, M. (2017). *Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá*. *Saúde debate*, 41(112), 77-91.

<https://www.scielosp.org/pdf/sdeb/2017.v41n112/77-91/es>

Lobos Chamorro, M. J. (2008). *Efectividad de los biosólidos para la fitoestabilización de un tanque de relaves minero, en la comuna de Nogales*. [Memoria de pregrado, Universidad de Chile].

https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104997/lobos_m.pdf?sequence=4

Lopes, P., Gisbert, J., Gómez, L., y Oliveira, C. (1978). *Efecto de la dosis de ácido polimaleico en la estabilidad estructural de los suelos*.

<https://www.secs.com.es/data/Revista%20edafo/Volumen%205.%20Diciembre%201998.%20pag%2011-28.pdf>

López Falcón, R. (2002). *Degradación del suelo causas, procesos evaluación e investigación*. CIDIAT. <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>

López, M., y Estrada, H. (2015). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo*. *Bioagrociencias*, 8(1), 3–11.
https://www.academia.edu/15103699/2015_Propiedades_f%C3%ADsicas_qu%C3%ADmicas_y_biol%C3%B3gicas_del_suelo_Bioagrociencias_8_1_3_11

Lora Silva, R. (1978). *Factores físicos y químicos del suelo que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas*. Instituto Colombiano Agropecuario.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13925/23537_5235.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marquíñez, L. M., y Potosí, S. F. (2006). *Fraccionamiento del fósforo y su correlación con la materia orgánica y otras propiedades de dos suelos del departamento del Cauca*. [Tesis de grado, Universidad del Cauca]. Repositorio institucional.
<http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/7228/Fraccionamiento%20del%20f%C3%B3sforo%20y%20su%20correlaci%C3%B3n%20con%20la%20materia%20org%C3%A1nica%20y%20otras%20propiedades%20de%20dos%20suelos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Méndez López, M. (2008). *Restauración de suelos contaminados con hidrocarburos mediante la utilización de cal viva*. *Revista Divulgación*, XIV(26), 47-56.
<https://ri.ujat.mx/bitstream/20.500.12107/2449/1/-889-745-A.pdf>

- Méndez Yustres, C. (2012). *Evaluación del Comportamiento de las Propiedades Físico-Químicas y Biológicas de un Suelo Sódico de El Guacanal-Cerrito (Valle Del Cauca) Tratado Con Un Inoculante Biológico*. [Tesis de grado, Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/items/0cab2f9a-f864-479e-8bda-193771a95a62>
- Mendoza, J., y Rojas, J. (2022). *Evaluación del suelo del área de influencia de los pasivos mineros de la mina de Santa Bárbara, Huancavelica, 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8ecc666-023b-4f0d-bb7c-2b73babb6257/content>
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM], M. d. (2023). *Ley y Reglamento que regula el cierre de minas. Ley N° 28090 y su reglamento*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4467449/RCM%202023.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2023). *Ley N° 28090 y su reglamento: Ley y Reglamento que regula el Cierre de Minas*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4467449/RCM%202023.pdf>
- Mirábile, C. (2013). *Conductividad hidráulica de los suelos del oasis regado por el río Tunuyán medio*. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente-Centro Regional Andino. https://www.observatoriova.com/wp-content/uploads/2013/10/Mirabile_Conductividad_Hidraulica.pdf
- Müggenburg, M., y Pérez, I. (2021). *Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa*. [https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/12/1028446/469-manuscrito-anonimo-891-1-10-20180417.pdf#:~:text=3.1\)%20Estudios%20retrospectivos%20o%20retrolectivo](https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/12/1028446/469-manuscrito-anonimo-891-1-10-20180417.pdf#:~:text=3.1)%20Estudios%20retrospectivos%20o%20retrolectivo)

s,chos%20ocurridos%20en%20el%20pasado.&text=Pineda%20reclasifica%20e
stos%20estudios%20en,estar%20sub

Murillo, S., Mendoza, A., y Fadul, C. (2020). *La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola*. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 7(1), 58-68.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8739291>

Núñez Russi, A. (2014). *Dinámica del potasio en suelos agrícolas del litoral oeste de Uruguay*. [Tesis de maestría, Universidad de la Republica].
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11187/1/FA-Ing-Agr.2014-nunez-agustin.pdf>

Ogundele, L., Owoade, O., Hopke, P., y Olise, F. (2017). *Metales pesados en partículas emitidas industrialmente en Ile-Ife, Nigeria*. Investigación ambiental, 156, 320-325. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935117300853>

Oliveros, D., Molina, I., Rodríguez, K., y Díaz, L. (2017). *Caracterización y restauración ecológica de suelos en minería de carbón a cielo abierto: antecedentes, técnicas actuales y búsqueda de nuevas técnicas para su tratamiento*. Revista Agunkuyaa, 7(1), 36-49.
<https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/article/view/1211>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], O. d., y Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], P. d. (2022). *Evaluación mundial de la contaminación del suelo – Resumen para los formuladores de políticas*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d7e39e77-e093-4325-ac97-88f3768491fb/content>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO].

(2006). *Guidelines for soil description*. Roma.

<https://fao.org/4/a0541e/a0541e.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO].

(2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Cómo alimentar al mundo en 2050. Foro de expertos de alto nivel. Roma: FAO.

https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO].

(2015). *World reference base for soil resources 2014*.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bcdecec7-f45f-4dc5-beb1-97022d29fab4/content>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO].

(2019). *Textura del suelo*. FAO:

https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

Osorio, N. W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico*.

Otero, L. M., Gálvez, V. A., Navarro, N. O., Rivero, L. B., Pérez, u. M., y La Guardia,

T. (2012). *Influencia de electrolitos, especies iónicas y sodio cambiante en la dispersión del suelo*. *Agronomía Mesoamericana*, 23(1), 189-200.

<https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v23n1/a20v23n1.pdf>

Paradelo Núñez, R. (2013). *Utilización de materiales compostados en la rehabilitación potencial de espacios afectados por residuos mineros y suelos de mina*.

BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO, 124(3), 405-419.

https://www.researchgate.net/publication/256667545_Utilizacion_de_materiales_compostados_en_la_rehabilitacion_potencial_de_espacios_afectados_por_residuos_mineros_y_suelos_de_mina

Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Calle, A., Velarde, M., y Portela, H. (2011). *Edafología 1*.

<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

Pérez, A., Céspedes, C., Almonte, I., Sotomayor, D., Cruz, Cesar, y Núñez, P. (2012).

Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo. Terra Latinoamericana, 30(3), 201-211.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v30n3/2395-8030-tl-30-03-00201.pdf>

Pita, S., y Pértegas, S. (2002). *Investigación cuantitativa y cualitativa*. Cad Aten Primaria, 9, 76-78.

<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/355/course/section/154/Tema%25208.pdf>

Quinto, H., Ayala, G., y Gutiérrez, H. (2022). *Contenido de nutrientes, acidez y textura del suelo en áreas degradadas por la minería en el Chocó biogeográfico*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat., 46(179), 514-528.

<https://doi.org/https://doi.org/10.18257/raccefyn.1615>

Rodríguez, C., y Julca, D. (2020). *Gestión del cierre de minas en el Perú: estudio técnico-legal sobre el alcance de la legislación peruana en el cierre de operaciones mineras*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/512df32b-0653-4cc7-a5db-4cb49bc459af/content>

Rojas, C. (s.f.). *Disponibilidad del fósforo y su correlación*.

<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/a6ad6d00-20a3-4f67-b7db->

0d038b94c100/content#:~:text=El%20% C3% B3ptimo% 20rango% 20de% 20pH, de% 20f% C3% B3sforo% 20inorg% C3% A1nico% 20del% 20suelo.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Universidad de la República.

<https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Salamanca Cáceres, G. F. (2020). *Indicadores de calidad del suelo en cierres progresivos de mina a tajo abierto del ambito geográfico de la cooperativa minera Limita Limitada*. [tesis de pregrado, Universidad Privada San Carlos].

<https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./240>

Sánchez, J. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2020). *Clima / Mapa Climático del Perú*.

<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=mapa-climatico-del-peru>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2018). *Lineamientos para la Restauración de Ecosistemas Forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre*. MINAGRI-SERFOR.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1269060/Lineamientos%20restauracion.pdf?v=1598652269>

- Sevilla Perea, A. (2014). *El uso de enmiendas para la recuperación de la escombrera de una mina de FE abandonada (Alquife, sureste español). Incidencia sobre la calidad y productividad del suelo*. [Tesis de doctorado, Universidad de Granada]. Repositorio institucional.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=58049>
- Shankar, A., y Chandra, S. (2023). *Dynamics of soil bio-physicochemical properties under different disturbance regimes in sal forests in western Himalaya, India*. *Science of The Total Environment*, 879(25).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723016686>
- Soriano Soto, M. D. (2018). *Concepto de Capacidad de Intercambio iónico en el suelo*. Universitat Politècnica de València.
<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105088/Soriano%20-%20CAPACIDAD%20DE%20INTERCAMBIO%20IONICO%20DEL%20SUELOS.pdf>
- Soriano Soto, M. D. (2020). *Efectos de la materia orgánica sobre el suelo*. Universitat Politècnica de València.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/142182/Soriano%20-%20Efectos%20de%20la%20materia%20org%C3%A1nica%20sobre%20el%20suelo.pdf?sequence=1>
- STANTEC S.A. (2019). *Modificación de estudio de impacto ambiental Yanacocha*.
https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/filebase/Resumen-Ejecutivo_Yanacocha.pdf
- Torres, C. A., Etchevers, J. D., Fuentes, M. H., Govaerts, B., De León, F., y Herrera, J. M. (2013). *Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo*. Terra

Latinoam, 31(1).

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-

57792013000100071

Van KoniJenburg, A. (2006). *Agricultura Orgánica. El suelo: sus componentes físicos.*

Estación Experimental Agropecuaria.

https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-

inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf

Vizconde Suárez, J. Y. (2023). *La fitorremediación de suelos contaminados por relaves*

mineros a través de Dactylis glomerata y Pennisetum clandestinum. Revista del

Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias

geográficas, 26(52), 1-9.

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/25283/2>

0365

Wongprom, J., Poolsiri, R., Diloksumpun, S., y Ngernsaengsaruy, C. (2020). *Soil*

Properties and tree composition in 27 - year old Acacia mangium Willd.

Plantation on abandoned mining area at phangnga forestry research station.

Biotropia, 27(2).

<https://journal.biotrop.org/index.php/biotropia/article/view/1176>

Xiong, J. (2015). *Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos*

traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta

vegetal natural o de una planta de crecimiento rápido (Paulownia fortunei).

[tesis de doctorado, Universidad de Sevilla]. Repositorio institucional.

<https://core.ac.uk/download/pdf/51402578.pdf>

Zhang, P., Yongxing, C., Zhang, Y. L., Jia, J., Zhang, X., y Xia, E. r. (2016). *Cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo después de la minería a cielo abierto y la recuperación. SSSAJ, 80(6), 1476-1485.*

<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj2016.06.0167>

CAPÍTULO VII

ANEXOS


Anexo 1. Informes de laboratorio del año 2013 al 2019

Informe de laboratorio del año 2013

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
17506	LQDDZ1	4.18	0.04	0.00	3.04	1.7	35	28	25	25	Fr.A.	21.60	15.72	3.26	0.25	0.05	2.10	15.72	9.60	95
17507	Rgco	4.39	0.04	0.00	3.04	3.15	26	64	60	9	Fr.A.	12.08	5.37	3.15	0.14	0.03	0.50	9.10	9.10	64
17508	CNANC1	4.18	0.02	0.00	4.61	2.1	56	55	28	17	Fr.A.	17.92	1.50	0.29	0.24	0.05	1.50	3.26	1.76	8
17509	CNHRZ1	4.50	0.05	0.00	3.70	2.31	18.3	64	26	10	Fr.A.	11.20	1.50	0.33	0.21	0.02	2.10	5.57	5.37	33
17510	SJDRZ2	3.98	0.05	0.00	4.42	2.1	67	71	20	9	Fr.A.	18.20	1.03	0.24	0.19	0.02	3.30	5.37	1.80	26

A = Arena ; A Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab	Claves	
17506	LQDDZ1	0.14
17507	Rgco	0.16
17508	CNANC1	0.21
17509	CNHRZ1	0.22
17510	SJDRZ2	0.24



 Dr. Sady García Bendeza
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 21882-0004C-18

Provincia :

Predio :

Fecha : 28/12/13

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
											meq/100g									
17501	YADDZ1	3.93	0.04	0.00	3.80	2.4	75	73	20	7	Fr.A.	19.20	1.32	0.17	0.18	0.07	5.50	22.40	20.20	90
17502	YAAN1	4.51	0.02	0.00	6.26	4.3	68	71	24	5	Fr.A.	32.96	1.42	0.35	0.37	0.09	2.60	4.83	2.23	7
17503	LQarUN	4.52	0.07	0.00	3.41	2.2	102	63	22	15	Fr.A.	22.40	16.20	2.08	0.35	0.04	1.50	20.18	18.68	83
17504	LQDPZ1	4.60	0.05	0.00	3.28	2.9	70	61	24	15	Fr.A.	18.88	13.69	3.52	0.25	0.03	1.40	18.88	17.48	93
17505	LQarN	4.35	0.08	0.00	3.04	2.4	79	69	18	13	Fr.A.	14.40	1.59	0.23	0.15	0.04	1.60	16.75	14.35	75

A = Arena ; A Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab	Claves	
17501	YADDZ1	0.26
17502	YAAN1	0.35
17503	LQarUN	0.22
17504	LQDPZ1	0.20
17505	LQarN	0.23



Dr. Sady García Bendeza
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 21882-0004C-18

Provincia :

Predio :

Fecha : 28/12/13

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
17496	MMDDZ3	4.62	0.04	0.00	4.40	2.4	43	71	25	4	Fr.A.	17.02	1.25	0.26	0.16	0.03	0.10	2.01	1.91	10
17497	MQTNZ1	4.72	0.07	0.00	3.99	3.1	41	65	28	7	Fr.A.	17.60	0.55	0.22	0.21	0.03	0.60	1.61	1.01	6
17498	MMarHR	4.09	0.23	0.00	3.78	3.0	40	47	34	19	Fr.	22.40	0.60	0.33	0.25	0.03	2.90	4.11	1.21	5
17499	MMANC1	5.23	0.06	0.00	3.92	1.2	78	73	22	5	Fr.A.	20.32	2.89	2.22	0.30	0.04	0.20	5.65	5.45	27
17500	YAPZ1	3.91	0.06	0.00	3.01	3.01	40	70	20	10	Fr.A.	15.20	1.20	0.13	0.11	0.05	1.20	2.48	1.68	12


A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab.	Claves	
17496	MMDDZ3	0.23
17497	MQTNZ1	0.19
17498	MMarHR	0.20
17499	MMANC1	0.28
17500	YAPZ1	0.17




Sady García Bendezu
 Jefe del Laboratorio

Informe de laboratorio del año 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

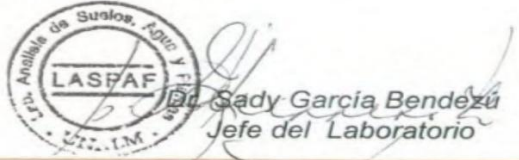
Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA Provincia :
 Distrito : Predio :
 Referencia : H.R. 47182-0104C-14 Fecha : 20/10/14

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena Limo Arcilla					Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
								%	%	%										
17496	MMDDZ3	5.64	0.08	0.00	4.51	2.6	51	71	24	5	Fr.A.	18.18	1.98	0.33	0.16	0.03	0.10	2.01	1.91	10
17497	MQTNZ1	4.72	0.07	0.00	3.99	3.1	41	65	28	7	Fr.A.	17.60	0.55	0.22	0.21	0.03	0.60	1.61	1.01	6
17498	MMarHR	4.09	0.23	0.00	3.78	3.0	40	47	34	19	Fr.	22.40	0.60	0.33	0.25	0.03	2.90	4.11	1.21	5
17499	MMANC1	5.23	0.06	0.00	3.92	1.2	78	73	22	5	Fr.A.	20.32	2.89	2.22	0.30	0.04	0.20	5.65	5.45	27
17500	YAPZ1	4.49	0.10	0.00	3.08	3.6	50	61	26	13	Fr.A.	14.40	1.60	0.23	0.21	0.03	0.80	2.48	1.68	12

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab.	Claves	
17496	MMDDZ3	0.24
17497	MQTNZ1	0.20
17498	MMarHR	0.21
17499	MMANC1	0.28
17500	YAPZ1	0.19



Dr. Sady García Bendezu
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 47182-0104C-14

Provincia :

Predio :

Fecha : 20/10/14

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺² meq/100g	K ⁺ meq/100g	Na ⁺ meq/100g	Al ⁺³ + H ⁺ meq/100g			
17501	YADDZ1	4.21	0.06	0.00	3.97	2.9	76	61	28	11	Fr.A.	22.40	1.49	0.20	0.28	0.03	2.20	22.40	20.20	90
17502	YAAN1	4.51	0.02	0.00	6.26	4.3	68	71	24	5	Fr.A.	32.96	1.42	0.35	0.37	0.09	2.60	4.83	2.23	7
17503	LQarUN	4.52	0.07	0.00	3.41	2.2	102	63	22	15	Fr.A.	22.40	16.20	2.08	0.35	0.04	1.50	20.18	18.68	83
17504	LQDPZ1	4.60	0.05	0.00	3.28	2.9	70	61	24	15	Fr.A.	18.88	13.69	3.52	0.25	0.03	1.40	18.88	17.48	93
17505	LQarN	4.42	0.12	0.00	3.39	2.8	80	61	24	15	Fr.A.	19.20	2.00	0.29	0.30	0.03	2.40	16.75	14.35	75

A = Arena ; A Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab	Claves	
17501	YADDZ1	0.28
17502	YAAN1	0.34
17503	LQarUN	0.20
17504	LQDPZ1	0.20
17505	LQarN	0.20



Dr. Sady García Bendeza
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 47182-0104C-14

Provincia :

Predio :

Fecha : 20/10/14

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
17506	LQDDZ1	4.33	0.05	0.00	2.56	2.9	55	41	34	25	Fr.	17.92	12.08	3.30	0.29	0.05	2.20	17.92	15.72	88
17507	Rgco	4.39	0.04	0.00	3.04	1.7	26	35	56	9	Fr.L.	9.60	5.76	3.15	0.14	0.05	0.50	9.60	9.10	95
17508	CNANC1	4.18	0.02	0.00	4.61	2.1	70	55	28	17	Fr.A.	21.12	1.13	0.37	0.24	0.03	1.50	3.26	1.76	8
17509	CNHRZ1	4.69	0.07	0.00	3.79	2.5	171	61	28	11	Fr.A.	16.32	2.62	0.35	0.22	0.03	0.20	5.57	5.37	33
17510	SJDRZ2	4.21	0.08	0.00	4.54	2.3	99	69	20	11	Fr.A.	21.60	1.08	0.25	0.25	0.03	3.80	5.60	1.80	8

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Lab	Número de Muestra Claves	N %
17506	LQDDZ1	0.16
17507	Rgco	0.20
17508	CNANC1	0.22
17509	CNHRZ1	0.24
17510	SJDRZ2	0.25



Dr. Sady García Bendeza
 Jefe del Laboratorio

Informe de laboratorio del año 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : MINERA YANACOCHA S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : CAJAMARCA, BAÑOS DEL INCA, ENCAÑADA
 Referencia : H.R. 46752-126C-15

Fact.: 24978

Provincia : CAJAMARCA
 Predio :
 Fecha : 13/07/15

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
10935	YAPZ1	4.77	0.10	0.00	5.16	3.91	53	60	26	14	Fr.A.	14.13	1.41	0.29	0.25	0.09	1.10	4.60	5.51	48
10936	YADDZ1	4.98	0.07	0.00	5.31	2.7	83	62	27	11	Fr.A.	19.46	1.69	0.24	0.28	0.08	2.10	2.81	2.11	18
10937	Mmco	4.85	0.26	0.00	6.90	2.9	80	67	24	9	Fr.A.	21.92	7.05	0.38	0.35	0.01	0.70	4.60	7.90	36
10938	MMDDZ3	5.60	0.06	0.00	4.83	2.7	44	58	31	11	Fr.A.	19.36	2.01	0.31	0.19	0.05	0.30	4.10	2.80	25
10939	RGco	4.55	0.04	0.00	6.27	12.8	48	55	36	9	Fr.A.	15.52	0.82	0.18	0.19	0.11	0.60	8.65	1.31	8
10940	SJDSZ3	4.58	0.04	0.00	6.90	3.4	101	69	22	9	Fr.A.	22.72	1.51	0.28	0.34	0.11	7.20	9.44	2.24	10
10941	CACCZ1	4.77	0.05	0.00	6.27	2.9	89	73	20	7	Fr.A.	18.24	1.78	0.28	0.42	0.14	3.40	6.72	2.62	6
10942	SJDRZ2	4.58	0.08	0.00	5.40	2.4	74	65	21	14	Fr.A.	21.70	1.45	0.30	0.26	0.06	4.30	7.59	2.39	12
10943	SJANC3	4.78	0.05	0.00	21.73	6.4	178	69	24	11	Fr.A.	34.72	0.91	0.40	0.51	0.13	4.90	6.85	1.95	6
10944	CNHRZ1	4.75	0.08	0.00	6.33	2.71	65	61	26	13	Fr.A.	16.34	2.72	0.32	0.28	0.09	2.60	4.20	3.10	22
10945	CNANC1	4.65	0.03	0.00	11.03	6.2	104	69	24	7	Fr.A.	28.80	0.88	0.30	0.37	0.14	4.60	6.29	1.69	29
10946	LQarN	4.56	0.14	0.00	6.32	2.9	91	60	24	16	Fr.A.	19.86	2.01	0.32	0.32	0.10	2.40	8.65	5.55	21

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso


 Dr. Sady García Bendeza
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

0197

Informe de laboratorio del año 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : MINERA YANACOCHA S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : CAJAMARCA, BAÑOS DEL INCA, ENCAÑADA
 Referencia : H.R. 55659-131C-16

Fact.: 36576

Provincia : CAJAMARCA
 Predio :
 Fecha : 14/09/16

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
11635	MQTNZ1	5.19	0.07	0.30	4.65	2.9	45	55	28	17	Fr.A.	14.40	4.78	0.37	0.24	0.13	0.40	5.91	5.51	38
11636	Mmar	4.55	0.07	0.00	4.14	2.8	43	63	28	9	Fr.A.	14.08	1.54	0.23	0.23	0.10	0.70	2.81	2.11	15
11637	Mmco	4.85	0.26	0.00	6.90	2.9	80	67	24	9	Fr.A.	21.92	7.05	0.38	0.35	0.11	0.70	8.60	7.90	36
11638	MMDDZ3	4.55	0.07	0.00	5.14	2.8	43	54	32	14	Fr.A.	22.81	2.24	0.39	0.18	0.06	1.00	4.10	2.80	15
11639	RGco	4.55	0.04	0.00	6.27	12.8	48	55	36	9	Fr.A.	15.52	0.82	0.18	0.19	0.11	0.60	1.91	1.31	8
11640	SJDSZ3	4.58	0.04	0.00	6.90	3.4	101	69	22	9	Fr.A.	22.72	1.51	0.28	0.34	0.11	7.20	9.44	2.24	10
11641	CACCZ1	4.77	0.05	0.00	6.27	2.9	89	73	20	7	Fr.A.	18.24	1.78	0.28	0.42	0.14	3.40	6.02	2.62	14
11642	SJDRZ2	4.66	0.06	0.00	7.28	2.4	76	71	20	9	Fr.A.	19.68	1.67	0.28	0.29	0.11	5.20	7.59	2.39	12
11643	SJANC1	4.78	0.05	0.00	21.73	6.4	178	Suelo Orgánico				34.72	0.91	0.40	0.51	0.13	4.90	6.85	1.95	6
11644	CNHRZ1	4.70	0.06	0.00	6.10	2.1	79	61	30	9	Fr.A.	13.92	2.36	0.37	0.28	0.10	1.10	4.20	3.10	22
11645	CNANC1	4.65	0.03	0.00	11.03	6.2	104	69	24	7	Fr.A.	28.80	0.88	0.30	0.37	0.14	4.60	6.29	1.69	6
11646	LQarUn	4.96	0.04	0.00	4.69	2.9	102	67	22	11	Fr.A.	24.00	4.43	0.60	0.41	0.11	3.10	8.65	5.55	23

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Sady García Bendeza
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : MINERA YANACOCHA S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : CAJAMARCA, BAÑOS DEL INCA, ENCAÑADA
 Referencia : H.R. 55659-131C-16

Fact.: 36576

Provincia : CAJAMARCA
 Predio :
 Fecha : 14/09/16

Número de Muestra Lab	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
11647	LQDPZ1	4.53	0.08	0.00	4.91	10.5	66	65	22	13	Fr.A.	18.24	1.79	0.30	0.26	0.10	3.00	5.44	2.44	13
11648	LADDZ1	4.56	0.08	0.00	5.60	3.9	70	65	24	11	Fr.A.	18.72	1.71	0.25	0.78	0.10	2.10	4.94	2.84	15
11649	YAAN1	4.65	0.05	0.00	15.35	3.8	100	69	26	5	Fr.A.	30.08	1.76	0.48	0.38	0.12	5.60	8.34	2.74	9
11650	LQarN	4.47	0.11	0.00	5.91	3.2	117	67	22	11	Fr.A.	18.52	2.65	0.32	0.35	0.11	2.50	5.93	3.43	18
11651	YAPZ1	4.55	0.09	0.00	6.31	2.9	77	58	27	15	Fr.A.	16.64	1.86	0.23	0.28	0.10	1.10	3.57	2.47	15
11652	YADDZ1	4.57	0.06	0.00	6.14	2.7	89	57	28	15	Fr.A.	19.52	1.69	0.23	0.29	0.09	1.50	3.80	2.30	12
11653	LQarPach	4.62	0.06	0.00	8.96	3.4	96	61	32	7	Fr.A.	21.28	2.17	0.30	0.36	0.11	3.40	6.34	2.94	14
11654	CNarPit	4.48	0.35	0.00	5.07	9.3	102	61	24	15	Fr.A.	16.96	2.93	0.42	0.36	0.12	1.10	4.93	3.83	23
11655	CAar7A	4.56	0.30	0.00	3.76	3.6	90	57	26	17	Fr.A.	18.72	6.06	0.58	0.31	0.10	1.60	8.65	7.05	38
11656	CAar7	4.30	0.28	0.00	4.43	4.2	134	53	28	19	Fr.A.	21.76	5.61	0.72	0.43	0.11	5.10	11.97	6.87	32
11657	RGarCh	4.15	0.12	0.00	7.15	3.9	49	61	28	11	Fr.A.	16.32	1.21	0.22	0.17	0.13	1.30	3.03	1.73	11
11658	LQarPach-md	4.42	0.04	0.00	8.59	5.4	108	71	20	9	Fr.A.	22.40	1.13	0.22	0.34	0.10	5.60	7.39	1.79	8

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Dr. Sady García Bendejú
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : MINERA YANACOCCHA S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : CAJAMARCA, BAÑOS DEL INCA, ENCAÑADA
 Referencia : H.R. 55659-131C-16

Fact: 36576

Provincia : CAJAMARCA
 Predio :
 Fecha : 14/09/16

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
11659	YAAN1-md	4.71	0.02	0.00	8.54	2.8	81	67	24	9	Fr.A.	24.32	1.37	0.23	0.32	0.12	7.50	9.55	2.05	8
11660	LQarUn-md	4.10	0.12	0.00	5.02	3.0	101	57	24	19	Fr.A.	18.56	1.03	0.68	0.34	0.12	5.10	7.28	2.18	12
11661	CAar7A-md	4.87	0.26	0.00	3.36	3.8	109	57	24	19	Fr.A.	19.52	8.04	1.27	0.38	0.11	0.90	10.70	9.80	50
11662	CAar7-md	4.37	0.41	0.00	3.76	12.6	116	61	24	15	Fr.A.	23.04	7.35	0.27	0.44	0.18	4.10	12.34	8.24	36
11663	Rgco-md	4.51	0.05	0.00	9.19	3.2	60	51	42	7	Fr.	17.60	1.03	3.43	0.23	0.15	0.80	5.64	4.84	27

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso


 Sady García Bendezu
 Jefe del Laboratorio

Informe de laboratorio del año 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES S.A.C.

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 59082-074SC-17

Fact.: 812

Provincia : CAJAMARCA

Predio :

Fecha : 20/06/17

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables				Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺				Al ⁺³ + H ⁺
4773	LQDPZ1	4.56	0.07	0.00	4.14	8.5	66	41	28	31	Fr.Ar.	16.32	1.24	0.38	0.15	0.08	2.10	3.95	1.85	11
4774	CNarBFE	4.15	0.25	0.00	4.31	2.3	68	37	30	33	Fr.Ar.	25.92	2.25	0.55	0.21	0.08	6.30	9.39	3.09	12
4775	CNANC1	4.40	0.05	0.00	8.37	3.2	60	35	32	33	Fr.Ar.	21.60	0.84	0.48	0.15	0.08	2.90	4.46	1.56	7
4776	CNHRZ1	4.58	0.05	0.00	5.90	2.9	56	47	30	23	Fr.	20.80	1.60	0.47	0.20	0.10	3.90	6.36	2.46	12
4777	CnarPit	4.63	0.12	0.00	1.05	1.8	73	41	32	27	Fr.Ar.	21.44	2.38	0.53	0.21	0.08	2.10	5.30	3.20	15
4778	CNarDD	4.40	0.12	0.00	5.91	2.9	61	47	30	23	Fr.	21.76	1.50	0.47	0.19	0.11	2.30	4.57	2.27	10
4779	CNarBFO	4.21	0.30	0.00	7.26	3.2	66	41	30	29	Fr.Ar.	22.40	2.01	0.53	0.22	0.10	3.60	6.45	2.85	13
4780	MMANC1	4.01	0.09	0.00	12.61	9.2	80	53	36	11	Fr.A.	32.80	0.68	0.43	0.24	0.07	8.00	9.42	1.42	4
4781	MMDDZ3	4.60	0.06	0.00	4.78	2.4	54	53	32	15	Fr.A.	25.28	2.33	0.47	0.17	0.07	3.70	6.74	3.04	12

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Bendejé
 Jefe del Laboratorio

0244



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES S.A.C.

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 59082-074SC-17

Fact.: 812

Provincia : CAJAMARCA

Predio :

Fecha : 20/06/17

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables				Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	
								Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺				Al ⁺³ + H ⁺
								%	%	%			meq/100g							
4782	MQTNZ1	4.30	0.07	0.00	5.01	10.3	53	47	36	17	Fr.	17.60	0.90	0.35	0.15	0.08	3.30	4.78	1.48	8
4783	MMarHR	3.79	0.49	0.00	6.62	4.9	49	45	36	19	Fr.	24.80	2.70	0.42	0.16	0.08	5.50	8.85	3.35	14
4784	CAar7A	4.70	0.18	0.00	5.19	2.6	78	45	28	27	Fr.Ar.	22.08	5.35	0.82	0.24	0.09	1.50	7.99	6.49	29
4785	SJANC1	4.56	0.06	0.00	14.62	5.3	89	55	34	11	Fr.A.	38.88	1.03	0.50	0.25	0.09	5.20	7.07	1.87	5
4786	SJDRZ2	4.40	0.07	0.00	7.09	2.2	102	51	30	19	Fr.	26.20	1.26	0.30	0.28	0.09	3.90	5.94	2.04	8
4787	SJDSZ3	4.33	0.06	0.00	8.00	2.1	81	45	30	25	Fr.	30.40	1.12	0.42	0.25	0.09	4.00	5.87	1.87	6
4788	RGco	4.20	0.13	0.00	4.71	2.8	34	43	46	11	Fr.	11.20	0.95	0.42	0.11	0.06	0.70	2.24	1.54	14
4789	CACCZ1	4.15	0.10	0.00	5.71	3.8	67	45	32	23	Fr.	20.80	0.83	0.37	0.20	0.07	2.40	3.87	1.47	7

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Saúl García Bendezú
 Jefe del Laboratorio

0245



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES S.A.C.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : CAJAMARCA
 Referencia : H.R. 58950-071SC-17

Fact.: 771

Provincia : CAJAMARCA
 Predio : MINERA YANACOCCHA
 Fecha : 13/06/17

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
4223	YANN 1	4.52	0.25	0.00	17.29	3.0	124	55	32	13	Fr.A.	41.60	1.25	0.72	0.45	0.12	5.30	7.83	2.53	6
4224	YADDZ1	4.16	0.05	0.00	6.20	3.5	90	47	32	21	Fr.	20.03	1.70	0.45	0.37	0.14	4.70	7.36	2.66	6
4225	YAPZ1	4.76	0.09	0.00	4.91	4.7	54	51	32	17	Fr.A.	15.68	2.44	0.33	0.24	0.13	1.20	4.34	3.14	20
4226	LQarN	4.30	0.12	0.00	7.39	3.1	116	53	28	19	Fr.A.	19.68	2.35	0.30	0.34	0.12	2.50	4.59	2.09	11
4227	LQarUn	4.79	0.06	0.00	5.75	3.2	69	37	38	25	Fr.	24.96	3.41	0.82	0.29	0.13	1.70	6.35	4.65	19
4228	LQDDZ1	4.44	0.08	0.00	5.19	3.4	82	49	30	21	Fr.	17.12	0.95	0.40	0.32	0.17	2.50	4.33	1.83	11
4229	LQarPach	5.36	0.13	0.00	1.55	6.1	71	73	22	5	Fr.A.	5.12	1.88	0.37	0.24	0.10	0.10	2.69	2.59	51
4230	CAar7	4.07	0.26	0.00	5.60	3.5	122	47	30	23	Fr.	21.76	3.14	0.47	0.44	0.13	6.90	11.07	4.17	19

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



J. S. García Bendezu
 Dr. Sady García Bendezu
 Jefe del Laboratorio

0246

Informe de laboratorio del año 2018

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
Distrito : LA ENCAÑADA
Referencia : H.R. 63679-071C-18

Fact.: 2967

Provincia : CAJAMARCA
Proyecto : MINERO YANACOCHA
Fecha : 05/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7394	YADDZ1	4.85	0.05	0.00	5.24	2.4	109	47	30	23	Fr.	26.08	1.75	0.43	0.43	0.10	5.00	7.65	2.65	10
7395	YAPZ1	4.03	0.06	0.00	5.20	3.9	76	57	24	19	Fr.A.	19.92	2.31	0.20	0.25	0.03	4.50	5.72	1.22	6
7396	LQarN	4.80	0.09	0.00	7.13	2.9	162	57	24	19	Fr.A.	20.16	2.45	0.32	0.32	0.08	1.30	5.17	3.87	19
7397	LQarUn	4.06	0.12	0.00	5.24	2.0	146	41	30	29	Fr.Ar.	20.32	1.35	0.25	0.27	0.03	4.90	6.81	1.91	9
7398	LQDPZ1	4.81	0.04	0.00	4.83	3.1	75	41	30	29	Fr.Ar.	23.36	4.47	0.45	0.15	0.03	1.70	6.81	5.11	22

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab	Claves	

7394	YADDZ1	0.42
7395	YAPZ1	0.25
7396	LQarN	0.29
7397	LQarUn	0.24
7398	LQDPZ1	0.24

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

- 3 -

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : LA ENCAÑADA
 Referencia : H.R. 63679-071C-18

Fact.: 2967

Provincia : CAJAMARCA
 Proyecto : MINERO YANACOCHA
 Fecha : 05/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7404	CNANC1	4.00	0.05	0.00	8.87	3.1	54	59	12	29	Fr.Ar.A.	18.88	0.79	0.23	0.13	0.04	2.20	3.40	1.20	6
7405	CNHRZ1	4.53	0.06	0.00	4.80	3.1	97	46	30	24	Fr.	20.16	1.97	0.28	0.24	0.03	2.20	4.73	2.53	13
7406	CNarPit	4.63	0.08	0.00	4.83	3.1	65	51	36	13	Fr.	12.48	2.59	0.40	0.16	0.03	0.50	3.68	3.18	25
7407	CNarDD	4.91	0.04	0.00	4.33	3.9	95	47	34	19	Fr.	15.04	5.29	0.50	0.25	0.03	0.40	6.46	6.06	40
7408	CnarBFE	4.80	0.03	0.00	6.38	13.4	56	53	28	19	Fr.A.	16.80	2.31	0.35	0.16	0.03	0.70	3.55	2.85	17

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab	Claves	

7404	CNANC1	0.42
7405	CNHRZ1	0.22
7406	CNarPit	0.19
7407	CNarDD	0.22
7408	CnarBFE	0.26

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

- 4 -

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : LA ENCAÑADA
 Referencia : H.R. 63679-071C-18

Fact.: 2967

Provincia : CAJAMARCA
 Proyecto : MINERO YANACOCHA
 Fecha : 05/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7409	CnarBFO	4.20	0.15	0.00	5.56	2.4	67	45	26	29	Fr.Ar.	22.08	2.21	0.35	0.18	0.03	1.70	4.48	2.78	13
7410	CnarHRF	4.13	0.09	0.00	10.28	2.2	93	71	14	15	Fr.A.	39.20	2.56	0.40	0.25	0.04	9.70	12.95	3.25	8
7411	MMANC1	4.90	0.04	0.00	13.72	3.1	84	61	28	11	Fr.A.	46.72	11.10	1.12	0.31	0.08	2.10	14.71	12.61	27
7412	MMDDZ3	5.00	0.04	0.00	5.09	2.7	58	49	24	27	Fr.Ar.A.	21.76	2.59	0.25	0.18	0.03	1.70	4.73	3.03	14
7413	MQTNZ1	4.82	0.03	0.00	5.39	3.9	40	61	22	17	Fr.A.	19.36	1.75	0.23	0.12	0.03	2.40	4.53	2.13	11

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab	Claves	

7409	CnarBFO	0.24
7410	CnarHRF	0.47
7411	MMANC1	0.56
7412	MMDDZ3	0.22
7413	MQTNZ1	0.24

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

- 6 -

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JJR SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Departamento : CAJAMARCA
 Distrito : LA ENCAÑADA
 Referencia : H.R. 63679-071C-18

Fact.: 2967

Provincia : CAJAMARCA
 Proyecto : MINERO YANACOCHA
 Fecha : 05/06/18

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7419	SJDRZ2	4.42	0.05	0.00	5.87	3.9	95	47	26	27	Fr.Ar.A.	26.40	1.57	0.28	0.26	0.04	4.50	6.66	2.16	8
7420	SJDSZ3	4.57	0.04	0.00	7.74	3.6	85	67	18	15	Fr.A.	29.28	0.86	0.23	0.24	0.08	6.50	7.91	1.41	5
7421	RGco	3.93	0.10	0.00	9.71	3.3	31	43	34	23	Fr.	32.80	0.54	0.18	0.10	0.04	6.40	7.26	0.86	3
7422	CACCZ1	4.40	0.06	0.00	10.28	2.7	67	61	28	11	Fr.A.	30.88	1.11	0.30	0.22	0.03	5.80	7.45	1.65	5
7423	RGarCh	4.87	0.20	0.00	4.97	29.9	37	53	24	23	Fr.Ar.A.	15.20	1.20	0.20	0.07	0.03	0.70	2.20	1.50	10

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		N %
Lab	Claves	

7419	SJDRZ2	0.27
7420	SJDSZ3	0.33
7421	RGco	0.48
7422	CACCZ1	0.42
7423	RGarCh	0.20

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Informe de laboratorio del año 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 68808-078C-19

Fact: 5153

Provincia :

Predio :

Fecha : 25/06/19

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
5293	YAPZ1	4.05	0.08	0.00	6.40	3.7	77	48	25	27	Fr.Ar.A.	19.20	2.29	0.36	0.27	0.14	3.10	9.41	2.06	4
5294	YAar	4.13	0.10	0.00	6.58	4.0	125	50	24	26	Fr.Ar.A.	27.20	1.64	0.27	0.29	0.12	4.50	6.82	2.32	9
5295	YADDZ1	4.13	0.06	0.00	7.54	3.6	105	46	26	28	Fr.Ar.A.	27.20	1.75	0.50	0.32	0.14	1.80	4.47	1.47	8
5296	LQarN	3.79	0.11	0.00	6.12	3.9	154	50	22	28	Fr.Ar.A.	21.60	2.42	0.25	0.37	0.11	4.80	6.61	1.81	8
5297	LQarUn	4.59	0.11	0.00	6.71	5.3	126	54	24	22	Fr.Ar.A.	27.20	4.37	0.50	0.32	0.14	1.90	7.23	5.33	20
5298	Lqar-KM37	4.34	0.08	0.00	4.62	6.8	108	48	26	26	Fr.Ar.A.	18.24	1.83	0.27	0.24	0.12	2.60	5.05	2.45	13
5299	LQar	4.38	0.10	0.00	5.87	3.7	109	44	30	26	Fr.	21.60	1.91	0.25	0.25	0.11	2.50	5.02	2.52	12
5300	LQarPach	4.00	0.14	0.00	7.36	3.9	86	50	28	22	Fr.	24.00	1.16	0.20	0.21	0.10	4.10	5.77	1.67	7
5301	CNco	4.05	0.06	0.00	12.69	4.0	164	50	28	22	Fr.	36.80	0.79	0.33	0.39	0.11	5.30	6.93	1.63	4
5302	CNar	4.30	0.08	0.00	4.83	6.0	113	48	28	24	Fr.	19.52	1.38	0.33	0.32	0.13	2.55	4.72	2.17	11

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Bendeza
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 68808-078C-19

Fact.: 5153

Provincia :

Predio :

Fecha : 25/06/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
5303	CNarPit	4.00	0.16	0.00	4.74	2.6	96	46	22	32	Fr.Ar.A.	22.40	1.67	0.28	0.33	0.14	5.35	7.77	2.42	11
5304	CNHRZ1	4.56	0.05	0.00	7.01	3.0	95	45	30	25	Fr.	19.52	2.10	0.36	0.31	0.09	3.10	5.07	1.77	9
5305	CNarBFE	4.22	0.13	0.00	4.97	7.0	92	46	26	28	Fr.Ar.A.	16.64	1.52	0.25	0.25	0.12	2.75	4.89	2.14	13
5306	CNarBFO	4.26	0.08	0.00	6.45	3.9	96	48	22	30	Fr.Ar.A.	23.52	1.53	0.32	0.26	0.13	4.70	6.94	2.24	10
5307	MMar	4.00	0.31	0.00	5.52	3.8	105	52	22	26	Fr.Ar.A.	21.28	1.58	0.27	0.32	0.22	3.80	6.18	2.38	11
5308	MMarT	4.13	0.26	0.00	4.83	4.0	94	56	22	22	Fr.Ar.A.	18.40	2.52	0.22	0.26	0.12	3.10	6.21	3.11	17
5309	MMarHR	4.42	0.16	0.00	6.26	3.7	123	58	22	20	Fr.Ar.A.	22.40	3.24	0.27	0.30	0.12	2.40	6.33	3.93	18
5310	MMDDZ3	5.03	0.04	0.00	5.52	3.8	59	48	25	27	Fr.Ar.A.	21.28	2.46	0.49	0.19	0.09	1.80	4.40	2.10	11
5311	CAar7A	4.25	0.18	0.00	6.18	4.0	99	46	28	26	Fr.	19.20	3.74	0.38	0.23	0.12	1.90	6.37	4.47	23
5312	CAar7	4.12	0.30	0.00	5.57	2.9	121	52	26	22	Fr.Ar.A.	25.92	5.08	0.67	0.36	0.16	4.50	10.77	6.27	24

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sady García Bendezu
 Dr. Sady García Bendezu
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

Departamento : CAJAMARCA

Distrito :

Referencia : H.R. 68808-078C-19

Fact.: 5153

Provincia :

Predio :

Fecha : 25/06/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
5313	SJco	4.38	0.04	0.00	16.55	4.0	181	64	24	12	Fr.A.	41.60	0.67	0.28	0.48	0.14	4.85	6.42	1.57	4
5314	SJDRZ2	4.57	0.07	0.00	7.43	4.0	109	46	26	28	Fr.Ar.A.	26.88	1.58	0.31	0.24	0.05	3.90	7.49	2.29	9
5315	SJar-Sur	4.21	0.07	0.00	6.95	3.7	146	54	22	24	Fr.Ar.A.	31.52	1.64	0.27	0.38	0.11	6.75	9.15	2.40	8
5316	RGco	4.04	0.07	0.00	5.08	3.9	69	38	44	18	Fr.	12.80	0.64	0.18	0.17	0.11	1.80	2.91	1.11	9
5317	RGarCh	4.16	0.08	0.00	7.13	4.0	51	42	34	24	Fr.	17.60	0.90	0.20	0.14	0.11	1.70	3.06	1.36	8
5318	LQarS	4.12	0.22	0.00	5.77	6.4	62	48	26	26	Fr.Ar.A.	20.48	1.10	0.20	0.18	0.13	2.25	3.87	1.62	8
5319	LQarZA	4.29	0.28	0.00	5.75	14.2	76	46	26	28	Fr.Ar.A.	22.72	2.33	0.27	0.26	0.11	1.40	4.37	2.97	13
5320	CNarHRF	4.17	0.14	0.00	8.18	4.0	88	54	22	24	Fr.Ar.A.	25.28	3.45	0.25	0.24	0.12	3.70	7.76	4.06	16

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Bendezu
 Jefe del Laboratorio

Anexo 2. Compromiso de confidencialidad para elaboración de la tesis



COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD, INFORMACIÓN PARA ELABORACIÓN DE TESIS

Yo Henry Omar Llico Sandoval, con DNI Nro 72944474, en adelante **EL DECLARANTE**, con domiciliado en el *jr. 15 de agosto 201 Los Baños del Inca, Cajamarca*, declara bajo juramento que:

PRIMERO: OBLIGACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD

- a) Con el propósito de elaborar su proyecto de tesis en Minera Yanacocha S.R.L. (en adelante Newmont Yanacocha), **EL DECLARANTE** tendrá acceso a información y material exclusivo de Newmont Yanacocha. En virtud del presente documento, **EL DECLARANTE** reconoce el especial interés de Newmont Yanacocha de mantener la confidencialidad de dicha información.
- b) Por el presente documento, **EL DECLARANTE** se compromete a guardar total y absoluta reserva sobre toda la información correspondiente o vinculada a Newmont Yanacocha, sean o no de carácter confidencial, de las cuales haya tenido conocimiento, directa e indirectamente, con o sin ocasión de la elaboración de proyecto de tesis en Newmont Yanacocha.
- c) **EL DECLARANTE** se obliga a no divulgar ni usar para fines personales la información (documentos, expedientes, escritos, artículos y demás materiales) que, con objeto de la relación de trabajo, le fue suministrada
- d) **EL DECLARANTE** no proporcionar a terceras personas, verbalmente o por escrito, directa o indirectamente, información alguna de las actividades y/o procesos de cualquier clase que fuesen observadas en la empresa durante la duración del proyecto
- e) No se utilizará completa o parcialmente ninguno de los productos (documentos, metodología, procesos y demás) relacionados con el proyecto. **EL DECLARANTE** asume que toda información y el resultado del proyecto serán de uso exclusivamente académico
- f) En general, la obligación de confidencialidad incluye toda información que no sea de dominio público, es decir, que esté en posesión o sea de propiedad de Newmont Yanacocha, o que utilice en la realización de su proyecto de tesis
- g) En caso que **EL DECLARANTE** fuera legal o judicialmente requerido para revelar cualquier tipo de información sobre la cual exista obligación de confidencialidad, se compromete a notificar de esta circunstancia a Newmont Yanacocha dentro de las 24 horas de recibido dicho requerimiento, para que ésta pueda tomar las medidas necesarias para cautelar su derecho a la privacidad.
- h) La presente obligación de confidencialidad tiene carácter indefinido
- i) El incumplimiento de la presente obligación de confidencialidad faculta a Newmont Yanacocha a interponer las acciones legales, judiciales o administrativas a que hubiere lugar contra **EL DECLARANTE**, así como a recibir de éste una reparación equitativa por los daños y perjuicios ocasionados a Newmont Yanacocha



- j) **EL DECLARANTE**, autoriza a MYSRL a utilizar y/o divulgar dichos estudios, investigaciones, informes, documentos o similares, que hubiese elaborado sobre la base de la información proporcionada Newmont Yanacocha, y a defender los derechos morales en cuanto sea necesario para su explotación

Y para que conste, suscribo el presente documento en señal de conformidad en la ciudad de *Cajamarca* el día *04 del mes de diciembre del 2023*.

NOMBRE : HENRY OMAR LLICO SANDOVAL

DNI : 72944474

FIRMA :

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Henry Omar Llico Sandoval", written in a cursive style.

Anexo 3. Solicitud de apoyo para la realización de la tesis



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
 Telefax: 076- 555307 – E-mail: eapiac@unc.edu.pe



SOLICITO: APOYO PARA DESARROLLO DE TESIS DE INVESTIGACIÓN

SEÑOR(A):

NAHIL HIRSH
GERENTE SENIOR POLÍTICAS PÚBLICAS – NEWMONT

Yo, **Mag. Ing. Edgar Darwin Diaz Mori**, Director de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca, ante usted con el debido respeto expongo:

Que, teniendo la necesidad de continuar con el trámite para la obtención del Título Profesional, solicito a Usted el APOYO Y FACILIDADES NECESARIAS para que el Bach. Henry Omar Llico Sandoval egresado de la escuela académico profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca, pueda desarrollar la Tesis de Investigación en Minera Yanacocha en el área de Cierre de Minas, la cual lleva por título: “ **Dinámica de las propiedades Físico - Químicas del suelo en el cierre de minas del área de influencia de la minera Yanacocha, Caj 2024** ”, para ello se cuenta como **Asesor** de Tesis al **Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia**.

Por lo expuesto, ruego a usted acceder a lo solicitado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

 Mag. Ing. Edgar Darwin Diaz Mori
 DIRECTOR

Anexo 4. Panel fotográfico





Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA
ASESOR

HENRY OMAR LLICO SANDOVAL
TESISTA