

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO EN CIERRES PROGRESIVOS DE
MINA A TAJO ABIERTO DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA COOPERATIVA**

MINERA LIMATA LIMITADA

PRESENTADA POR:

GIOVANNI FERNANDO SALAMANCA CÁCERES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO EN CIERRES PROGRESIVOS DE
MINA A TAJO ABIERTO DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA COOPERATIVA
MINERA LIMATA LIMITADA**

PRESENTADO POR:

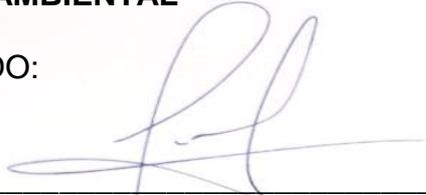
PGIOVANNI FERNANDO SALAMANCA CÁCERES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE :



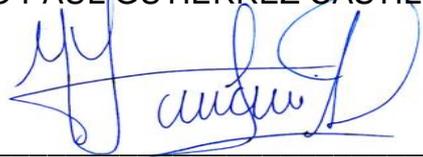
Dr. LUIS ALBERTO SUÑO QUISPE

PRIMER MIEMBRO :



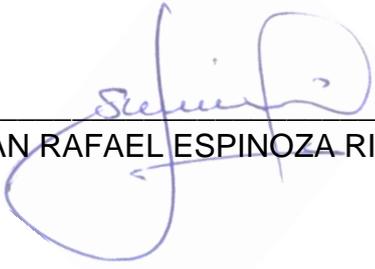
Dr. SERGIO PAUL GUTIERREZ CASTILLO

SEGUNDO MIEMBRO :



M. Sc. YESICA MAGNOLIA MAMANI ARPASI

ASESOR DE TESIS :



M. Sc. GERMÁN RAFAEL ESPINOZA RIVAS

Área: Ingeniería y Tecnología

Disciplina: Minería y procesamiento de minerales

Especialidad: Contaminación y mitigación ambiental minero-metalúrgica

Puno, 09 de diciembre del 2020

DEDICATORIA

A mí familia por su abnegada y solidaria labor de apoyarme durante toda mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A la Cooperativa Minera Limata Limitada representada por su presidente del concejo de administración quien me brindó todas las facilidades inclusive en el contexto de pandemia del Sars-Cov-.2 y por haberme permitido aportar en su operación minera sobre lo logrado con la presente investigación.

A mi asesor M Sc. German Espinoza Rivas, quien fue parte vital en la consolidación de esta tesis.

A la Universidad Privada San Carlos por haberme formado profesionalmente y por permitirme demostrar que el conocimiento adquirido en mi alma mater no debe ser puesto en tela de juicio.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. ANTECEDENTES.....	5
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	5
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	8
1.3. OBJETIVOS.....	10
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1.1. EXPLOTACIÓN MINERAL ALUVIAL.....	11
2.1.2. CIERRE DE MINA.....	12

2.1.3.	EL SUELO.....	14
2.1.4.	REHABILITACIÓN DE SUELOS MINEROS.....	15
2.1.5.	INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO.....	21
2.1.6.	MUESTREO DE SUELOS.....	23
2.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	24
2.3.	HIPÓTESIS.....	28
2.3.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	28
2.3.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	ZONA DE ESTUDIO.....	30
3.2.	TAMAÑO DE MUESTRA.....	31
3.3.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	32
3.3.1.	SELECCIÓN DEL SITIO NO PERTURBADO.....	32
3.3.2.	MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN DEL SUELO Y MANEJO DE MUESTRAS	33
3.3.3.	ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	34
3.3.4.	ESTUDIO DE CRONOSECUENCIA.....	36
3.3.5.	FOTOGRAMETRÍA CON UAS (SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS)	36
3.4.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	36
3.5.	MÉTODO ESTADÍSTICO.....	37

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.	SELECCIÓN DEL SITIO NO PERTURBADO.....	39
4.2.	RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOS.....	41
4.2.1.	PROFUNDIDAD DEL HORIZONTE A.....	41
4.2.3.	TEXTURA.....	43

4.2.4.	ESTRUCTURA.....	47
4.3.	RESULTADOS DE PARÁMETROS QUÍMICOS.....	49
4.3.3.	PH.....	49
4.3.4.	NITROGENO TOTAL (N).....	50
4.3.5.	FÓSFORO (P).....	52
4.3.6.	POTASIO (K).....	53
4.3.7.	SALINIDAD (CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA).....	55
4.3.8.	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.....	56
4.4.	RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS.....	58
4.4.1.	MATERIA ORGÁNICA.....	58
4.4.2.	TIPO DE COBERTURA VEGETAL.....	59
4.4.3.	PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL.....	61
4.5.	RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS INORGÁNICOS.....	64
4.5.1.	ARSÉNICO	64
4.5.2.	BARIO	66
4.5.3.	CADMIO	68
4.5.4.	CROMO.....	70
4.5.5.	PLOMO	71
4.5.6.	MERCURIO.....	73
4.5.7.	CIANURO LIBRE.....	74
4.6.	SELECCIÓN DE INDICADORES	75
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES.....	80
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Número de muestras significativas por área estudiada en las 04 áreas objeto de estudio.....	39
Figura 2: Dendograma de la similaridad de Sorensen de las 04 áreas estudiadas.....	40
Figura 3: Cronosecuencia de la profundidad del Horizonte A de las 03 áreas estudiadas.	41
Figura 4: Cronosecuencia del Porcentaje de Arena de las 03 áreas estudiadas.....	43
Figura 5: Cronosecuencia del Porcentaje de Arcilla de las 03 áreas estudiadas.....	43
Figura 6: Cronosecuencia del Porcentaje de Limo de las 03 áreas estudiadas.....	44
Figura 7: Cuadro comparativo de estructura entre las 03 áreas estudiadas.....	48
Figura 8: Cronosecuencia de pH de las 03 áreas estudiadas.....	49
Figura 9: Cronosecuencia del Porcentaje de Nitrógeno total de las 03 áreas estudiadas.	50
Figura 10: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al P.....	52
Figura 11: Cronosecuencia de áreas estudiadas respecto al K.....	53
Figura 12: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto a la conductividad eléctrica.....	55
Figura 13: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto a la Capacidad de Intercambio Catiónico.....	56

Figura 14: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de materia orgánica.....	58
Figura 15: Fotos comparativas del tipo de cobertura vegetal de las 03 áreas estudiadas.	60
Figura 16: Porcentaje de cobertura vegetal del CM_2014.....	61
Figura 17: Porcentaje de cobertura vegetal del CM_2018.....	62
Figura 18: Porcentaje de cobertura vegetal para NP.....	62
Figura 19: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Arsénico.....	64
Figura 20: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Bario.....	66
Figura 21: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Cadmio.....	68
Figura 22: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Cromo.....	70
Figura 23: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Plomo.....	71
Figura 24: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Mercurio.....	73
Figura 25: Circulo de correlaciones de 21 parámetros analizados.....	76
Figura 26: componentes principales de las muestras compuestas de las áreas estudiadas.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Indicadores físicos, químicos y biológicos respecto a las condiciones, funciones y uso del suelo por autor	22
Tabla 2: Características medibles de la estructura del suelo.....	25
Tabla 3: Identificación de cierres progresivos de mina a tajo abierto objeto de estudio.....	31
Tabla 4: Cuadro resumen del tipo de análisis de cada parámetro objeto de estudio.....	35
Tabla 5: Descripción detallada de las variables independientes y dependiente.....	36
Tabla 6: Resultados del índice de similaridad de Sorensen entre las 04 áreas estudiadas.	40
Tabla 7: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a la profundidad del Horizonte A..	42
Tabla 8: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto a la profundidad del Horizonte A.....	42
Tabla 9: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a la Textura (% arena, % arcilla, % de limo).....	45
Tabla 10: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de Arena.	46
Tabla 11: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de Arcilla.	46
Tabla 12: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de Limo..	47

Tabla 13: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al pH.....49

Tabla 14: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al pH.....50

Tabla 15: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al N total.
.....51

Tabla 16: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al N total.....51

Tabla 17: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al P.....52

Tabla 18: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al P.....53

Tabla 19: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a K.....53

Tabla 20: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al K.....54

Tabla 21: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a Conductividad eléctrica.....55

Tabla 22: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto a la conductividad eléctrica.....56

Tabla 23: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a la CIC.....57

Tabla 24: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto a la CIC.....57

Tabla 25: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de materia orgánica.
.....58

Tabla 26: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de materia orgánica.....59

Tabla 27: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Arsénico.....	65
Tabla 28: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Arsénico.....	66
Tabla 29: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Bario.....	67
Tabla 30: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Bario.....	67
Tabla 31: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Cadmio.....	69
Tabla 32: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Cadmio.....	69
Tabla 33: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Cromo.....	70
Tabla 34: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Cromo.....	71
Tabla 35: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Plomo.....	72
Tabla 36: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Plomo.....	73
Tabla 37: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Mercurio.....	74
Tabla 38: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Mercurio.....	74
Tabla 39: Resultado del ACP de 21 variables de suelo objeto de estudio.....	76
Tabla 40: resultado de la interpretación de indicadores de los 6 parámetros.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Mapa de ubicación de las áreas objeto de estudio(etapa 01).....	88
Anexo 2: Mapa de ubicación de las áreas objeto de estudio(etapa 02).....	89
Anexo 3: Mapa de delimitación de transectos para la selección del sitio no perturbado..	90
Anexo 4: Mapa de muestreo de cierre progresivo de mina 2014	91
Anexo 5: Mapa de muestreo de cierre progresivo de mina 2018.....	92
Anexo 6: Mapa de muestreo del sitio no perturbado	93
Anexo 7: Mapa de porcentaje de cobertura vegetal del cierre progresivo de mina del 2014.....	94
Anexo 8: Mapas de porcentaje de cobertura vegetal del cierre progresivo de mina del 2018.....	95
Anexo 9: Mapas de porcentaje de cobertura vegetal del sitio no perturbado.....	96
Anexo 10: Informes de ensayo de laboratorio.....	97

RESUMEN

El trabajo se realizó entre el año 2019 y 2020, en cierres progresivos de mina y sitios no perturbados del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada en la jurisdicción del distrito de Ananea; el objetivo fue determinar indicadores de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto, mediante la comparación y determinación del comportamiento (cronosecuencia) de 21 parámetros de suelo (físicos, químicos, biológicos e inorgánicos). La metodología del estudio tuvo dos etapas: en una primera etapa, para la selección del sitio no perturbado, se contempló 04 áreas de muestreo: 02 de ellos fueron sitios no perturbados y los otros 02 corresponden a cierres progresivos de mina; en una segunda etapa, para el muestreo, análisis de laboratorio y cronosecuencia, se trabajó con 03 áreas objeto de estudio. La evaluación estadística; en la primera etapa para seleccionar el sitio no perturbado idóneo se determinó mediante el índice de número significativo de muestras y el “Índice De Similitud De Sorensen” o coeficiente de Dice; en la segunda etapa utilizando el análisis de componentes principales (ACP), se seleccionaron los indicadores de calidad de suelo de los cierres progresivos de mina. Complementariamente se determinaron el ANOVA de un factor y la prueba de Tukey para el estudio de cronosecuencia en las 03 áreas estudiadas. Estos contrastes sirvieron para complementar la información del ACP e interpretar la dinámica de los parámetros de los suelos estudiados. Se concluye que los indicadores de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada son 06 y engloban a parámetros Físicos, Químicos y biológicos estos son: la ESTRUCTURA EDÁFICA; la FERTILIDAD; PÉRDIDA DE CARBONO ORGÁNICO, REDUCCIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN HÍDRICA, EROSIÓN HÍDRICA y el PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL.

Palabras clave: cierre progresivo de mina, cronosecuencia, indicadores de calidad, sitio no perturbado, suelo.

ABSTRACT

Research work was carried out between 2019 and 2020, in closure progressive mine and undisturbed sites in geographical area of the Limata Limited Mining Cooperative in Ananea district; The objective was to determine quality soil indicators of the closure progressive of open pit mine, by comparing and predicting the behavior (chronosequence) of 21 soil parameters (physical, chemical, biological and inorganic). The study methodology had two stages: in a first stage, for the selection site undisturbed, 04 sampling areas were contemplated: 02 of them were undisturbed sites and other 02 to closure progressive mine; In a second stage, for sampling, laboratory analysis and chronosequence, we worked with 03 areas under study. Statistical evaluation; In the first stage to select ideal undisturbed site, the index of significant number of samples and the "Sorensen Similarity Index" or Dice coefficient were determined; in the second stage using principal component analysis (ACP) soil quality indicators were selected from closures progressive mine, In addition, ANOVA factor and test Tukey were determined study chronosequence in 03 areas studied. These contrasts served to complement the ACP information and interpret the parameters dynamics of the studied soils. It is concluded that the indicators quality soil closure progressive of open pit mine in the geographic scope of the Limata Limited Mining Cooperative are 06 and encompass the physical, chemical and biological parameters, these are: the EADAPHICAL STRUCTURE; FERTILITY; LOSS OF ORGANIC CARBON, REDUCTION OF THE WATER RETENTION CAPACITY, HYDRAULIC EROSION and the PERCENTAGE OF PLANT COVERAGE.

Keywords: chronosequence, progressive mine closure, quality indicators, soil, undisturbed site.

INTRODUCCIÓN

Las operaciones mineras hoy en día involucran al cierre de mina como una etapa más del proceso productivo de explotación de minerales (Gobierno de Australia, 2016); la Cooperativa Minera Limata Limitada, en su operación minera no es la excepción; actualmente viene desarrollando escenarios de cierre progresivo de mina en su ámbito geográfico desde el año 2014.

El escenario de cierre progresivo de mina, en la legislación peruana, se refiere a la rehabilitación de áreas degradadas por la explotación, paralelo a la operación; donde se busca lograr una estabilidad física, química y biológica a fin de reclamar el área en beneficio del medio ambiente (MINEM, 2006). Además, para determinar si el objetivo del cierre progresivo de mina cumplió con las expectativas, debe contemplar: monitoreos, mantenimientos e inspecciones de las áreas rehabilitadas (Guerrero-Almeida et al., 2014); considerando a aquellos parámetros que definen la calidad del suelo (Feng et al., 2019); actualmente la Cooperativa Minera Limata Limitada no efectúa tales actividades lo que acarrea en incertidumbre respecto a, si la calidad del suelo es similar o mejor que la de un suelo no perturbado por la actividad minera.

El enfoque de la presente investigación se basa en el componente ambiental suelo; donde según los antecedentes encontrados en la bibliografía y requisitos legales de la legislación peruana; se puede generar indicadores a través de 21 parámetros que pueden evaluar la calidad del suelo. Por ejemplo; pasado un corto plazo de tiempo luego del cierre de mina (6 meses a 1 año) el porcentaje de cobertura vegetal del área rehabilitada debe ser superior al 60% (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2013); la altura del horizonte A del suelo rehabilitado de cierre de mina no necesariamente es igual a la de un suelo no perturbado aledaño ya que según la pedogénesis del suelo la altura del horizonte A es consecuencia de una persistente maduración a lo largo del tiempo (por lo menos 10 años) en suelos longevos (Feng et al., 2019).

Algunos de estos parámetros son necesarios para el uso productivo definido (Palogos et al., 2017) y otros por cumplimiento de un requisito legal (MINAM, 2017); cualquiera que fuese su origen, influyen con mayor o menor prevalencia en la calidad del suelo rehabilitado del cierre de mina.

De la bibliografía; se han identificado parámetros del suelo de tipo: Físicos, Químicos, Biológicos e Inorgánicos, estos en interacción pueden englobar indicadores de calidad del suelo (García et al., 2012) los cuales son descritas con mayor detalle en el marco teórico, además se ha elaborado un plan de muestreo para la toma y análisis de muestras (MINAM, 2014) con los parámetros definidos.

El estudio contempló dos etapas, como primera etapa; fue necesario establecer criterios para la selección de un sitio no perturbado (Erskine et al., 2019) aledaño a los cierres progresivos de mina el cual se detalla en el capítulo III.

En la segunda etapa; el análisis de los resultados en laboratorio de los 21 parámetros permite determinar a aquellos que son los más influyentes en los cierres progresivos de mina a tajo abierto realizados en el ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada al compararlos con un suelo no perturbado aledaño a la zona, mediante el procesamiento estadístico de análisis de componentes principales (D. García-Álvarez, M.J. Fuente, 2011); complementariamente se espera determinar un comportamiento de estos parámetros en el tiempo a través de una cronosecuencia (Orlando et al., 2008) y así establecer indicadores de calidad del suelo que evalúen los cierres progresivos de mina ejecutados por la Cooperativa Minera Limata Limitada.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El perfeccionamiento del modelo de desarrollo sustentable constituye hoy una de las principales tareas para la industria minera. Para cumplir, los países exportadores de minerales como el Perú, deben considerar el cierre de minas como un proceso de menester que promueva los tres pilares de desarrollo sustentable .(Salazar & Montero, 2014)

La Cooperativa Minera Limata Limitada es una organización de minería aluvial de tajo abierto dedicada a la explotación de oro a pequeña escala, ubicada en la jurisdicción del distrito de Ananea; posee una concesión de 340 Has (INGEMMET, 2020), una declaración de impacto ambiental modificada al 2018 y un plan de cierre de mina actualizado al 2019; desde el 2014 viene realizando escenarios de cierre progresivo de mina dentro de su ámbito geográfico.

El objetivo de realizar un cierre de mina, en el marco legal vigente peruano, es lograr la estabilidad física, química y biológica del área perturbada; garantizando iguales o mejores condiciones socio- ambientales que las que tenía antes; de acuerdo al Decreto Supremo 033-2005-EM “reglamento de cierre de minas” del Ministerio de Energía y Minas del Perú y sus modificatorias existen diferentes escenarios de cierre de mina; se denomina cierre progresivo a las actividades de rehabilitación que el titular de actividad minera va

efectuando simultáneamente al desarrollo de su actividad productiva, de acuerdo al cronograma y condiciones establecidos en su instrumento ambiental específico (Plan de Cierre de Mina); debe entenderse “rehabilitación” como un proceso de lograr la estabilidad física, química y biológica del área perturbada y en la medida de lo posible; condiciones que permitan algún uso posterior del suelo, sea de orden pasivo (bosques, esparcimiento, etc.) o productivo (pastoreo, forestal, etc.) (MINEM, 2006).

El cambio radical de uso productivo del suelo en una mina de tajo abierto de tipo aluvial, degenera sus propiedades como componente ambiental (Feng et al., 2019); sin embargo siempre y cuando se considere el cierre de mina, en el ciclo de minado; será la opción más viable para atenuar el impacto ambiental generado (Sheoran et al., 2010); más aún si se efectúa escenarios de cierre progresivo de mina. Además, para determinar si el objetivo del cierre progresivo de mina cumplió con las expectativas, debe contemplar etapas posteriores llámese monitoreos, mantenimientos e inspecciones de las áreas rehabilitadas (Mavrommatis y Menegaki, 2017); considerando indicadores de calidad del suelo; los cuales no se han venido llevando según registros de trazabilidad proporcionados por la Cooperativa Minera Limata Limitada.

Esto representa un problema; ya que no se conoce si la rehabilitación efectuada mediante escenarios de cierre progresivo de mina, con los métodos propuestos en el plan de cierre de mina de la Cooperativa Minera Limata Limitada; para un tajo abierto de tipo aluvial en operación, han logrado una calidad del suelo similar o mejor que la de un suelo de un sitio no perturbado aledaño.

PROBLEMA GENERAL.

¿Qué indicadores permiten determinar la calidad del suelo de cierres progresivos de mina a tajo abierto del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

¿Qué diferencias de parámetros físicos, químicos, orgánicos, inorgánicos y biológicos existirán entre el suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto con un suelo no perturbado del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada?

¿Cuál es el comportamiento de los parámetros físicos, químicos, orgánicos, inorgánicos y biológicos de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto ejecutados en diferentes años dentro del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Ahirwal & Maiti, (2016) en su artículo: "Assessment of soil properties of different land uses generated due to surface coal mining activities in tropical Sal (*Shorea robusta*) forest, India", compararon varios parámetros físicos, químicos y biológicos de 04 diferentes lugares (suelos de mina recuperados de hace 25 años, bosque de Sal, suelos agrícolas, capa superficial del suelo de mina de carbón) donde el pH (4.5 a 6.5) de los 04 lugares eran ácidos, pero los suelos de mina recuperados presentaron una disminución de pH entre estratos; respecto a la Conductividad eléctrica (CE) los valores más altos (hasta 0.46 dS/m) se encontraron en todos los lugares estudiados, menos en el bosque de Sal mostrando patrones crecientes entre estratos de 0 a 20 cm a 20 a 40 cm de suelos mineros rehabilitados; en cambio la capacidad de intercambio catiónico(CIC) de suelos mineros rehabilitados ha mostrado patrones decrecientes entre estratos de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm, de 40 a 60 cm, cuyos valores son: 8.82 cmol/kg, 7.86 cmol/kg, 7.63 cmol/kg respectivamente y en comparación con el bosques de Sal se evidencia una diferencia de 5 cmol/kg.

De acuerdo a Zhang et al., (2016) en su artículo: "Changes in soil physical and chemical properties following surface mining and reclamation." compararon algunas propiedades

físico-químicas del suelo de sitios rehabilitados de mina de diferentes tipos de cobertura vegetal (cenadores, arbustos, pastizales) de hace 13 años con un suelo no perturbado; encontrando que: la textura es similar entre suelos mineros rehabilitados y de sitios no perturbados, a una profundidad de hasta 30 cm se aprecia 62% arena, 27% limo y 11% arcilla; la reordenación de la estructura del suelo es similar entre los suelos mineros rehabilitados y de sitios no perturbados; y respecto al carbono orgánico hasta una profundidad de 15 cm de suelo no hay diferencia significativa entre los suelos mineros y los suelos no perturbados; concluyeron en que casi todas las propiedades analizadas no difirieron significativamente pese a los diferentes tipos de cobertura vegetal de los suelos mineros rehabilitados.

Según Pérez et al., (2012), cuyo artículo científico titulado "Evaluación de la calidad del suelo explotado para la Minería después de diferentes sistemas de manejo" determinó cuáles son las propiedades físicas y químicas más representativas de los suelos en sitios explotados con actividades mineras que fueron revegetados con *Casuarina equisetifolia Forst* y se determinó el comportamiento de las propiedades del suelo mediante un estudio de cronosecuencia. Comparando algunos parámetros en diferentes momentos de rehabilitación por ejemplo: el pH entre los sitios no perturbados y los sitios rehabilitados con *Casuarina equisetifolia Forst* son equiparables en el tiempo, el pH ($6.6 < \text{pH} < 7.4$) del suelo tiende a disminuir con *Casuarina equisetifolia Forst* de mayor edad, aproximándose a los valores medidos en los suelos usado como referencia; la Conductividad Eléctrica ($100\text{-}200\mu\text{S}/\text{cm}$) el Nitrógeno total (N total) (0.015-0.05%), Materia orgánica (5-10%) aumentaron con la edad de la plantación de *Casuarina equisetifolia Forst* aproximándose a los valores medidos en los suelos usado como referencia (Conductividad eléctrica= $240\mu\text{S}/\text{cm}$, N total=0.29%, Materia orgánica=8%), en conclusión los resultados sugieren un aporte al proceso de recuperación de suelos al registrarse una tendencia hacia niveles similares a los registrados en los bosques naturales; salvo el Fósforo (P)

que fue el parámetro que presentó una mayor variabilidad por causas ecosistémicas de las parcelas de los sitios rehabilitados.

Una preocupación latente de la calidad del suelo de una rehabilitación minera sobre la vegetación es la que se presenta a nivel de laboratorio en el artículo científico: “Acumulación de Arsénico y Metales Pesados en Maíz en Suelos cercanos a Jales o Residuos Mineros” de Ruiz & Armienta, (2012) donde las concentraciones de Arsénico (As=3744 mg/kg) y otros metales pesados y metaloides como: Plomo(Pb=6166 mg/kg) , Zinc(Zn=1731 mg/kg), Cobre(Cu=418.3 mg/kg), Hierro(Fe=17.4%), Cadmio(Cd=5.8 mg/kg); en cuatro sustratos bajo la influencia de los jales mineros de “El Fraile” en el desarrollo de plantas de maíz advierten una bioacumulación en las plantas de maíz de metales pesados en las áreas cercanas en el siguiente orden: Zn> Pb> Cu> Cd>As, donde se concluye promover que se realicen pruebas similares en otras zonas mineras, para considerar riesgos de biomagnificación y del rendimiento de cultivo de maíz.

En el artículo: “Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review” los autores Sheoran et al., (2010), hacen una revisión exhaustiva de la influencia de la vegetación sobre parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en minas abandonadas, resaltando que el pH de un suelo minero abandonado debe mantenerse por encima de 5.5 a fin de garantizar su productividad y reducir riesgos de toxicidad por metales pesados, los suelos mineros rehabilitados generalmente reportan valores de 60% a más de Arena; por otro lado destaca técnicas de estabilización física, química y biológica como el uso de enmiendas orgánicas para una mejor dinámica de la actividad microbiana y así mejorar la biodisponibilidad de nutrientes como Nitrógeno y Carbono.

Según Spain et al., (2006) quienes en su artículo denominado “Mine Closure and Ecosystem Development - Alcan Gove Bauxite Mine, Northern Territory, Australia” recopilaron información de un cierre de mina de bauxita de data de 26 años, mediante estudios de cronosecuencia, para determinar la sostenibilidad de la post rehabilitación del

ecosistema y el desarrollo del suelo; los resultados recopilados demuestran que: el porcentaje de cobertura vegetal tuvo un pico de 70% a los 13 años de rehabilitados, en cambio los sitios no perturbados mantienen un 50% de cobertura vegetal; respecto al Fósforo (325mg/kg), capacidad de intercambio catiónico (6.5cmol/kg), Nitrógeno total(0.24%) demuestran que existe un comportamiento creciente de estos parámetros a lo largo del tiempo cuyos valores pico superan a los valores estándar de los sitios no perturbados. Concluyeron que la rehabilitación exitosa se traduce en información científica expresada en comportamiento positivo de las tasas de desarrollo del ecosistema (incluido el suelo) la cual se refuerza con los resultados de parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo rehabilitado.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Otra investigación relacionada a calidad del suelo esta vez en minería aluvial se presenta con la tesis titulada: "Metales en suelos explotados por la pequeña minería aurífera aluvial en Madre De Dios, Perú"(Velásquez, 2017). Donde el investigador evaluó niveles de concentración de metales pesados de suelos impactados no rehabilitados y otros parámetros entre suelos no impactados y suelos no rehabilitados: respecto a metales pesados como: Arsénico (As) , Bario (Ba), Plomo (Pb), Mercurio (Hg) y Cobre (Cu), no superaron los ECA de suelo del Perú, en cambio el Cadmio (Cd) con un valor de 2.22mg/Kg superó el valor ECA del Perú para uso de suelo agrícola; otros resultados de algunos parámetros como: Materia Orgánica arrojan valores de 0.03-2% para suelos mineros no rehabilitados; conductividad eléctrica arrojan valores entre 0.03-0.11dS/cm; cuyas conclusiones develan que al comparar los resultados del análisis con Estándares de calidad de suelo peruanas y canadienses no existe una concentración tal que pueda sindicarse como superconcentración por metales pesados del área estudiada salvo en el Cd que puede atribuirse a resultados de niveles de fondo. Respecto a las características físicas, químicas, morfológicas de los suelos impactados estos se caracterizan por una

menor fertilidad, menor cantidad de nutrientes, de textura arcillo limosa, permeabilidad moderadamente lenta y ligeramente pedregoso.

En esa misma línea de investigación se encuentra la tesis: "Efecto del relave minero en la respiración potencial y la actividad enzimática del suelo y su relación con la germinación de semillas, crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays L.*) c.v. Cabanita y bioacumulación de metales pesados" del autor Ynfa, (2017) donde a nivel de laboratorio el autor realizó el estudio de diferentes concentraciones de relave minero en la germinación y crecimiento de plantas de *Zea mays L.*, entre otras, la bioacumulación de metales pesados; donde los resultados mostraron que existe una bioacumulación de Hierro (Fe) a niveles de 10 mg/kg a una concentración de 32% de relave minero; respecto a otros metales como Arsénico (As) Cadmio (Cd), Boro (B), Manganeseo (Mn), Aluminio (Al) no hay indicios de bioacumulación; concluye que existe una tolerancia de hasta 32% de la cantidad de relave en el sustrato con suelo de cultivo, manifestando bioacumulación de metales pesados en las plántulas de *Zea mays L.*

En la tesis titulada: "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." de Guanilo, (2006) , estudió las características físico-químicas de especies que fueron utilizadas para rehabilitación de suelos mineros(hace 6 años), la más representativa fue el *Lolium Perenne* o ray grass la cual fue analizada junto a otras plantas nativas a fin de determinar concentraciones de micronutrientes y macronutrientes; donde se observó que: la materia de los suelos mineros rehabilitados presentan valores entre 3.1-9.6% los macronutrientes como: Fósforo (P) presentan valores entre 9.3 y 42.7mg/kg, los valores de Nitrógeno total (N), fluctúan de 0,7% a 2,01% (bajos a medios), el potasio (K), varía de 0,66% a 2,04% (medios a altos), respecto a concentraciones de plomo (Pb) tiene valores altos de

fitotoxicidad pero la correlación con el suelo rehabilitado no presume la existencia de una bioacumulación de metales pesados.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar indicadores de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Comparar los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y biológicos entre el suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto con un suelo no perturbado dentro del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada.
- Determinar el comportamiento de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y biológicos de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto ejecutados en diferentes años dentro del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EXPLOTACIÓN MINERA ALUVIAL

La extracción del oro, cuya ubicación en los suelos aluviales y en los lechos y orillas de los ríos, como en la región Madre de Dios, forzosamente debe destruir el bosque, y alterar totalmente el lecho y las orillas de los ríos, porque se trata de partículas de oro depositadas en los suelos y fangos (Brack et al., 2011).

La Explotación de yacimiento aluvial en el distrito minero de Ananea es ligeramente diferente el cual se caracteriza por una intensa utilización de equipo mecanizado; como excavadores, cargadores frontales, volquetes, los que son empleados en las operaciones de desbroce, arranque, carguío y acarreo de material aurífero (Quantum MVA, 2018).

Los depósitos aluviales para su operación se ha perfeccionado, en base a conocimientos empíricos, una planta de lavado estacionario y/o portátil, conocido como shute o chute (Kuramoto, 2001).

La operación se inicia con el lavado del material depositado en la tolva del chute, mediante chorros de agua a presión controlada. En la salida de la tolva de lavado está incorporada una parrilla de fierro corrugado; en esta etapa se desarrolla el proceso de clasificación de relaves gruesos (Kuramoto, 2001).

El material clasificado pasa por la parrilla metálica hacia una canaleta de madera o metálico en este tramo por diferencia de densidades el oro se concentrará en los "rifles" (trampas metálicas transversales al flujo) donde quedará el oro, junto a las arenas

negras: el flujo del mineral continua por un canal de madera y alfombras sintéticas; en donde por diferencia de densidades el oro intermedio y parte de finos quedan atrapados en el lecho de las alfombras (Quantum MVA, 2018).

El concentrado final, van a un tratamiento de concentración centrífuga semiautomatizada, empleando en una primera etapa la mesa gravimétrica y como segunda etapa por un concentrador centrífugo Falcon Icon, logrando una concentración aproximada de un 85% de oro (Au) (Navarro, 2017).

2.1.2. CIERRE DE MINA

a) Metodologías de Cierre de Mina Sustentable

En Cuba de acuerdo al artículo científico de Guerrero-Almeida et al., (2014) se estudiaron 6 casos de cierre de minas en diferentes escenarios de cierre (cierre inicial, cierre final, cierre temporal, post cierre); de acuerdo a su marco legal, evidenciando dificultades presentadas con su ejecución; ya sea, por la falta de conocimientos referentes al tema, o por la ausencia de regulaciones que declaren detalladamente cómo proceder en cada caso.

En el Perú la metodología de cierre de minas la establece la ley 28090 y su reglamento el D.S. 033-2005 EM Reglamento de cierre de minas; el cual basa la metodología de cierre de minas en el ciclo de minado de la mina. Esto se refuerza con la guía para elaboración de planes de cierre de minas del Ministerio De Energía Y Minas del Perú (MINEM, 2006) el cual establece pautas estandarizadas en un proceso para diseñar el plan de cierre de mina; lo que dependerá en mayor o menor detalle de las particularidades de cada mina en el Perú

b) Escenarios de Cierre de Mina

En Perú, de acuerdo a la guía para la elaboración de planes de cierre de mina (MINEM, 2006) existen escenarios de cierre los cuales se aplican según la circunstancia operativa de la mina estos son:

- **Cierre temporal**, “como resultado de las circunstancias económicas u operacionales, es posible que las actividades mineras y/o de procesamiento sean temporalmente suspendidas, esperando su reinicio en el futuro próximo; los objetivos de cierre temporal difieren de los objetivos de cierre final; porque, por definición, el cierre temporal no es una condición permanente y se espera que la mina vuelva a su condición de operación en un período no mayor de tres (3) años. En caso contrario, se entiende que se trata de un escenario de cierre final, por lo que las medidas de cierre final deberán ser implementadas” (MINEM, 2006, p. 9).
- **Cierre progresivo**, “es un escenario que ocurre de manera simultánea a la etapa de operación de una mina, cuando un componente o parte de un componente de la actividad minera deja de ser útil; debido a ello deberá ser sometido a actividades de cierre tales como desmantelamiento, demolición, restablecimiento de la forma del terreno, y/o revegetación. Las actividades de cierre progresivo han sido diseñadas para lograr los objetivos ambientales y sociales específicos” (MINEM, 2006, p. 10).
- **Cierre final**, “comienza a consecuencia del agotamiento de los recursos minerales económicos, cesan las operaciones de minado y de procesamiento; el cierre final comprende el desarrollo de actividades tales como: diseños de ingeniería requeridos para el desmantelamiento; demoliciones; estudios in-situ, para la disposición final y/o el rescate de materiales; estabilización física, geoquímica e hidrológica; restablecimiento de la forma del terreno; revegetación; rehabilitación de hábitats acuáticos; rehabilitación de las áreas de préstamo; reconversión laboral; provisiones para brindar servicios esenciales a la comunidad, siendo un proceso que usualmente toma varios años” (MINEM, 2006, p. 10).

A las actividades de Post cierre, debe considerarse como un complemento del escenario de cierre final donde el mantenimiento, monitoreo y seguimiento post cierre tienen la finalidad de medir la efectividad del cierre final y obtener el certificado respectivo, el cual debe durar al menos cinco (5) años bajo responsabilidad del titular minero (MINEM, 2006).

2.1.3. EL SUELO

García et al., (2012) afirma que el suelo es un recurso indispensable para la vida que permite el desarrollo de las plantas, los animales y el hombre. Sin embargo, aún no se reconocen todas las funciones que realiza; en los últimos años se han propuesto nuevas definiciones que integran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como su capacidad de ser sostenibles, producir alimentos sanos y mitigar la contaminación medioambiental. Así ya lo daba a entender Céspedes, (1991) que definía el suelo como un sistema natural producto de una mezcla entre minerales y restos orgánicos influenciado por factores climáticos y biológicos; que suministra los nutrientes y el sostén que requieren las plantas.

Un suelo rehabilitado, en cambio, pierde su definición de sistema natural, por haber sido sometido a explotación y creado por el hombre; según FitzPatrick, (1996) para que el suelo pueda ser explotado necesita ser reconocido, como sistemas físicos, químicos y biológicos altamente organizados además de conocer a fondo otros aspectos como su participación en el ambiente. Así lo reafirma Spain et al., (2006) desde un punto de vista de desarrollo de suelo rehabilitado lo considera como la mejora que se produce en las propiedades físicas, químicas y biológicas, a medida que el suelo se reorganiza y adquiere fertilidad al aumentar el período de rehabilitación.

2.1.4. REHABILITACIÓN DE SUELOS MINEROS

Hablar de rehabilitación de suelos mineros o “minesoil reclamation” es hablar de complementariedad y sucesión entre las funciones y condiciones del suelo respecto a propiedades físicas, químicas y biológicas:

a) Respecto a las propiedades físicas:

Un indicador clave de desempeño de rehabilitación de minas es el control de la erosión, para controlarla algunas minas adoptan medidas durante los primeros años y después se mantienen con el crecimiento de la vegetación lo que permite la consolidación de la estructura del suelo en el tiempo (Gobierno de Australia, 2016).

Las superficies compactadas limitan notablemente el establecimiento de la vegetación”, provocado directamente por la maquinaria pesada, en cualquier escenario de cierre de mina, que realiza labores agronómicas como: perfilado y surcado del terreno, rociado de top soil, abono y enmiendas orgánicas; esto afecta la estructura del suelo (Paradelo, 2013).

La estructura del suelo tiene que ver con los horizontes de suelo; donde el Horizonte A y B son generalmente eliminados por las industrias extractivas; como la minería aluvial y es evidente que estos necesitan ser restablecidos en los procesos de rehabilitación de suelos mineros (Tobias et al., 1999).

Spain et al., (2006) en la investigación que realizó de una rehabilitación minera con la información acumulada de un período de rehabilitación largo, encontró que la tasa de infiltración del suelo rehabilitado crece y se estabiliza hasta llegar a un valor equivalente al doble respecto de un suelo sin rehabilitar, se puede atribuir este comportamiento a la estructura del suelo, ya que también correlacionó la cantidad de grava de ambos suelos con el mismo período de rehabilitación encontrando mayor porcentaje de grava en suelos rehabilitados.

Otra investigación de Diaz, (2018) analiza y evalúa la textura como la propiedad física más relevante que diferencia un suelo reforestado con eucalipto de un suelo sin reforestar.

FitzPatrick, (1996) ratifica que los límites bien definidos de los horizontes del suelo delimitan suelos mejor desarrollados y desde un punto de vista de formación de suelos: puede considerarse que todos los perfiles de suelo presentan tres estratos: superior, intermedio e inferior. Los estratos generalmente se componen de horizontes con una cantidad de materia orgánica diferente. El estrato intermedio a menudo contiene horizontes con material lavado.

Las propiedades físicas que se mencionan en los acápites precedentes son:

- Textura
- Estructura
- Horizonte del suelo A

b) Respecto a las propiedades químicas:

Los suelos de mina presentan propiedades químicas muy variadas, pues su composición depende del mineral o roca que se extrae en cada caso, del modo de extracción, de los tratamientos a los que son sometidos (Paradelo, 2013), del tipo y cantidad de residuos que se producen; por ende es imperativo que el suelo sea deficiente en la cantidad de nutrientes más aún si no han sido tratados para su rehabilitación posterior (Bradshaw, 1997), en razón a ello muchos procesos de rehabilitación de suelos mineros consideran la adición de enmiendas orgánicas como yeso (Smits et al., 2010).

Por ello la disponibilidad de micronutrientes, en forma de cationes cambiabiles principales, Ca, Mg, K y Na, se encuentran en baja concentración entre 0.0 a 0.5 meq / 100g (Oktavia et al., 2015); debido al proceso de lavado del suelo y al proceso de meteorización local de la roca huésped durante el proceso de explotación del mineral valioso (Bradshaw, 1997).

La capacidad de intercambio catiónico, es influenciado por varios factores, incluida la cantidad de arcilla, materia orgánica y pH. En suelos que contienen arcilla y materia orgánica disminuirá ligeramente la capacidad de los coloides para intercambiar iones en el suelo (Oktavia et al., 2015).

Por otro lado, el problema más habitual con el pH en suelos de mina y residuos mineros es una acidez excesiva aunque actividades propias de rehabilitación alcalinizan el suelo antes de la revegetación; se debe entender que ningún extremo es bueno y la vegetación nativa puede adaptarse a los extremos de pH; para ello la información sobre las condiciones del suelo de referencia no perturbado es esencial (Gobierno de Australia, 2016).

También resulta prudente mencionar según Hossner & Hons, (1992): como consecuencia de la oxidación de los sulfuros y de la adición de diversas sustancias para corregir el pH, pueden aparecer problemas de salinidad en suelos mineros rehabilitados.

La salinidad es un conjunto de aniones y cationes principalmente compuesto por Sodio (Na), Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg) cuyo análisis profundo depende del valor de la conductividad eléctrica, la cual es una medida indirecta de la cantidad de sales que contiene un suelo (Garrido, 1994).

Respecto a los macronutrientes como el Nitrógeno según Hossner y Hons, (1992): , La deficiencia de nitrógeno es una característica común a prácticamente todos los residuos y suelos mineros rehabilitados, cambiar esto dependerá mucho del proceso de rehabilitación del residuo minero; la revegetación mediante siembra o mediante plantaciones por esquejes puede ser determinante.

La mayoría de Nitrógeno en la superficie del suelo está en formas orgánicas y, por lo tanto, el contenido orgánico de Carbono y el contenido total de Nitrógeno del suelo están estrechamente relacionados. (Vasquez y Sheley, 2018)

Un estudio que puede ayudar a comprender el impacto de una minería aluvial, sobre las propiedades químicas, lo realizó Velásquez, (2017), donde al estudiar el perfil de un suelo impactado sin rehabilitar con un suelo no perturbado encontró valores con una diferencia holgada de la capacidad de intercambio catiónico, cantidad de materia orgánica, macronutrientes como P y K; además de una diferencia textural entre los suelos.

Las propiedades químicas que se mencionan en los acápites precedentes son:

- pH
- Disponibilidad de Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)
- Salinidad (conductividad eléctrica)
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

c) Respecto a las propiedades biológicas:

Paradelo, (2013) concluye que la adición de compost en revegetación de cierre de minas: demuestra tener efectos positivos sobre las propiedades de residuos mineros y suelos de mina, a través del incremento de su contenido en materia orgánica:mejora las propiedades físicas, especialmente la densidad aparente y la capacidad de retención de agua, aporta nutrientes indispensables como Fósforo (P) y Nitrógeno (N), ayuda a corregir el pH en muchas ocasiones y puede reducir la movilidad y biodisponibilidad de ciertos elementos potencialmente tóxicos. Como resultado de este conjunto de efectos positivos, la adición de compost produce en general un incremento de la productividad vegetal de estos materiales, lo que se traduce en mejores condiciones para la revegetación, y por tanto para el éxito de la rehabilitación (Feng et al., 2019).

Del mismo modo en relación a la materia orgánica de acuerdo a Izquierdo et al., (2004) existe una transformación enriquecedora de la materia orgánica sobre un suelo

rehabilitado debido al uso de las especies utilizadas para la rehabilitación, el cual tiene efectos sobre la estabilidad de los agregados y la bioactividad enzimática en el suelo.

La importancia funcional de la Materia Orgánica varía sistemáticamente con su edad. Los materiales más jóvenes son los biológicamente más activos, aquellos de edad intermedia contribuyen notablemente al estado físico edáfico, mientras que los más antiguos presentan una marcada influencia sobre la reactividad físico-química del suelo. (Galantini y Suñer, 2008)

Un enfoque integrado merece el tipo de cobertura vegetal utilizada en los sitios mineros rehabilitados, donde las especies utilizadas para la revegetación de suelos mineros juegan un papel importante y está directamente relacionado con el clima de la zona rehabilitada; así lo ratifica Nsiah & Schaaf, (2019) quienes indican que el primer año las especies para la revegetación deben emplearse gramíneas y leguminosas de rápido crecimiento; para lograr una rápida y completa cobertura del suelo las cuales constituirán la fase inicial del proceso de revegetación; la diversidad de especies utilizadas está en función del clima de la zona rehabilitada.

Un estudio referido al uso de gramíneas como el Kikuyo para la fitoestabilización exitosa de relaves mineros ratifican el uso de estas especies para rehabilitar suelos mineros en la que la destaca por: facilidad de crecimiento, profundidad radicular y cobertura (Romero, 2015).

Otro aspecto relevante en estudio de sitios mineros revegetados corresponde al porcentaje de cobertura vegetal donde según, Huang et al., (2015) identificó al porcentaje de cobertura vegetal como un parámetro relevante en la sucesión de la vegetación en diferentes sitios rehabilitados. Los resultados indicaron que la cobertura vegetal, entre otros parámetros, aumentó significativamente con el aumento de la edad del sitio.

De acuerdo a la conferencia organizada por el Instituto de Ingenieros de Minas de Perú, el porcentaje de cobertura vegetal debe ser igual o mayor al 60% en el primer año; este

porcentaje asegura la sucesión vegetal y el sostenimiento de la biota rehabilitada. (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2013), al respecto el uso de imágenes de UAS (sistemas aéreos no tripulados), bajo una correcta metodología, pueden proporcionar información espacial cuantitativa: sobre fallas de restauración o éxito en términos de monitoreo del área cubierta por vegetación (porcentaje de cobertura vegetal); vertido de desechos mineros, también pasivos ambientales; o suelo desnudo en diferentes estados temporales de la restauración de sitios mineros. (Padró et al., 2019)

Las propiedades biológicas que se mencionan en los acápites precedentes son:

- Materia orgánica.
- Tipo de cobertura vegetal.
- Porcentaje de cobertura vegetal.

d) Requisitos legales peruanos asociados a Rehabilitación de suelos mineros:

Es pertinente mencionar que para suelos rehabilitados conviene hablar de Estándares de calidad de suelo (en adelante ECA) en calidad de cuerpo receptor; según el D.S. 011-2017-MINAM el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas peruanas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental (MINAM, 2017), incluido los planes de cierre de minas; por tal motivo es primordial tomar éstos parámetros, en el Perú, como parámetros críticos de calidad del suelos rehabilitados.

Según la tabla de parámetros del ECA suelo, D.S. 011-2017-MINAM, existen 02 tipos de parámetros: Orgánicos e Inorgánicos, los cuales se determinan según el indicio contaminante que presenta el suelo esto de acuerdo por ejemplo al: tipo de industria, tecnologías del proceso productivo circundante al suelo, emisiones contaminantes predominantes.

Por otro lado, la selección de parámetros está sujeto también al presupuesto que se tenga en la investigación para su muestreo y análisis. Así para rehabilitación de suelos

mineros existen presunciones de presencia de metales pesados en concentraciones muy por encima de los ECA lo que resulta en una mala calidad del suelo rehabilitado; por eso es adecuado considerar con más atención los parámetros de tipo Inorgánico.

Investigaciones como la de Velásquez, (2017): no encontró indicios de concentraciones mayores de metales pesados en los suelos impactados (no rehabilitados) a una profundidad de 30cm; otra investigación de Papadopoulos et al., (2015), concluyó de que el Hierro (Fe) presenta concentraciones por encima del sitio de referencia en suelos mineros de lignito rehabilitados.

Respecto al requisito legal peruano los parámetros que se mencionan en los acápites precedentes son:

- Concentración de Metales pesados (son de carácter inorgánico)

2.1.5. INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

García et al., (2012) asevera que los indicadores de la calidad del suelo constituyen una herramienta de alcance focal que permiten tomar decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, según las condiciones particulares de cada agroecosistema.

La información recopilada por Bautista et al., (2005) afirma que los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas o procesos que ocurren en él, siempre y cuando reflejen las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan; considerando aquellas propiedades edáficas sensibles a los cambios de uso del suelo.

Es decir que la selectividad de los indicadores de calidad del suelo depende particularmente del uso, condiciones y funciones del suelo; al respecto cada investigador en base a sus objetivos de estudio selecciona, mediante su propia percepción o una metodología aplicada, los indicadores más adecuados para describir el suelo objeto de estudio. Es así que, en la tabla 01 se listan indicadores físicos, químicos y biológicos

respecto a las condiciones, funciones y uso del suelo; ya sea para usos agrícolas y forestales o de pastoreo.

Tabla 1: Indicadores físicos, químicos y biológicos respecto a las condiciones, funciones y uso del suelo por autor

Tipos de Indicadores	Larson y Pierce (1991)	Doran y Parkin (1994)	Pellant et al. (2005)	García et al. (2012)
Físicos	parámetros asociados			
Compactación	Densidad aparente	Densidad aparente	Horizontes compactados	
Deterioro de la estructura edáfica	Profundidad horizonte A	Profundidad horizonte A	suelo desnudo	Estructura
	Profundidad de enraizamiento	Profundidad de enraizamiento		
		Densidad aparente		
Reducción de la capacidad de retención hídrica	Profundidad suelo	Profundidad suelo	Distribución de la vegetación	Textura
	Profundidad de enraizamiento	Textura		Humedad del suelo
		Profundidad de enraizamiento		
		Capacidad de retención hídrica		
		Características de la retención del agua		
Reducción de la capacidad de infiltración	Profundidad de enraizamiento	Profundidad de enraizamiento	Distribución de la vegetación	
	Capacidad de infiltración	Capacidad de infiltración		
Erosión hídrica			Regueros	Textura
			Cárcavas	Profundidad del suelo
			Montículos	Estructura
			Pedestales	
			Patrones de flujos	
		Otras evidencias de erosión hídrica		
Químicos	parámetros asociados			
Pérdida de fertilidad	pH	Textura	Contenido de hojarasca (vegetación seca)	Profundidad del suelo
	CIC	pH	Producción anual de plantas	C y N orgánico
	Conductividad eléctrica	Conductividad eléctrica		pH
	N total, P y K	N (NH4 y NO3), P y K		Conductividad eléctrica
		N potencialmente mineralizable		N , P y K extraíble
				CIC
elevados niveles de toxicidad				Metales pesados disponibles
Biológicos	parámetros asociados			
Reducción del carbono orgánico	Contenido de materia orgánica	Contenido de C y N de la biomasa microbiana	Contenido de hojarasca (vegetación seca)	
Pérdida de actividad biológica	C y N de la biomasa microbiana	Respiración y humedad del suelo	Plantas invasivas	Contenido de agua
	Respiración y humedad del suelo	Temperatura del suelo	Capacidad reproductiva de las plantas perennes	Temperatura del suelo
		C biomasa / C total		Numero de lombrices
		Respiración/biomasa		pH
				Conductividad eléctrica

Nota. La tabla fue adaptada de (Pulido, 2014)

Además de acuerdo a las referencias citadas por García et al., (2012) para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores deben:

- Ser integradores.
- Ser fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado.
- Ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar.
- Ser fáciles de entender.
- Permitir cambios y diferencias entre los sistemas.
- Centrarse en aspectos prácticos y claros.

A todo esto la importancia de determinar indicadores de calidad del suelo rehabilitado se manifiestan en procesos a escala de paisaje local que se pueden adaptar para monitorear en el tiempo, el éxito del proyecto de recuperación. (Vasquez y Sheley, 2018)

2.1.6. MUESTREO DE SUELOS

Es necesario diferenciar los diferentes tipos de muestreo de acuerdo al objeto de estudio, de tal manera que se arma un plan de muestreo, que nos lleve a un proceso de levantamiento de muestra óptimo. (MINAM, 2014)

De acuerdo a la guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente del Perú el tipo de muestreo a aplicar se basa en criterios de: suelos potencialmente contaminados, con presunción de contaminación o suelos potencialmente remediados; un muestreo de identificación, por ejemplo “tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo.”(MINAM, 2014, p. 11)

Una vez identificado el tipo de muestreo a realizar, se procede a aplicar técnicas de muestreo, que difieren para muestras superficiales y muestras en profundidad. En este tipo de muestras es permisible tomar muestras compuestas. (MINAM, 2014)

Volúmenes de muestras considerables requieren ser sometidas a un proceso de cuarteado y partición sucesivamente, para reducirlas hasta obtener una muestra compuesta representativa (INECC-CCA, 2010).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Capacidad de intercambio Catiónico(CIC).- Es lo que permite al suelo retener los elementos necesarios para nutrir a las plantas. Así, cuanto mayor sea esta «capacidad» mayor será la fertilidad natural del suelo. Los análisis de Capacidad de Intercambio Catiónico proporcionan su valor total en miliequivalentes por 100 g de tierra y los cationes de cambio principales: calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) también en meq./ 100 g (Garrido, 1994).

Cierre progresivo de mina.- es un escenario de cierre de mina que ocurre de manera simultánea a la etapa de operación de una mina, cuando un componente o parte de un componente de la actividad minera deja de ser útil; pasa a actividades de cierre tales como desmantelamiento, demolición, restablecimiento de la forma del terreno, y/o revegetación. Las actividades de cierre progresivo son capaces de lograr los objetivos ambientales y sociales específicos con rentabilidad económica para el titular minero (MINEM, 2006).

Cronosecuencia.- A los cambios producidos por unidad de tiempo en un conjunto de suelos que comparten una comunidad común de organismos, clima, material parental y pendiente se le denomina cronosecuencia. El método de la cronosecuencia es ampliamente usado para examinar los cambios en el suelo y el ecosistema a través del tiempo. (Bautista et al., 2005).

ECA.- Son las iniciales de Estándar de Calidad Ambiental cuya medida establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (MINAM, 2017).

Estructura.- Se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados. Y la forma más provechosa de describir la estructura del suelo es en función del grado (grado de agregación), la clase (tamaño medio) y el tipo de agregados (forma) (FAO, s. f.).

Tabla 2: Características medibles de la estructura del suelo.

Grado	Se mide de 0 a 3 0.- sin estructura 1.- Estructura débil 2.- Estructura moderada 3.- Estructura fuerte	es la intensidad de agregación y expresa la diferencia entre la cohesión* dentro de los agregados y la adhesividad* entre ellos
Clase	Muy fina o muy delgada; Fina o delgada; Mediana; Gruesa o espesa; Muy gruesa o muy espesa	describe el tamaño medio de los agregados individuales
Tipo	Estructuras granulares y migajosas (Horizonte A) Estructuras en bloques o bloques subangulares (Horizonte B) Estructuras prismáticas y columnares (Horizonte B) Estructura laminar (Horizonte B)	describe la forma o configuración de los agregados individuales.

Horizonte del suelo.- Capa del suelo aproximadamente paralela a la superficie del terreno, con características más o menos bien definidas. Las cuales son el resultado de la acción de los procesos de formación del suelo (Fraume, 2007).

Indicadores de calidad del suelo.- Variables que representan la condición de un suelo y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Bautista et al., 2004).

Textura.- Se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla del suelo expresados en porcentaje. En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2 mm de diámetro (Huaman, 2016); de forma que el porcentaje de arena, arcilla y limo de un suelo, determina la clase textural a la que pertenece, clase que se determina con la ayuda del triángulo de textura (Andrades y Martínez, 2014).

pH.- es el grado de acidez o alcalinidad de una solución y se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones Hidrógeno; en el suelo para propósitos prácticos se lo puede considerar como solución simple (FitzPatrick, 1996).

Materia Orgánica(MO) .- es la fracción del suelo compuesta por restos de organismos vivos, elementalmente por Carbono(C), Hidrógeno(H), Oxígeno(O), Nitrógeno(N), Fósforo(P) y Azufre(S) en cantidades variables, lo que hace difícil una evaluación directa por ello se suele expresar un porcentaje de su contenido en el suelo. Su importancia se basa en la influencia que tiene sobre otros parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo (Galantini y Suñer, 2008).

Sitio no Perturbado .- típicamente comprenden parcelas y / o transectos en los que se miden atributos y de los cuales se derivan métricas cuyo propósito es proporcionar un objetivo o punto de referencia para los objetivos de una comparación; en el contexto de cierre de mina los resultados cercanos al de los atributos resulta en una opción para establecer los criterios de finalización de la rehabilitación minera (Humphries, 2015).

Tipo de cobertura vegetal.- Se refiere a la clasificación realizada por el Ministerio de ambiente del Perú en base a 04 criterios: geográficos, climáticos, fisionómicos y fisiográficos, de acuerdo al MINAM, (2015) existen 56 tipos de coberturas vegetales en todo el territorio nacional.

En la región andina existen 10 tipos de cobertura vegetal que son:

- Bosque relicto mesoandino (Br-me)
- Bosque relicto mesoandino de conífera (Br-me-co)

- Bosque montano occidental andino (Bm-oca)
- Bosque relictos altoandino (Br-al)
- Páramo (Para)
- Jalca (Jal)
- Pajonal andino (Pj)
- Bofedal (Bo)
- Matorral arbustivo (Ma)
- Cardonal (Car)

Disponibilidad de Nitrógeno (N).- es el proceso biológico complejo de entrada al suelo para servir de nutriente a las plantas, La mayor parte del nitrógeno del suelo está contenido en la materia orgánica; en el corto plazo no es disponible para las plantas y solo mediante los procesos de descomposición y posterior mineralización vuelve a estar disponible. El Nitrógeno total (%) expresa la disponibilidad de nitrógeno en grandes extensiones de suelo (Celaya y Castellanos, 2011).

Fósforo (P).- , el Fósforo es un macronutriente para las plantas que favorece y estimula su desarrollo y crecimiento, es un elemento de poca movilidad sus niveles se indican en ppm o mg/kg (Andrades y Martínez, 2014).

Metales pesados.- Elementos metálicos de peso atómico elevado entre ellos los férricos y los metales nobles. Poseen una amplia gama de propiedades químicas y efectos biológicos. Algunos de ellos como el Manganeso, el Cobre y el Zinc son esenciales en la dieta, otros como el Mercurio, el Plomo y el Cadmio, no tienen funciones biológicas y su presencia, incluso en cantidades muy pequeñas puede ser causa de envenenamiento. Actúan sobre los ecosistemas como contaminantes y son generalmente muy tóxicos para los seres vivos. Se eliminan y se metabolizan mal en el seno del ecosistema, de ahí la importancia ambiental de su vertido y de las contaminaciones potenciales subsiguientes. Tienden a acumularse y bioacumularse en los suelos en los cursos de agua y en los

seres vivos. Algunos podrían reciclarse, pero como a menudo se presentan en mezclas complejas suele resultar difícil, son tóxicos por arriba de sus concentraciones basales (Fraume, 2007).

Potasio (K).- Macronutriente que incrementa la resistencia de las plantas a las temperaturas extremas al incidir en la consistencia y dureza de los tejidos de las plantas sus niveles también se indican en ppm (Andrades y Martinez, 2014).

Salinidad.- La salinidad del suelo (conjunto de todas las sales) se determina mediante la conductividad eléctrica de una solución de suelo (agua + suelo) o en extracto de saturación a una temperatura determinada. La solución del suelo contiene siempre sales solubles en mayor o menor proporción, pero si la cantidad de éstas aumenta y alcanzan un límite, la vegetación no puede subsistir. No obstante, hay que destacar que no todos los cultivos presentan la misma resistencia al medio salino, por lo que una correcta interpretación de la conductividad eléctrica deberá ir siempre referida a un cultivo determinado. Los principales cationes que dan origen a la salinidad son: Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) (Andrades y Martinez, 2014).

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Los indicadores de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada son de carácter físicos, químicos, orgánicos, inorgánicos y biológicos.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Existe una marcada diferencia de parámetros físicos, químicos, inorgánicos y biológicos, entre los suelos de los cierres progresivos de mina a tajo abierto y un suelo no perturbado dentro del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada.

Existe una evolución de tendencia positiva de los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y biológicos de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto dentro del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en áreas rehabilitadas y sitios no perturbados que se ubican en todo el ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada; la cual representa una de las tantas cooperativas mineras formales que se dedican a una marcada actividad minera a pequeña escala; se localiza a una altitud de 4600 msnm, se caracteriza por presentar un ecosistema de Puna Húmeda con un clima frígido y semiseco, la presencia de un período de lluvias de diciembre a marzo y un período de estiaje de mayo a noviembre; la temperatura media anual es 4.3 °C, en los meses de abril y mayo llegan a 10.9°C y en julio desciende hasta -3.7°C ;donde además coexisten actividades Pecuarias; la ubicación política de la Cooperativa Minera Limata Limitada es:

Distrito : Ananea

Provincia : San Antonio de Putina

Región : Puno

Las áreas rehabilitadas hasta el 2019 representan aproximadamente 06 hectáreas de cierres progresivos de la Cooperativa Minera Limata Limitada que fueron ejecutados de acuerdo a su Plan de cierre de minas; el cual empieza con la estabilidad física, rellenando el tajo explotado con material de desmonte estéril formando capas hasta llegar a la topografía original del terreno, procurando no tener una pendiente del terreno superior al 5%, luego se procede a formar capas o horizontes de suelo con cobertura de tipo I o II o

III según como lo establece el plan de cierre de minas, de acuerdo a su capacidad de generación de acidez, a fin de lograr la estabilidad química.

Entre tanto deben prepararse esquejes de *Festuca dolichophylla* (chilligua), recolectando matas de una zona virgen y separándolas en pequeñas y varias partes, luego se cortan las puntas de las hojas y las partes de la raíz para que rebrote, después con ayuda de un cargador frontal se hacen surcos para facilitar el plantado de los esquejes de *Festuca dolichophylla* (chilligua) cuya distribución de esquejes a la redonda debe estar separada 50cm.

Finalmente se rocía con abono de alpaca y oveja la superficie revegetada con un cargador frontal; eventualmente se riega el área con agua industrial de proceso de la mina mediante aspersores o se emplea un camión cisterna.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

La población de la presente investigación está representada por 06 hectáreas de áreas rehabilitadas, ejecutados íntegramente por la Cooperativa Minera Limata Limitada, los cuales constituyen escenarios de cierres progresivos de mina con cobertura de tipo II, estos corresponden al año de ejecución: 2014, 2017, 2018,2019

Se trabajó con los cierres progresivos ejecutados del año 2014 y 2018 cuya extensión abarca en conjunto aproximadamente 03 hectáreas; para la presente investigación cada área tuvo una nomenclatura de identificación y a partir de ésta sección se los nombrará por esa nomenclatura las cuales son:

Tabla 3: Identificación de cierres progresivos de mina a tajo abierto objeto de estudio.

NOMBRE DEL ÁREA REHABILITADA	NOMENCLATURA
CIERRE PROGRESIVO DE MINA DEL 2014	CM_2014
CIERRE PROGRESIVO DE MINA DEL 2018	CM_2018

La técnica de muestreo aplicada es no probabilística, muestreo a propósito, ya que no se ha elegido del año 2017 por que ésta se encuentra afectada superficialmente y los resultados repercutirían significativamente en los objetivos de la presente investigación.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La zona de estudio, en la presente investigación, contempló 02 etapas; en una primera etapa se contempló 04 áreas de muestreo: 02 de ellos fueron sitios no perturbados por la actividad minera los cuales se escogieron en base a su potencial familiaridad vegetal y la pendiente del suelo y los otros 02 corresponden a cierres progresivos de mina (CM_2014 y CM_2018); en una segunda etapa se trabajó con 03 áreas objeto de estudio, habiendo descartado por índices de similaridad al sitio no perturbado menos adecuado. El detalle de lo descrito en la primera y segunda etapa se encuentra en el anexo 01 y anexo 02 respectivamente.

3.3.1. SELECCIÓN DEL SITIO NO PERTURBADO

Para la primera etapa en cada una de las 04 áreas objeto de estudio, se establecieron cuadrantes de 1 m² con subdivisiones de 20 cm² (Mostacedo y Fredericksen, 2000) mediante 02, 03 o 04 transectos (depende de la extensión de cada área objeto de estudio) donde cada 15 metros se registraron:

- Número de individuos por Especies
- Especies vegetativas predominantes o tipo de cobertura vegetal predominante
- Altura sobre el nivel del mar con GPS.

Cada cuadrante representa una muestra. Se tomaron entre 75 y 35 muestras por cada área de estudio (de acuerdo a la extensión de cada área objeto de estudio) entre febrero y marzo del 2020; se utilizó estacas de 50 cm, Sogas y un cuadrante de fierro o madera de 1m² . Todos los transectos y puntos de muestreo fueron geo-referenciados con un sistema de posicionamiento global Garmin GPS con el fin de ser evaluadas en un futuro. El detalle del método se evidencia en el anexo 03.

La identificación y selección de sitios no perturbado requiere del rigor y justificación de acuerdo con el propósito y el contexto de las comparaciones que se realizan en el estudio (Humphries, 2015).Mediante un procesamiento estadístico de los resultados del muestreo

superficial del suelo (Mostacedo y Fredericksen, 2000) se hizo el descarte para escoger al sitio no perturbado más adecuado.

3.3.2. MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN DEL SUELO Y MANEJO DE MUESTRAS

Ya en la segunda etapa para cada una de las 03 áreas objeto de estudio: NP, CM_2014,CM_2018,; se hizo un muestreo estadístico aleatorio simple (INECC-CCA, 2010) subdividiendo las áreas en cuadrantes de 100 m²,se estableció puntos de muestreo de acuerdo a una tabla de números aleatorios (Jach, 2008); tomando entre 16 a 40 muestras simples lo que da 3 a 4 muestras compuestas por área objeto de estudio . La profundidad del muestreo fue de 0 a 25 cm. El muestreo de identificación de suelos se realizó entre marzo y julio del 2020. Se utilizó un Barreno para muestras de suelos, Flexómetro de 5m, Bandeja mediana de plástico, un combo, bolsas con cierre hermético para tomar las muestras. Las muestras simples de suelo fueron mezcladas y cuarteadas a fin de tener una muestra compuesta uniforme, se preservaron en bolsas de cierre hermético adecuadas hasta su llegada al laboratorio de INIA y SGS para el análisis correspondiente. Todos los transectos y puntos de muestreo fueron geo-referenciados con un sistema de posicionamiento global Garmin, con el fin de ser evaluadas en un futuro.

Cierre progresivo del año 2014 (CM_2014):

Se ha elegido al azar la fila 11 de la tabla de números aleatorios, separando de dos en dos los dígitos hasta obtener los números que coinciden con alguno de los cuadrantes del cierre progresivo del 2014.

Obteniendo así; 8 cuadrantes de muestreo, luego se zonificó el área objeto de estudio de acuerdo a la cercanía de los puntos de muestreo determinados.

Se tomaron 09 muestras simples, por cada cuadrante de muestreo, obteniendo al final 16-30 muestras simples por muestra compuesta en ésta área de estudio. Se consiguieron 03 muestras compuestas del CM_2014. Ver anexo 04

Cierre progresivo del año 2018 (CM_2018):

Se ha elegido al azar la fila 27 de la tabla de números aleatorios, separando de tres en tres los dígitos hasta obtener los números que coinciden con alguno de los cuadrantes del cierre progresivo del 2018.

Obteniendo así 14 puntos de muestreo, luego se zonificó el área objeto de estudio de acuerdo a la cercanía de los puntos de muestreo determinados.

Se tomaron 09 muestras simples, por cada cuadrante de muestreo, obteniendo al final 25-42 muestras simples por muestra compuesta en ésta área de estudio. Se consiguieron 04 muestras compuestas del CM_2018. Ver anexo 05

Sitio no perturbado (NP):

Se ha elegido al azar la fila 03 de la tabla de números aleatorios, separando de dos en dos los dígitos hasta obtener los números que coinciden con alguno de los cuadrantes del sitio no perturbado.

Obteniendo así; 8 puntos de muestreo resaltados en verde, luego se zonificó el área objeto de estudio de acuerdo a la cercanía de los puntos de muestreo determinados.

Se tomaron 09 muestras simples, por cada cuadrante de muestreo, obteniendo al final 16-32 muestras simples por muestra compuesta en ésta área de estudio. Se consiguieron 03 muestras compuestas del NP. Ver anexo 06

3.3.3. ANÁLISIS DE MUESTRAS

Se han analizado 21 parámetros entre: Físicos, Químicos, Biológicos e Inorgánicos de los cuales 04 son de campo: Profundidad del horizonte A, Porcentaje de cobertura vegetal, tipo de cobertura vegetal predominante y Estructura, de los 19 restantes se analizó: el pH en agua (1:2, suelo: agua) por potenciometría; conductividad eléctrica (CE) (1:2,

suelo: agua) por conductimetría; materia orgánica (MO) calcinación de la muestra de suelo ; el % de Limo, % Arena, % Arcilla (Textura) por método Bouyoucos o Pipeta, Nitrógeno Total por el método Kjeldhal; el Fosforo (P) y el Potasio(K) por extracción simultánea de los mismos mediante un reactivo a base de Cloruro de Sodio; la Capacidad de intercambio Catiónico (CIC) por saturación de dicha capacidad por medio del Sodio; Metales pesados (Ar, Ba, Cd, Cr, Pb) por el Método EPA3051.2007, Hg por el método EPA 74718 Rev 02 2007, Cianuro libre por el método EPA 9013^a REV 02 2014.

Tabla 4: Cuadro resumen del tipo de análisis de cada parámetro objeto de estudio.

	parámetros físicos	parámetros inorgánicos	parámetros químicos	parámetros biológicos
ANÁLISIS DE LABORATORIO		Arsénico		
		Bario		
		Cadmio		
		Cromo		
		Mercurio		
		Plomo		
		Cianuro Libre		
			pH	
			N total	
			P	
			K	
			salinidad (conductividad eléctrica)	
			capacidad de intercambio catiónico	
	Arcilla			
	Arena			
	Limo			
				contenido de materia orgánica
ANÁLISIS DE CAMPO	estructura			
	profundidad del horizonte A			
				porcentaje de cobertura vegetal
				especies vegetativas o tipo de cobertura vegetal predominante

3.3.4. ESTUDIO DE CRONOSECUENCIA

Este método fue usado para determinar el comportamiento en el tiempo de los 21 parámetros objeto de estudio cruzando información de los resultados de laboratorio de CM_2014, CM_2018 y NP.

3.3.5. FOTOGRAMETRÍA CON UAS (SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS)

Ésta técnica se ha usado para determinar el parámetro de porcentaje de cobertura vegetal de las 03 áreas objeto de estudio: CM_2014, CM_2018 y NP.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 5: Descripción detallada de las variables independientes y dependiente

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICE	UNIDAD DE MEDIDA
INDEPENDIENTE			
CALIDAD DEL SUELO	PARÁMETROS INORGÁNICOS, FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS	Arsénico	mg/kg peso seco
		Bario	mg/kg peso seco
		Cadmio	mg/kg peso seco
		Cromo	mg/kg peso seco
		Mercurio	mg/kg peso seco
		Plomo	mg/kg peso seco
		Cianuro Libre	mg/kg peso seco
		pH	pH
		N total	%
		P (Fósforo)	ppm
		K (Potasio)	ppm
		conductividad eléctrica (salinidad)	mmhos/cm
		capacidad de intercambio catiónico	meq/100g
		profundidad del horizonte A	cm
		Arena	%
		Limo	%
		Arcilla	%
		Grado de estructura	0,1,2 o 3
		porcentaje de cobertura vegetal	%
		Cantidad promedio de <i>Festuca dolichophylla</i>	unidades numéricas
contenido de materia orgánica	%		
DEPENDIENTE			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	LONGITUD	Área	Hectáreas
	EDAD	años	tiempo

3.5. MÉTODO ESTADÍSTICO

En la primera etapa con el objetivo de seleccionar el sitio no perturbado idóneo se procedió a determinar el número de muestras significativas para las muestras tomando como unidad de muestreo a la cantidad de especies vegetativas predominantes de los 02 sitios estudiados no perturbados por la actividad minera, con un 20% de error por área objeto de estudio.

Para ello se aplicó el índice de número significativo de muestras cuya fórmula es:(Mostacedo y Fredericksen, 2000)

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{E^2 + \frac{t^2 \times CV^2}{N}}$$

Donde:

n = número de unidades muestrales

E = error con el que se quiere obtener los valores de un determinado parámetro

t = valor que se obtiene de las tablas de “t” de Student.

N = total de unidades muestrales en toda la población

CV = coeficiente de variación; para obtener este valor es necesario hacer un muestreo piloto

Se determinó al sitio no perturbado por la actividad minera más adecuado para comparación mediante el “Índice De Similitud De Sorensen” o coeficiente de Dice, el cual en base a datos cualitativos de presencia o ausencia de las especies vegetativas predominantes se determina el porcentaje de similitud entre parcelas, se selecciona al sitio no perturbado que alcance el porcentaje de similitud más alto respecto al cierre de mina del 2014; cuya fórmula es la siguiente (Mostacedo y Fredericksen, 2000):

$$IS = \frac{2C}{A+B} \times 100$$

Donde:

A= Número de especies encontradas en el sitio A

B= Número de especies encontradas en el sitio B

C= Número de especies comunes ambos sitios

Como apoyo informático se ha establecido un dendograma con los resultados en el programa estadístico PAST 4.1.

Para la identificación de los indicadores de calidad del suelo representativos de rehabilitación de los cierres progresivos de mina a tajo abierto del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada; de los resultados de 10 muestras compuestas de las 03 áreas objeto de estudio de la segunda etapa (CM_2014,CM_2018 y NP); se analizaron los 21 parámetros en total; utilizando el análisis de componentes principales (ACP) en el software Rstudio y su extensión R comander y factomineR. Con este análisis se obtuvo un plano principal y un círculo de correlaciones a partir de los dos primeros componentes con mayor significancia en el ACP (Rios, 2018)

Con los resultados de las muestras analizadas en laboratorio se determinaron análisis descriptivos de los valores medios, el ANOVA de un factor y la prueba de Tukey para el estudio de cronosecuencia en las 03 áreas estudiadas. Estos contrastes sirvieron para complementar la información del análisis de componentes principales e interpretar la dinámica de los parámetros objeto de estudio en los suelos estudiados (Pérez et al., 2012). Para estos análisis se utilizó el programa SPSS.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. SELECCIÓN DEL SITIO NO PERTURBADO

Se ha determinado el número de cuadrantes significativos por lugares analizados; el número de muestras por áreas estudiadas se muestra en la figura 01, además de indicar cuantas muestras eran faltantes para considerarlas representativas.

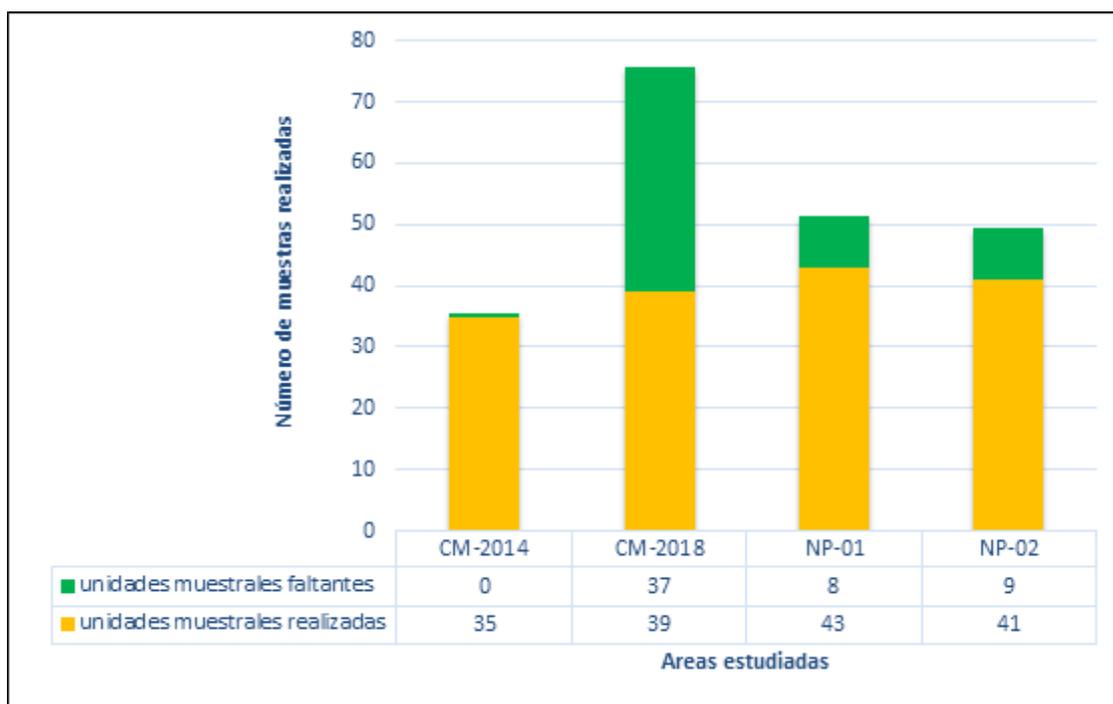


FIGURA 01: Número de muestras significativas por área estudiada en las 04 áreas objeto de estudio

Se ha determinado a la mejor área no perturbada como sitio de referencia, mediante el índice de similaridad de Sorensen o coeficiente de Dice, este índice lo que hace es comparar la similaridad en especies vegetales con todos los sitios objeto de estudio, así se tendrá certeza del grado de similitud de especies en un grado de ausencia/presencia.

Tabla 6: Resultados del índice de similaridad de Sorensen entre las 04 áreas estudiadas

CM-2014,NP-1	CM-2014,NP-2	CM-2018, NP-1	CM-2018, NP-2	CM-2014,CM-2018	NP-1, NP-2
0.77	0.76	0.69	0.79	0.63	0.83

Nota: el número más cercano a la unidad representa una mayor similaridad entre dos áreas

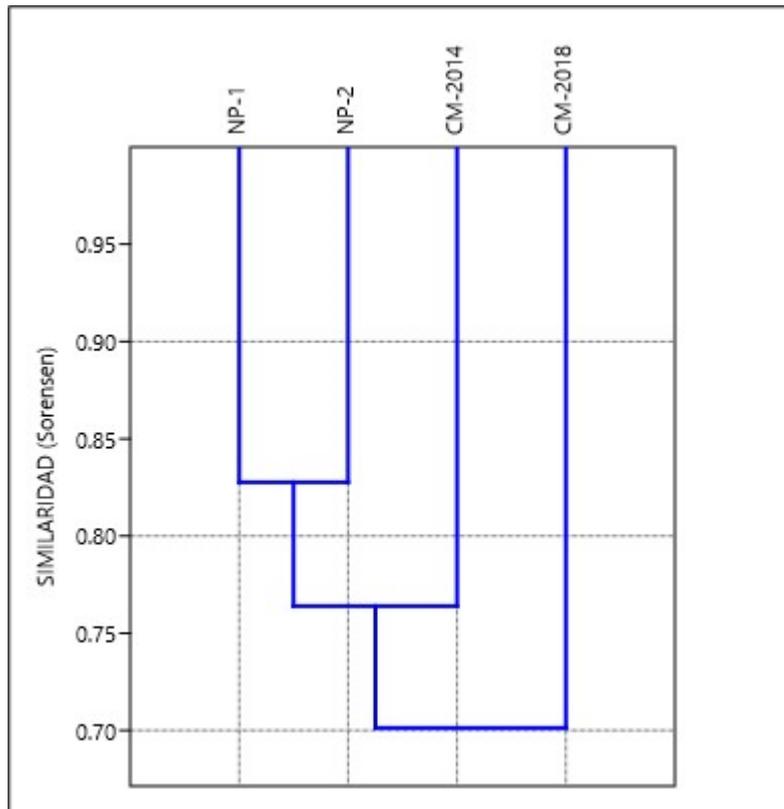


FIGURA 02: Dendrograma de la similaridad de Sorensen de las 04 áreas estudiadas

Se puede interpretar de la gráfica precedente lo siguiente:

- La similaridad de especies entre los sitios no perturbados muestra que es indistinto para su elección como sitio de referencia respecto al cierre progresivo de mina del 2014; la similaridad de parcelas según Erskine et al., (2019), demuestran que con un 25 a 30% de similaridad se pueden agrupar parcelas, no

obstante ellos muestrearon vegetaciones de tipo boscosas (arbustos, bosques y pastizales) lo que los llevó a tener hasta 03 grupos de parcelas; la presente investigación presenta similitudes más rigurosas (70-77%) y eso se debe a que las áreas muestreadas son exclusivamente pastizales; numéricamente hablando el sitio de referencia más adecuado para compararlo sería el "NP-01".

- Mientras más longevidad tenga el cierre progresivo de mina la similitud con los sitios no perturbados será equiparable; lo que responde a la filosofía de los cierres de mina, y guarda relación con las investigaciones de ecosistemas en desarrollo donde afirman que los sitios de referencia se usan para determinar los resultados de los esfuerzos de la revegetación (Erskine et al., 2019). Por ende resulta lógico escoger al sitio de referencia no perturbado respecto al cierre de mina más antiguo; es decir al cierre progresivo de mina del 2014.

4.2. RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOS

4.2.1. PROFUNDIDAD DEL HORIZONTE A

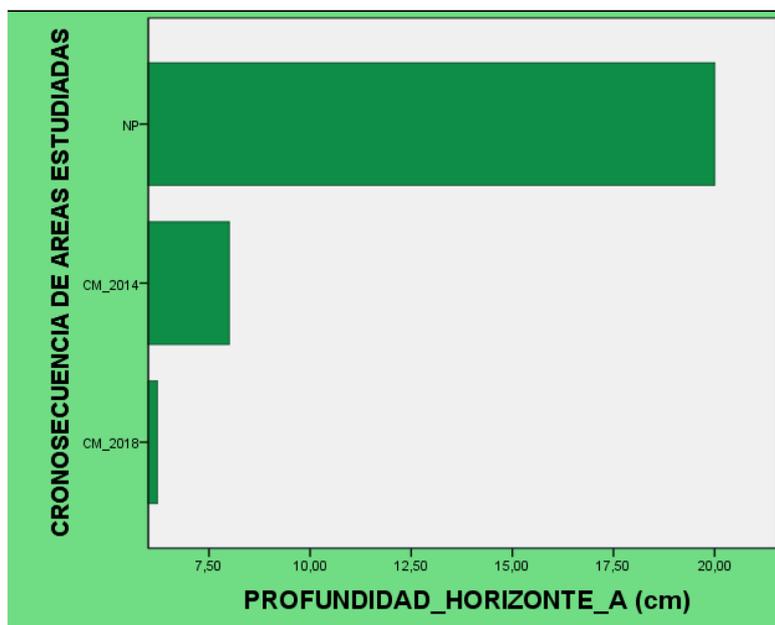


FIGURA 03: Cronosecuencia de la profundidad del Horizonte A de las 03 áreas estudiadas

De la figura 03, la profundidad del Horizonte A en valores medios de la cronosecuencia de las áreas estudiadas muestran una tendencia positiva en el tiempo, además, de acuerdo a la tabla 7, existe una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tres sitios estudiados; es decir que existe una clara disonancia entre el área rehabilitada hace 5 años (CM_2014) y el área rehabilitada hace 1 año (CM_2018) cuya comparación respecto al sitio no perturbado muestra una contundente diferencia.

Tabla 7: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a la profundidad del Horizonte A.

ANOVA					
PROFUNDIDAD HORIZONTE A					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6589,117	2	3294,559	337,679	,000
Dentro de grupos	2136,667	219	9,756		
Total	8725,784	221			

Por otro lado, la prueba de Tukey (ver tabla 8) ratifica la diferencia; donde se puede visualizar 03 grupos diferentes, el valor ideal (20 cm) de la profundidad del horizonte A está lejos de ser alcanzado en 4 años (CM_2014); por eso la vegetación y el tiempo juegan un papel importante en la diferenciación de horizontes y propiedades de los suelos; resulta razonable que en las primeras etapas sucesionales se formen horizontes O hasta llegar a horizontes más evolucionados y mejor definidos. (Bautista et al., 2005).

Tabla 8: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto a la profundidad del Horizonte A

PROFUNDIDAD HORIZONTE A				
HSD Tukey ^{a,b}				
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
CM_2018	108	6,2222		
CM_2014	66		8,0000	
NP	48			20,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000

4.2.3. TEXTURA

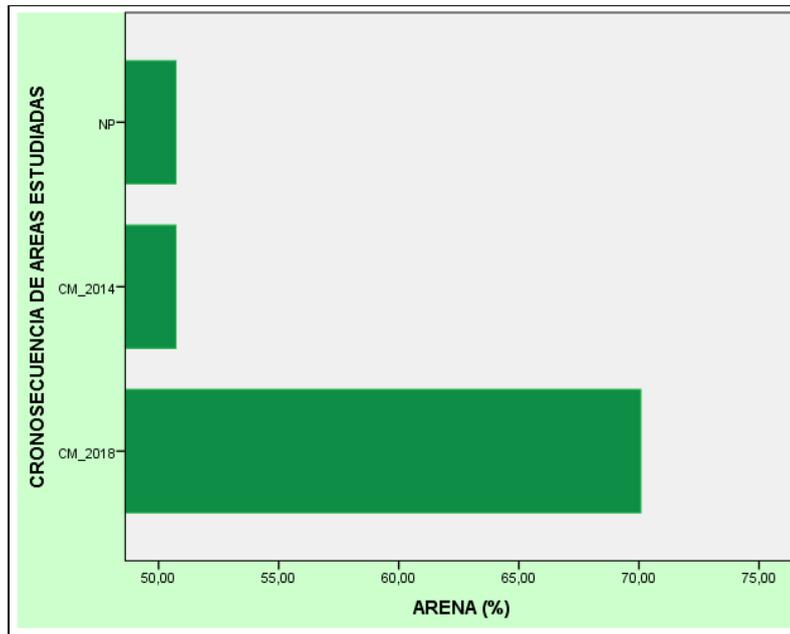


FIGURA 04: Cronosecuencia del Porcentaje de Arena de las 03 áreas estudiadas

La figura 04, muestra una tendencia negativa en el tiempo de los valores medios del porcentaje de Arena de las áreas estudiadas.

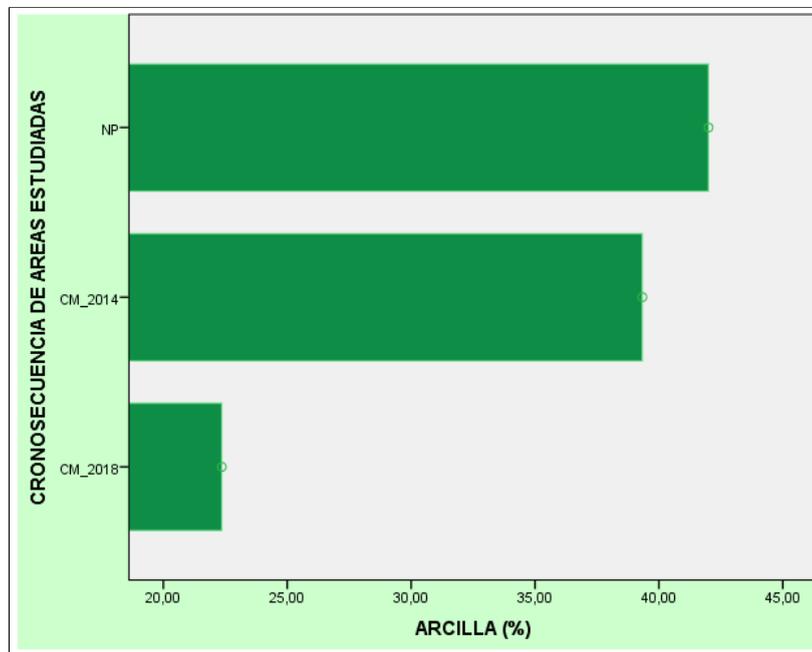


FIGURA 05: Cronosecuencia del Porcentaje de Arcilla de las 03 áreas estudiadas

La figura 05, muestra una tendencia positiva en el tiempo de los valores medios del porcentaje de Arcilla de las áreas estudiadas.

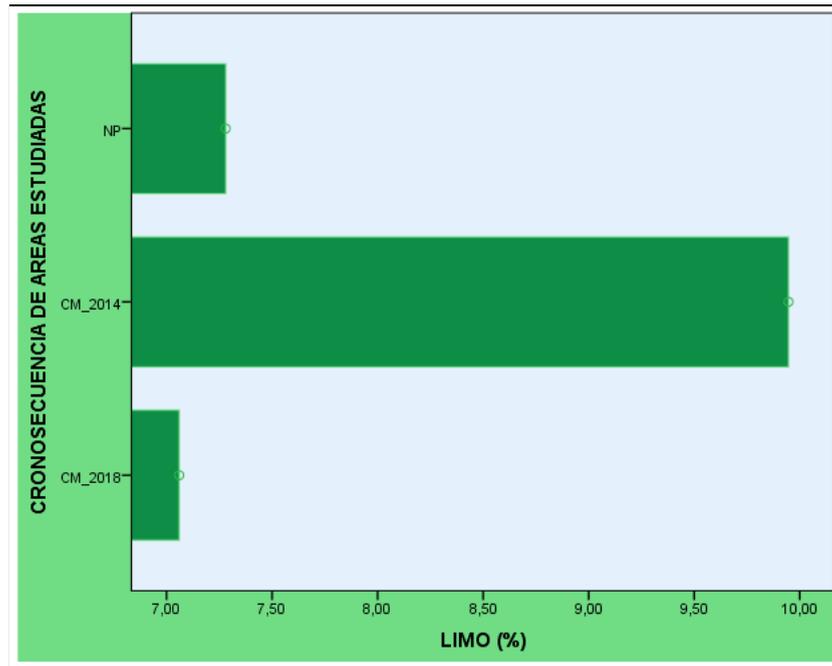


FIGURA 06: Cronosecuencia del Porcentaje de Limo de las 03 áreas estudiadas

La figura 06, no muestra una tendencia clara en el tiempo de los valores medios del porcentaje de Arcilla de las áreas estudiadas.

En general la textura del suelo es franco arenosa (FA) tanto para los cierres progresivos de mina como para el sitio no perturbado. Los resultados fueron procesados en términos de % de arena, % Limo y % de arcilla, donde se aprecia que el cierre de mina del 2018 (CM_2018) tiene diferencia significativa ($P < 0.05$) en % arena y % de arcilla con las otras dos áreas estudiadas (ver figuras 04 y 05); y respecto al % de limo no existe diferencia significativa ($P > 0.05$) (ver figura 06). Zhang et al., (2016), Ahirwal & Maiti, (2016); al respecto obtuvieron valores superiores al 60% de porcentaje de arena en todos los sitios estudiados (suelos rehabilitados y suelos no perturbados) y los porcentajes de arcilla fueron más elevados en los sitios rehabilitados en comparación con los suelos no perturbados, respecto al porcentaje de limo no existe diferencia; la similitud de resultados afirma que los suelos de mina rehabilitados presentan una cantidad

preponderante de % de Arena lo que puede, en la mayoría de los trabajos de investigación, definir la clase textural del suelo de mina rehabilitado.

Tabla 9: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a la Textura (% arena, % arcilla, % de limo)

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ARENA	Entre grupos	899,543	2	449,772	14,466	,003
	Dentro de grupos	217,638	7	31,091		
	Total	1117,181	9			
LIMO	Entre grupos	16,457	2	8,229	1,942	,213
	Dentro de grupos	29,667	7	4,238		
	Total	46,124	9			
ARCILLA	Entre grupos	814,988	2	407,494	16,179	,002
	Dentro de grupos	176,305	7	25,186		
	Total	991,293	9			

Por otro lado, la prueba de Tukey (ver tabla 10) respecto al porcentaje de arena; se puede visualizar dos grupos diferentes, donde el CM_2018, tiene el suelo con mayor porcentaje de arena la cual en términos de cronosecuencia es razonable ya que con el pasar del tiempo el porcentaje de arena irá disminuyendo por el aporte orgánico y el intemperismo ocasionado por el desarrollo de la cobertura vegetal con tendencia a llegar a su valor ideal; Ahirwal & Maiti, (2016) ratifica lo argumentado al obtener una reducción del porcentaje de arena del 10 al 23% en los diferentes perfiles de suelo. Pero se debe tener presente que en el corto plazo representa un problema en la resistencia del ecosistema. Debido a esta condición, el suelo no puede retener y almacenar agua en grandes cantidades, por lo que es muy susceptible a la erosión, deslizamientos de tierra y sedimentación. Estas condiciones también aumentarán la lixiviación de nutrientes en el suelo (Oktavia et al., 2015)

Tabla 10: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de Arena

% ARENA			
HSD Tukey ^{a,b}			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
NP	3	50,7200	
CM_2014	3	50,7200	
CM_2018	4		70,0800
Sig.		1,000	1,000

Se denota, según las pruebas de tukey, que respecto al porcentaje de arcilla; se puede visualizar dos grupos diferentes donde otra vez el cierre de mina del 2018 obtiene el protagonismo; Ahirwal & Maiti, (2016) no obstante, reportó más porcentaje de arcilla en suelos mineros rehabilitados que en los suelos no perturbados, tomando en cuenta que los suelos mineros rehabilitados datan de hace 25 años, el intemperismo ocasionado en el tiempo por la vegetación, el uso de enmiendas orgánicas, el manejo del top soil en el proceso de rehabilitación son los factores que influyen en los elevados porcentajes de Arcilla (Sheoran et al., 2010).

Tabla 11: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de Arcilla

% ARCILLA			
HSD Tukey ^{a,b}			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
CM_2018	4	22,3600	
CM_2014	3		39,3333
NP	3		42,0000
Sig.		1,000	,782

La prueba de tukey; Respecto al porcentaje de Limo la cronosecuencia muestra un comportamiento atípico, en gran medida atribuible al origen del top soil usado como cobertura en ese momento, no obstante no son significativamente diferentes respecto a los otros sitios estudiados; (Velásquez, 2017) también encontró valores equiparables

entre los suelos mineros rehabilitados y sitios no perturbados(entre 10-13%), el Limo no cambia sus propiedades con el tiempo y su presencia se debe en gran medida a la vegetación existente (Sheoran et al., 2010).

Tabla 12: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de Limo

% LIMO		
HSD Tukeya,b		
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
CM_2018	4	7,0600
NP	3	7,2800
CM_2014	3	9,9467
Sig.		,240

4.2.4. ESTRUCTURA

Respecto a éste parámetro se percibe que los cierres progresivos de mina CM_2014 y CM_2018 se caracterizan por presentar una estructura de grado 1 eso indica una granulometría fina; en contraste al sitio de referencia (NP) el cual presenta una estructura 2 es decir una granulometría muy fina; al respecto (Zhang et al., 2016) obtuvo resultados de estructura similar entre suelos de sitios rehabilitados con suelos no perturbados de hace 13 años , eso da a entender que el tiempo en los suelos rehabilitados juega un papel fundamental para lograr sus valores ideales en ese orden de relevancia otro parámetro como el tipo de cobertura vegetal es igual de importante(Spain et al., 2006).



FIGURA 07: Cuadro comparativo de estructura entre las 03 áreas estudiadas

4.3. RESULTADOS DE PARÁMETROS QUÍMICOS

4.3.3. PH

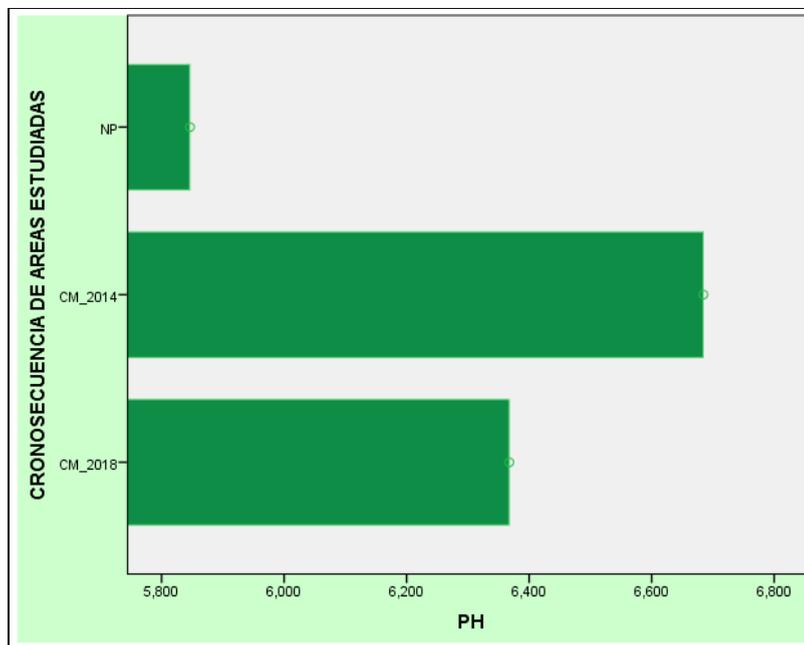


FIGURA 08: Cronosecuencia de pH de las 03 áreas estudiadas

El pH en valores medios de la cronosecuencia de las áreas estudiadas no presentan una clara tendencia; el ANOVA muestra una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el área no perturbada y los cierres progresivos de mina.

Tabla 13: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al pH

ANOVA					
PH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,078	2	,539	25,141	,001
Dentro de grupos	,150	7	,021		
Total	1,229	9			

La tabla 14 muestra una representación atípica ya que el pH de los cierres de mina realizados denota unos suelos menos ácidos que el suelo del área no perturbada,

además parece no haber una marcada tendencia decreciente de los valores de pH a lo largo del tiempo. Al respecto (Ahirwal y Maiti, 2016), también obtuvieron valores ácidos (4.5-6.5) tanto de los suelos de sitios mineros rehabilitados hace 25 años y suelos no perturbados; del mismo modo (Pérez et al., 2012) obtuvieron valores ácidos (6.8-7) con tendencia a bajar sus valores en el tiempo (20 años de rehabilitados), la comparación de resultados permite afirmar que, la mayoría de suelos rehabilitados son ácidos y los valores no varían mucho en el tiempo los cuales se equiparan entre los sitios estudiados.

Tabla 14: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al pH

PH			
HSD Tukey ^{a,b}			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
NP	3	5,84633	
CM_2018	4		6,36750
CM_2014	3		6,68433
Sig.		1,000	,064

4.3.4. NITROGENO TOTAL (N)

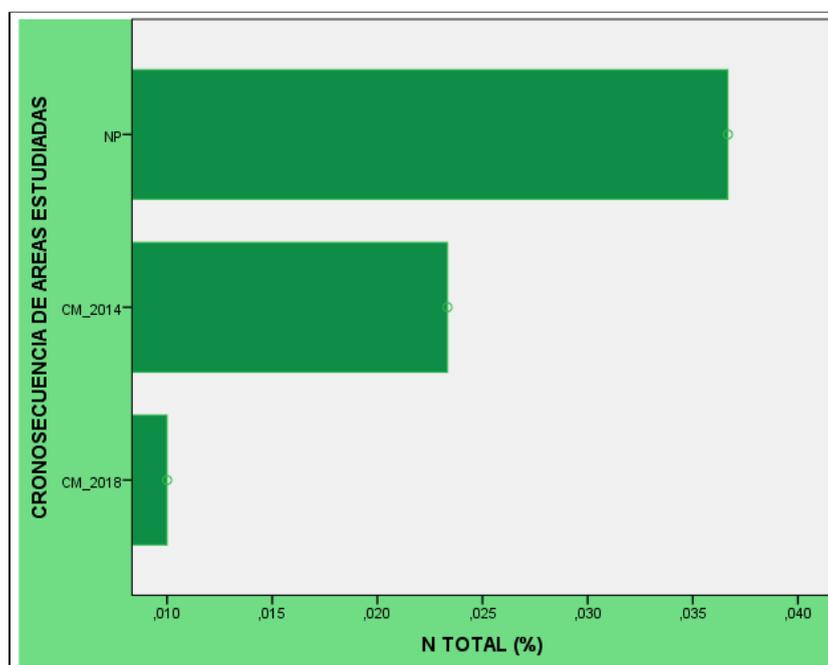


FIGURA 09: Cronosecuencia del Porcentaje de Nitrógeno total de las 03 áreas estudiadas

Respecto al Nitrógeno total (N), de la figura 9 se puede interpretar una tendencia positiva de valores hacia el sitio no perturbado. No obstante la prueba del ANOVA no muestra una diferencia significativa ($P > 0.05$) por ende los valores en las tres áreas estudiadas son similares.

Tabla 15: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al N total

ANOVA					
N_potencialmente mineralizable					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,001	2	,001	8,050	,015
Dentro de grupos	,001	7	,000		
Total	,002	9			

La prueba de tukey (ver tabla 16) no dilucida una diferencia notable entre los cierres de mina respecto al sitio no perturbado. En términos de cronosecuencia los valores de N total de los cierres progresivos de mina tienen una tendencia positiva hacia su valor ideal, aunque los resultados obtenidos por (Ahirwal y Maiti, 2016) contradicen lo afirmado ya que ellos obtuvieron valores decrecientes (en razón de 74%) en los suelos de sitios mineros rehabilitados en comparación con suelos no perturbados; la contrariedad se debe a factores ecosistémicos externos que pueden influir en la disponibilidad del nitrógeno total en el suelo (Bradshaw, 1997); también se debe considerar el desarrollo de la cobertura vegetal, acumulación de carbono orgánico y de la mineralización del suelo los cuales influyen en la rápida disponibilidad de Nitrógeno total (N total) (Pérez et al., 2012)

Tabla 16: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al N total

N			
HSD Tukey ^{a,b}			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
CM_2018	4	,0100	
CM_2014	3	,0233	,0233
NP	3		,0367
Sig.		,194	,194

4.3.5. FÓSFORO (P)

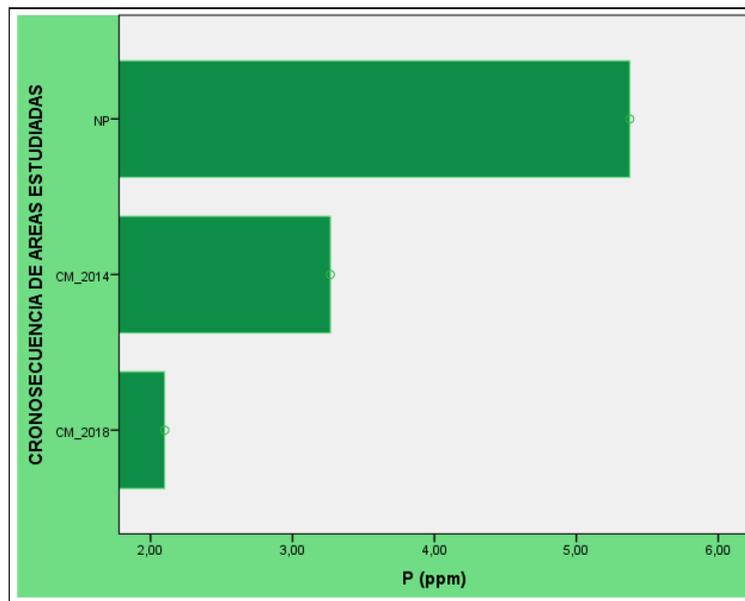


FIGURA 10: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al P

El Fósforo (P) en valores medios de la cronosecuencia de las áreas estudiadas aparentemente presentan una clara tendencia positiva (ver figura 10), pero la prueba del ANOVA ($P > 0.05$) dimite lo graficado (ver tabla 17).

Tabla 17: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al P

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
P	Entre grupos	18,524	2	9,262	3,194	,103
	Dentro de grupos	20,298	7	2,900		
	Total	38,822	9			

Eso también es avalado por la prueba de tukey de la tabla 18, donde no hay grupos distintos según los valores medios. los resultados obtenidos por (Ahirwal y Maiti, 2016) pueden revelar la posible tendencia del fósforo en el tiempo donde los valores en suelos mineros rehabilitados, hace 25 años, se mantuvieron ligeramente constantes (los resultados variaron entre 30-34%); (Pérez et al., 2012), en cambio obtuvo contenidos

menores de P en el tiempo en los suelos mineros rehabilitados, según los autores, asociado a que las parcelas se encuentran a diferentes relieves del paisaje, que no es el caso de los cierres progresivos de mina de la Cooperativa Minera Limata Limitada; por ende la cronosecuencia del P se debe mantener en el tiempo.

Tabla 18: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al P

P		
HSD Tukey ^{a,b}		
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
CM_2018	4	2,1000
CM_2014	3	3,2667
NP	3	5,3767
Sig.		,097

4.3.6. POTASIO (K)

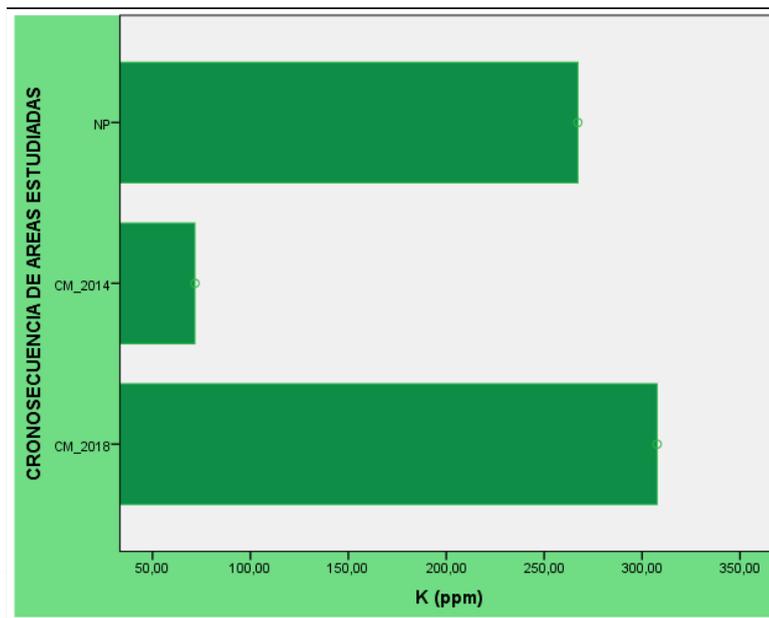


FIGURA 11: Cronosecuencia de áreas estudiadas respecto al K

Respecto al Potasio (K) del gráfico no se muestra una clara tendencia en valores medios de la cronosecuencia de las áreas estudiadas (ver figura 11), la prueba del ANOVA ($P > 0.05$) ratifica lo graficado (ver tabla 19)

Tabla 19: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a K

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
K	Entre grupos	103178,719	2	51589,359	2,991	,115
	Dentro de grupos	120751,113	7	17250,159		
	Total	223929,832	9			

La prueba de tukey (ver tabla 20) no encuentra una diferencia significativa de sus valores muestrales por lo que no se puede afirmar una tendencia al incremento de Potasio (K) en términos de cronosecuencia de las áreas estudiadas, o puede suceder que los valores se mantengan así como lo demostró (Ahirwal y Maiti, 2016) donde los valores de K no difirieron más de 10%. respecto a los suelos no perturbados, del mismo modo (Velásquez, 2017) no obtuvieron valores diferentes entre los sitios estudiados.

Tabla 20: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al K

K		
HSD Tukey ^{a,b}		
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
CM_2014	3	71,6733
NP	3	267,1633
CM_2018	4	307,6425
Sig.		,122

4.3.7. SALINIDAD (CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA)

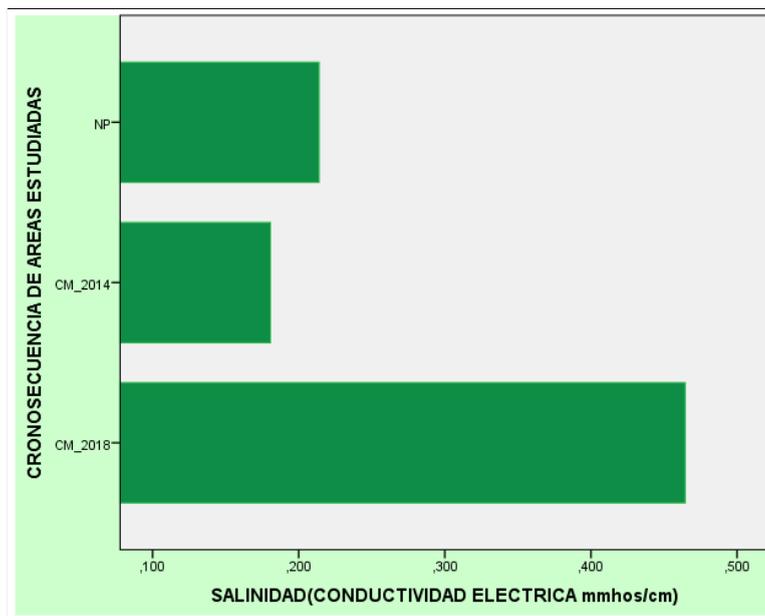


FIGURA 12: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto a la conductividad eléctrica

Respecto a la conductividad eléctrica (CE) del gráfico se puede afirmar que los valores se estabilizan pasados 4 años (ver figura 12), la prueba del ANOVA ($P < 0.05$) denota que existe diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 21)

Tabla 21: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a Conductividad eléctrica

ANOVA					
CE					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,173	2	,086	16,607	,002
Dentro de grupos	,036	7	,005		
Total	,209	9			

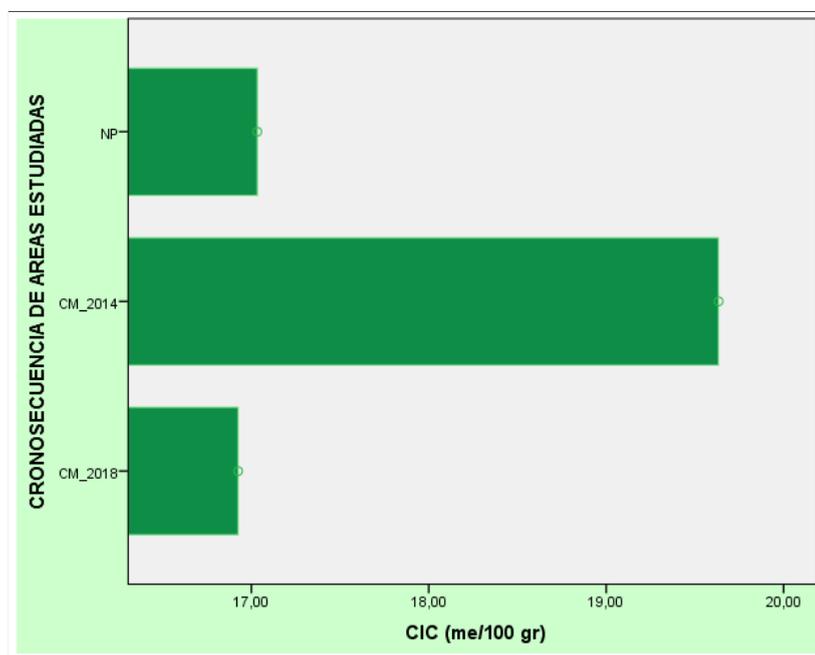
Unos valores de conductividad eléctrica elevada expresan mayor salinidad; en términos de cronosecuencia se percibe que la conductividad eléctrica es mayor en cierres de mina jóvenes (CM_2018) y que se estabiliza hacia sus valores ideales con el pasar de los años esto es ratificado por la prueba de tukey (ver tabla 22) donde se agrupan los valores del CM_2014 y del sitio no perturbado; estudios similares (Ahirwal y Maiti, 2016) obtuvieron

resultados semejantes, donde los valores de CE fueron más altos en los suelos de sitios mineros rehabilitados (desde 0,03 a 0,46 dS/m) que el sitio no perturbado, a pesar de que en su estudio diferenciaron 03 profundidades de suelo (0-20, 20-40, 40-60 cm); la variabilidad de la conductividad eléctrica se atribuye al incremento de potasio (K) en etapas tempranas y Calcio (Ca) en etapas avanzadas (Pérez et al., 2012).

Tabla 22: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto a la conductividad eléctrica

CE			
HSD Tukey ^{a,b}			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
CM_2014	3	,18067	
NP	3	,21400	
CM_2018	4		,46450
Sig.		,829	1,000

4.3.8. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO



FÍGURA 13: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto a la Capacidad de Intercambio Catiónico

Respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) no hay un comportamiento predecible (ver figura 13), la prueba del ANOVA ($P > 0.05$) denota que no existe diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 23).

Tabla 23: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto a la CIC

ANOVA					
CIC					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14,900	2	7,450	1,072	,392
Dentro de grupos	48,641	7	6,949		
Total	63,541	9			

Unos valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC) elevado expresan mayor riqueza del suelo en términos de calidad; en términos de cronosecuencia no se percibe que la CIC tenga tendencia positiva esto es ratificado por la prueba de tukey donde no se diferencian las 03 áreas estudiadas, investigaciones realizadas por (Ahirwal y Maiti, 2016) denotan una diferencia de 5 cmol/kg entre los suelos mineros rehabilitados hace 25 años y suelos no perturbados, otra investigación de (Guanilo, 2006) contemplan que suelos mineros rehabilitados presentan valores entre 24.96 a 49.60 me/100g y se equiparan al suelo no perturbado (33.60 me/100gr) lo que advierte que la CIC no varía demasiado en el tiempo; un dato no menor advierte que el rango de valores obtenidos (10 – 20 mg/100g) de las 03 áreas estudiadas denota un suelo de nivel bajo o suelo pobre (Garrido, 1994)

Tabla 24: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto a la CIC

CIC		
HSD Tukey ^{a,b}		
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
CM_2018	4	16,9250
NP	3	17,0333
CM_2014	3	19,6333
Sig.		,432

4.4. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS

4.4.3. MATERIA ORGÁNICA

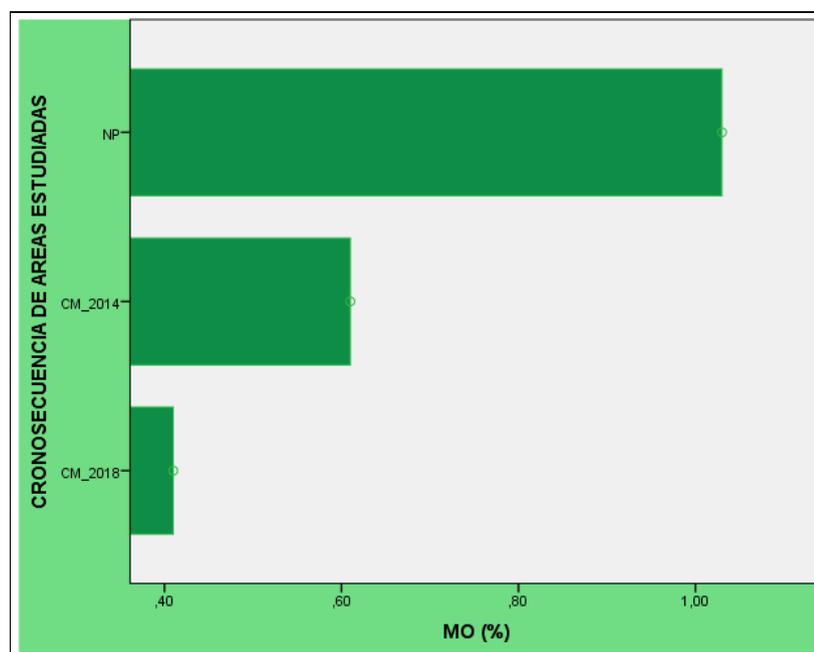


FIGURA 14: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de materia orgánica

Respecto a la materia orgánica el comportamiento es de tendencia positiva (ver figura 14), la prueba del ANOVA ($P < 0.05$) denota diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 25).

Tabla 25: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de materia orgánica

ANOVA					
MO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,668	2	,334	15,202	,003
Dentro de grupos	,154	7	,022		
Total	,822	9			

La prueba de tukey (ver tabla 26) agrupa los cierres progresivos de mina respecto del sitio de referencia estudiado; aunque después de 4 años (CM_2018 - CM_2014) no se evidencia una diferencia notable entre sus valores de materia orgánica, la cronosecuencia de la materia orgánica (MO) en suelos mineros rehabilitados suele ser ascendente por ejemplo (Pérez et al., 2012; Guanilo, 2006) obtuvieron valores

equiparables entre los suelos mineros rehabilitados y sitios no perturbados (oscilan entre 8 y 10%) eso debido a que la vegetación alcanza madurez y repercute en el aporte orgánico del suelo.

Tabla 26: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al porcentaje de materia orgánica

MO			
HSD Tukey ^{a,b}			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
CM_2018	4	,4100	
CM_2014	3	,6100	
NP	3		1,0300
Sig.		,262	1,000

4.4.4. TIPO DE COBERTURA VEGETAL

El tipo de cobertura vegetal predominante en los tres sitios objeto de estudio es la de tipo pajonal andino; sub tipo césped de Puna.

Este tipo de cobertura vegetal se caracteriza por estar conformado mayormente por herbazales; el subtipo “césped”, al que se hace referencia, se caracteriza por que las especies que lo conforman llegan a alturas de hasta 15 cm y está dominado por gramíneas y graminoides, con inclusiones de especies en forma de cojines o almohadillas. (MINAM, 2015)



FIGURA 15: Fotos comparativas del tipo de cobertura vegetal de las 03 áreas estudiadas

A pesar del parecido de las tres áreas estudiadas; las condiciones para el establecimiento tanto de la productividad como de la diversidad de la cobertura vegetal en las áreas rehabilitadas, son la recuperación cuidadosa, la gestión activa y sobre todo el tiempo (Spieles et al., 2019). Al respecto (Spain et al., 2006) determinó que especies como *Acacias* se desarrollan muy rápidamente en una cronosecuencia de suelos mineros rehabilitados de 26 años, lo que permite el desarrollo de especies arbóreas (eucalipto), donde la cobertura vegetal del dosel de los eucaliptos con el pasar de los años ganó terreno respecto a las *Acacias*.

4.4.5. PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL

Éste parámetro se ha determinado mediante el procesamiento en ArcGIS 10.5 de los ortomosaicos obtenidos por la Fotogrametría con UAS (Sistemas aéreos no tripulados) de los tres sitios estudiados: CM_2014, CM_2018 y NP.

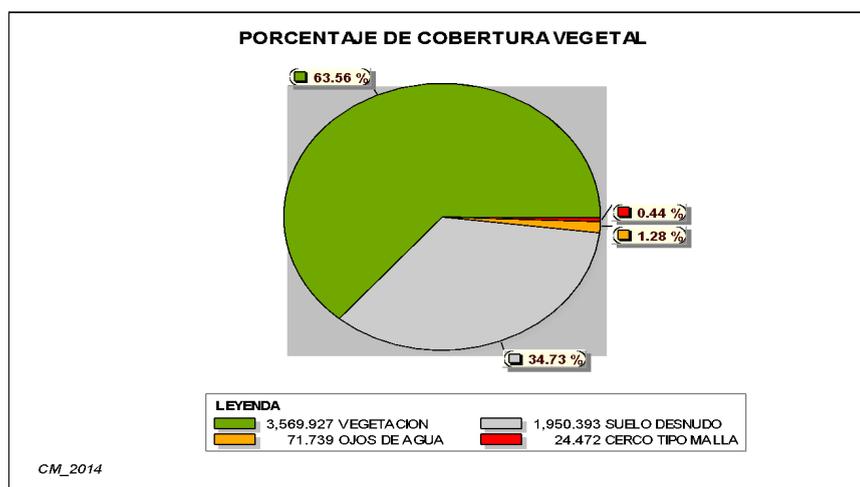


FIGURA 16: Porcentaje de cobertura vegetal del CM_2014

De la figura 16 existe más de la mitad (63.50%) de cobertura vegetal en el cierre de mina del 2014; se interpreta también indicios de encharcamiento de agua lo que indica la erosión del terreno, eso explicaría el 34.73% de suelo aún desnudo, no se vislumbra porcentajes significativos de abono orgánico en descomposición (ver anexo 07)

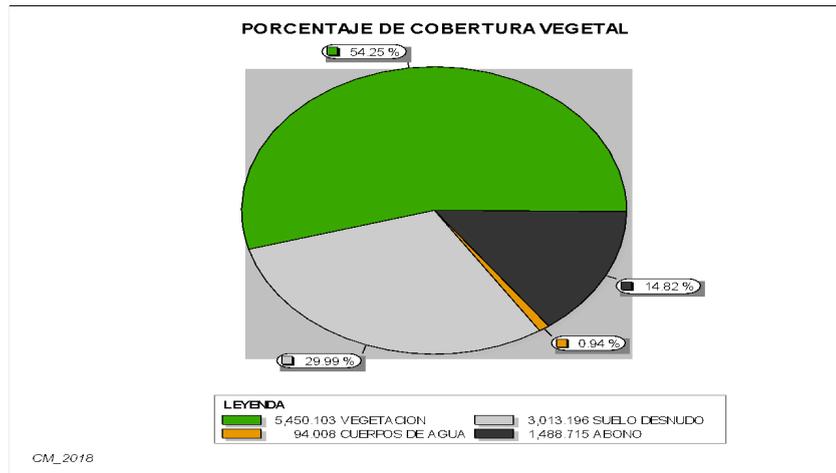


FIGURA 17: Porcentaje de cobertura vegetal del CM_2018

De la figura 17 existe un 54.25% de cobertura vegetal en el cierre de mina del 2018; se interpreta también que como es un suelo rehabilitado joven (hace 02 años) existe una buena cantidad de abono (14%) dispersado en el terreno que se encuentra aún en un proceso de descomposición natural, no es de sorprender el 29% de suelo desnudo presente en esta área estudiada. Se espera que en dos años más, el porcentaje de abono orgánico se descomponga totalmente (ver anexo 08).

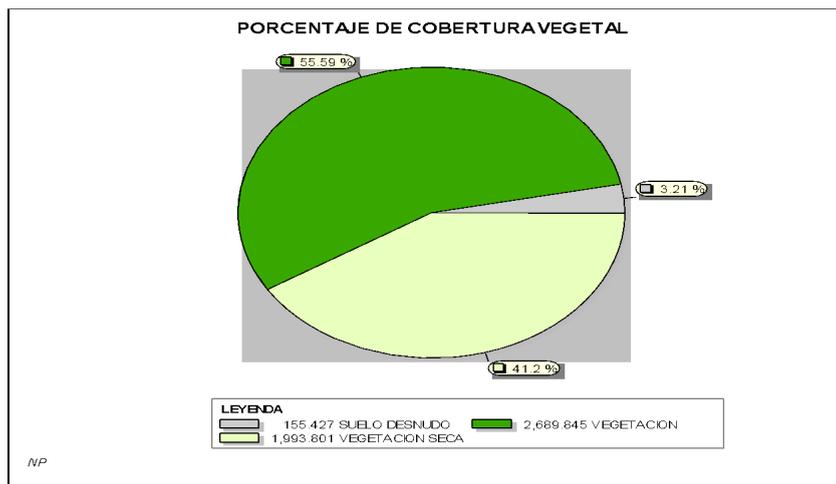


FIGURA 18: Porcentaje de cobertura vegetal para NP

De la figura 18 existe un 96.79% de cobertura vegetal en el suelo no perturbado; ya que la cobertura vegetal está compuesta de vegetación joven y vegetación seca producto de un desarrollo persistente en el tiempo del suelo y la vegetación, se denota también un porcentaje significativo de suelo desnudo (3%) (ver anexo 09). Éste comportamiento era predecible, no obstante no se contemplaba la importancia de la vegetación seca como parte integrante de la cobertura vegetal y al que deben aspirar los cierres de mina progresivos en el futuro; al respecto, (Spain et al., 2006) afirma que la vegetación seca tuvo un comportamiento lineal ascendente en porcentaje de cobertura seca logrando en 26 años valores semejantes con los sitios no perturbados (90%).

Una interpretación global permite afirmar que la cobertura vegetal en todos los sitios estudiados es superior al 50% con tendencia al ascenso; (Spain et al., 2006) determinó que en 26 años los suelos mineros rehabilitados superaron el porcentaje de cobertura vegetal de los sitios no perturbados en un 15%; porcentajes de cobertura vegetal cercanos al 98% de áreas rehabilitadas contribuye a una recuperación rápida de la estructura del suelo (Izquierdo et al., 2004), favoreciendo que componentes como el abono orgánico pierdan extensión debido a su propia descomposición e incentivo en el desarrollo de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo; una característica desapercibida es la presencia de vegetación seca la cual es preponderante sólo en el sitio NP.

4.5. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS INORGÁNICOS

4.5.1. ARSÉNICO (As)

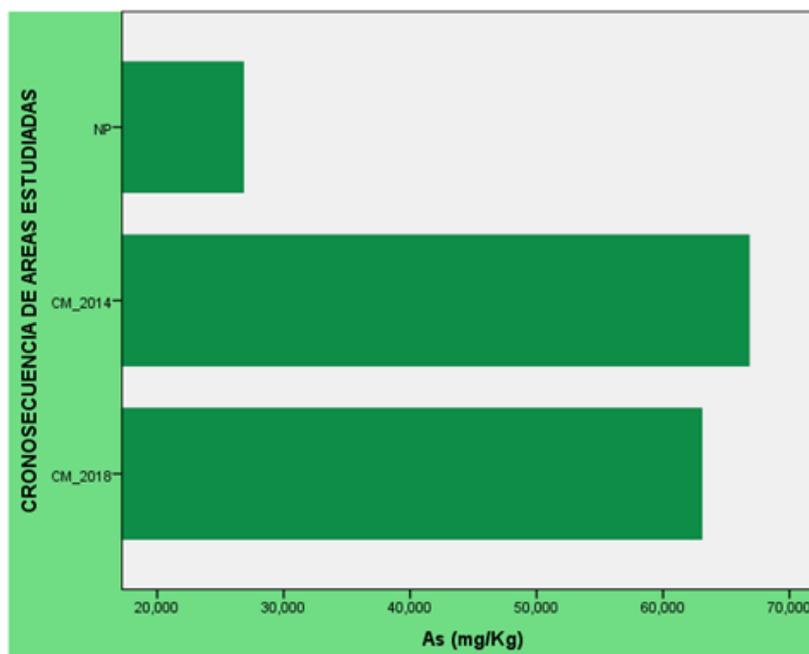


FIGURA 19: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Arsénico

Respecto al Arsénico el comportamiento en el tiempo no presenta una clara tendencia (ver figura 19), la prueba del ANOVA ($P < 0.05$) denota diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 27), sus valores superan la concentración basal más estricta de los ECA suelo de la legislación peruana (> 50 mg/Kg) para uso agrícola; los metales pesados, en especial el Arsénico es un elemento recalcitrante y crítico que difícilmente son sorbidos a arcillas en el suelo a pesar de la acidez característica de los suelos de los cierres de mina por ende no se espera que, en el tiempo, estos valores bajen significativamente. (Velásquez, 2017).

Tabla 27: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Arsénico

ANOVA					
As					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3031,917	2	1515,959	29,554	,000
Dentro de grupos	359,063	7	51,295		
Total	3390,980	9			

La prueba de tukey(ver tabla 28) agrupa los cierres progresivos de mina respecto del sitio no perturbado estudiado; donde las concentraciones de Arsénico en los cierres progresivos de mina(63 - 67 mg/kg) difieren en un 200% respecto al valor del sitio no perturbado(26 mg/kg); al respecto (Ruiz y Armienta, 2012) obtuvieron valores muy superiores al 200% entre suelos mineros no rehabilitados(3744 mg/kg) y suelos no perturbados por la actividad minera (52.1 mg/kg), eso refleja la importancia que tiene aplicar métodos de rehabilitación minera en suelos perturbados.

La disponibilidad de Arsénico es mayor en suelos arenosos, y en suelos con pH ácidos, no obstante es adsorbido e inmovilizado a medida que los niveles de concentración de Hierro (Fe) y Fósforo (P) son elevados por ende al momento de realizar la interpretación de indicadores se deben considerar estos parámetros, así lo demostró (Ynfa, 2017) donde demostró que una mayor concentración de Hierro en relaves mineros rehabilitados se traduce en una mayor concentración del mismo en las plantaciones de *Zea mays L. c.v. Cabañita* realizadas quedando adsorbidos en el suelo los niveles de Arsénico al no bioacumularse en las plantaciones de *Zea mays L. c.v. Cabanita*

Tabla 28: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Arsénico

As			
HSD Tukeya,b			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
NP	3	26,79100	
CM_2018	4		63,03100
CM_2014	3		66,77800
Sig.		1,000	,788

4.5.2. BARIO (Ba)

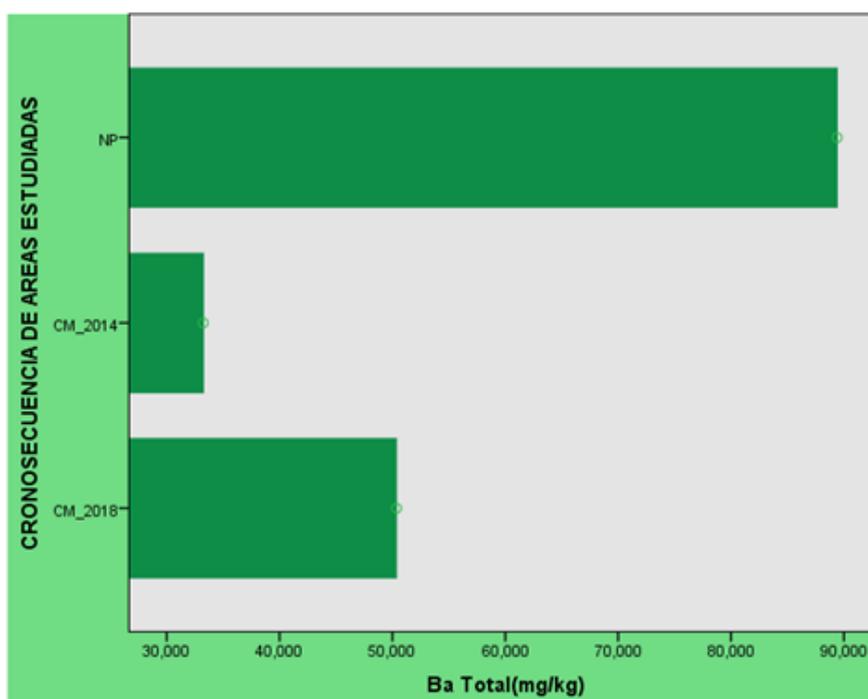


FIGURA 20: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Bario

Respecto al Bario el comportamiento en el tiempo no presenta una clara tendencia (ver figura 20), la prueba del ANOVA ($P < 0.05$) denota diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 29), y no superan la concentración basal más estricta de los ECA suelo de la legislación peruana ($< 750 \text{ mg/Kg}$) para uso agrícola.

Tabla 29: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Bario

ANOVA					
Ba					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5017,773	2	2508,887	53,092	,000
Dentro de grupos	330,788	7	47,255		
Total	5348,562	9			

La prueba de tukey(ver tabla 30) define grupos respecto a los tres sitios estudiados; no obstante los cierres progresivos de mina presentan menores concentraciones respecto al sitio no perturbado, del mismo modo que (Velásquez, 2017) obtuvo concentraciones mayores en los sitios no perturbados(156.30mg/kg) respecto a relaves mineros y suelos recuperados naturalmente(30-35 mg/kg), la justificación a tal afirmación tiene que ver con que el porcentaje de materia orgánica y el porcentaje de arcilla influyen de manera directamente proporcional en los niveles de concentración de éste metal pesado, que generalmente es inhibido en el suelo.

Tabla 30: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Bario Total

Ba				
HSD Tukeya,b				
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
CM_2014	3	33,23733		
CM_2018	4		50,35750	
NP	3			89,39000
Sig.		1,000	1,000	1,000

4.5.3. CADMIO (Cd)

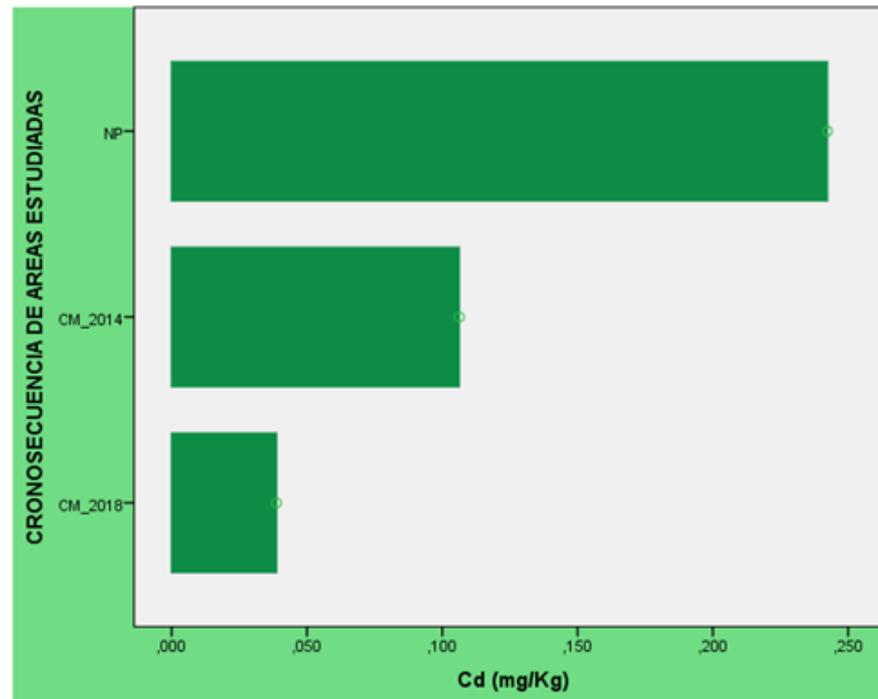


FIGURA 21: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Cadmio

Respecto al Cadmio el comportamiento en el tiempo pese a presentar una clara tendencia (ver figura 21), la prueba del ANOVA ($P > 0.05$) no denota diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 31) y no superan la concentración basal más estricta de los ECA suelo de la legislación peruana (< 1.4 mg/Kg) para uso agrícola; El Cadmio se mantiene estable en el tiempo (0.1 - 0.2 mg/kg) ya que será absorbido mientras la materia orgánica sea abundante (Huaynates, 2013); de acuerdo a la figura 21 en el corto plazo la adición de materia orgánica, en forma de abono, influyó en el proceso de estabilización de los niveles de concentración de Cadmio de los suelos de los cierres progresivos de mina.

Tabla 31: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Cadmio

ANOVA					
Cd					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,072	2	,036	6,766	,023
Dentro de grupos	,037	7	,005		
Total	,109	9			

La prueba de tukey(ver tabla 32) diferencia al cierre progresivo de mina más joven(CM_2018) respecto a los otros dos sitios estudiados(CM_2014 y NP); al respecto (Ruiz y Armienta, 2012) obtuvieron valores que difieren entre suelos mineros no rehabilitados(5.8 mg/kg) y suelos no perturbados por la actividad minera (3.5 mg/kg).

Tabla 32: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Cadmio

Cd			
HSD Tukeya,b			
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
CM_2018	4	,03875	
CM_2014	3	,10633	,10633
NP	3		,24233
Sig.		,497	,108

4.5.4. CROMO (Cr)

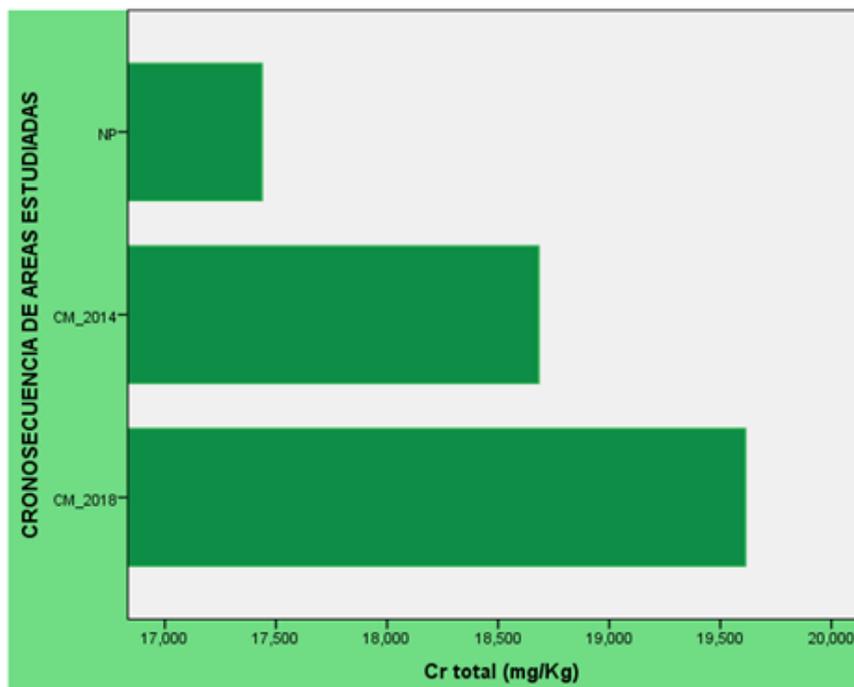


FIGURA 22: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Cromo total

Respecto al Cromo el comportamiento en el tiempo presenta una clara tendencia (ver figura 22), no obstante la prueba del ANOVA ($P > 0.05$) no denota diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 33), además sus valores no superan la concentración basal más estricta de los ECA suelo de la legislación peruana (400mg/Kg) para uso residencial.

Tabla 33: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Cromo

ANOVA					
Cr					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,112	2	4,056	2,856	,124
Dentro de grupos	9,941	7	1,420		
Total	18,053	9			

La prueba de tukey(ver tabla 34) agrupa los cierres progresivos de mina y el sitio no perturbado; donde las concentraciones de Cromo en los 03 sitios estudiados radica entre 17 a 19 mg/kg;al respecto (Ynfa, 2017) con concentraciones de 18 mg/kg no reportó riesgo de bioacumulación de Cromo en plantaciones de *Zea mays L. c.v. Cabanita*.

Tabla 34: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Cromo

Cr		
HSD Tukeya,b		
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
NP	3	17,43667
CM_2014	3	18,68167
CM_2018	4	19,61200
Sig.		,116

4.5.5. PLOMO (Pb)

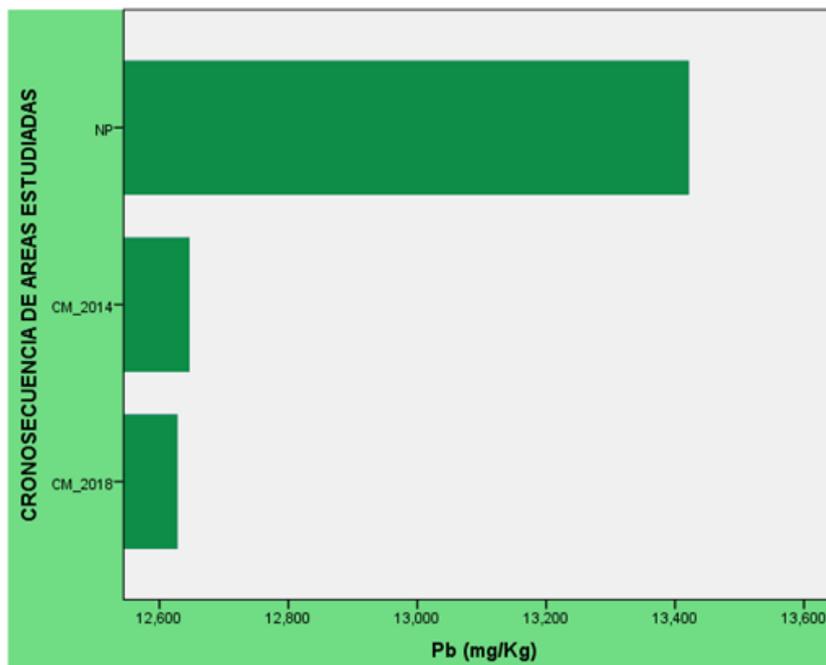


FIGURA 23: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Plomo

Respecto al Plomo(Pb) el comportamiento en el tiempo no presenta una clara tendencia (ver figura 23); la prueba del ANOVA ($P>0.05$) denota diferencia significativa de los valores medios (ver tabla 35) y no superan la concentración basal más estricta de los ECA suelo de la legislación peruana (70 mg/Kg) para uso agrícola.

Tabla 35: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Plomo

ANOVA					
Pb					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,295	2	,647	,709	,524
Dentro de grupos	6,389	7	,913		
Total	7,684	9			

La prueba de tukey(ver tabla 36) agrupa todos los sitios estudiados(CM_2014, CM_2018,NP); por ende las concentraciones de Plomo son similares en el tiempo(12-13mg/kg); (Ruiz y Armienta, 2012) en cambio, obtuvieron una diferencia significativa entre los valores entre suelos mineros no rehabilitados(6166 mg/kg) y suelos no perturbados por la actividad minera (127 mg/kg), eso refleja la importancia y relevancia que tiene aplicar métodos de rehabilitación minera en suelos perturbados a fin de evitar riesgos de bioacumulación del Plomo(Pb), al respecto (Ynfa, 2017) con concentraciones de 39 mg/kg no reportó riesgo de bioacumulación de Plomo en plantaciones de *Zea mays L. c.v. Cabanita*.

Tabla 36: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Plomo

Pb		
HSD Tukeya,b		
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
CM_2018	4	12,62700
CM_2014	3	12,64567
NP	3	13,42000
Sig.		,565

4.5.6. MERCURIO (Hg)

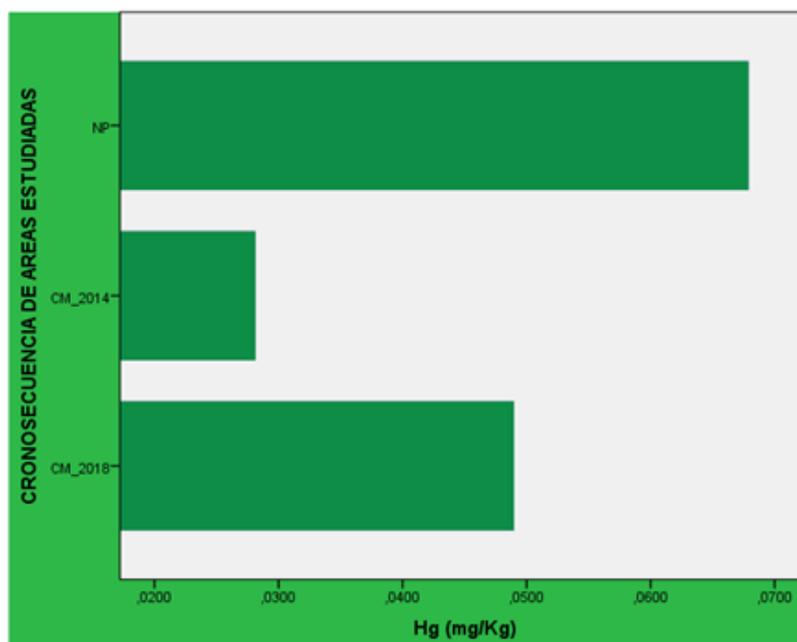


FIGURA 24: Cronosecuencia de las 03 áreas estudiadas respecto al Mercurio

Los niveles de concentración del Mercurio de los cierres progresivos de mina son equiparables respecto al sitio no perturbado ya que no exista una diferencia significativa entre las tres áreas estudiadas ($P > 0.05$) y no superan la concentración basal más estricta de los ECA suelo de la legislación peruana (6.6 mg/Kg) para uso agrícola.

Tabla 37: ANOVA de las 03 áreas estudiadas respecto al Mercurio

ANOVA					
Hg					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,002	2	,001	3,885	,073
Dentro de grupos	,002	7	,000		
Total	,005	9			

La prueba de tukey(ver tabla 38) agrupa los cierres progresivos de mina y el sitio no perturbado; donde las concentraciones de Mercurio en los 03 sitios estudiados radica entre 0.02 - 0.06 mg/kg; al respecto (Velásquez, 2017) no ha detectado concentraciones de mercurio entre suelos no perturbados y suelos mineros no rehabilitados.en minería aluvial a profundidades de entre 30 a 60 cm.

Tabla 38: Prueba de Tukey de las 03 áreas estudiadas respecto al Mercurio

Hg		
HSD Tukeya,b		
CIERRES PROGRESIVOS DE MINA	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
CM_2014	3	,028100
CM_2018	4	,048925
NP	3	,067833
Sig.		,052

4.5.7. CIANURO LIBRE

No es posible realizar el análisis de este parámetro ya que los resultados de laboratorio son <0,5 por ende es un valor constante en las 03 áreas estudiadas.Se puede afirmar que no existe indicios de presencia de cianuro libre en las 03 áreas estudiadas.

4.6. SELECCIÓN DE INDICADORES

Los primeros dos componentes principales (CP) explican el 73.79% de la varianza total de los datos originales; por ende del CP1 los parámetros: Horizonte A (0,974), Materia orgánica (0,946), Porcentaje de cobertura vegetal (0,966), Estructura (0,958), con eigenvectores $\geq 0,90$, los cuales muestran altos coeficientes de correlación entre ellos (Figura 25); El CP2 indican los parámetros: Arena (0,700) y CE (conductividad eléctrica) (0.739) expresan la mayor varianza, estableciendo $r \geq 0,7$, donde su representatividad y su relación con los parámetros del CP1 se ven reflejados en el círculo de correlaciones de la Figura 25. (Barrezueta et al., 2017).

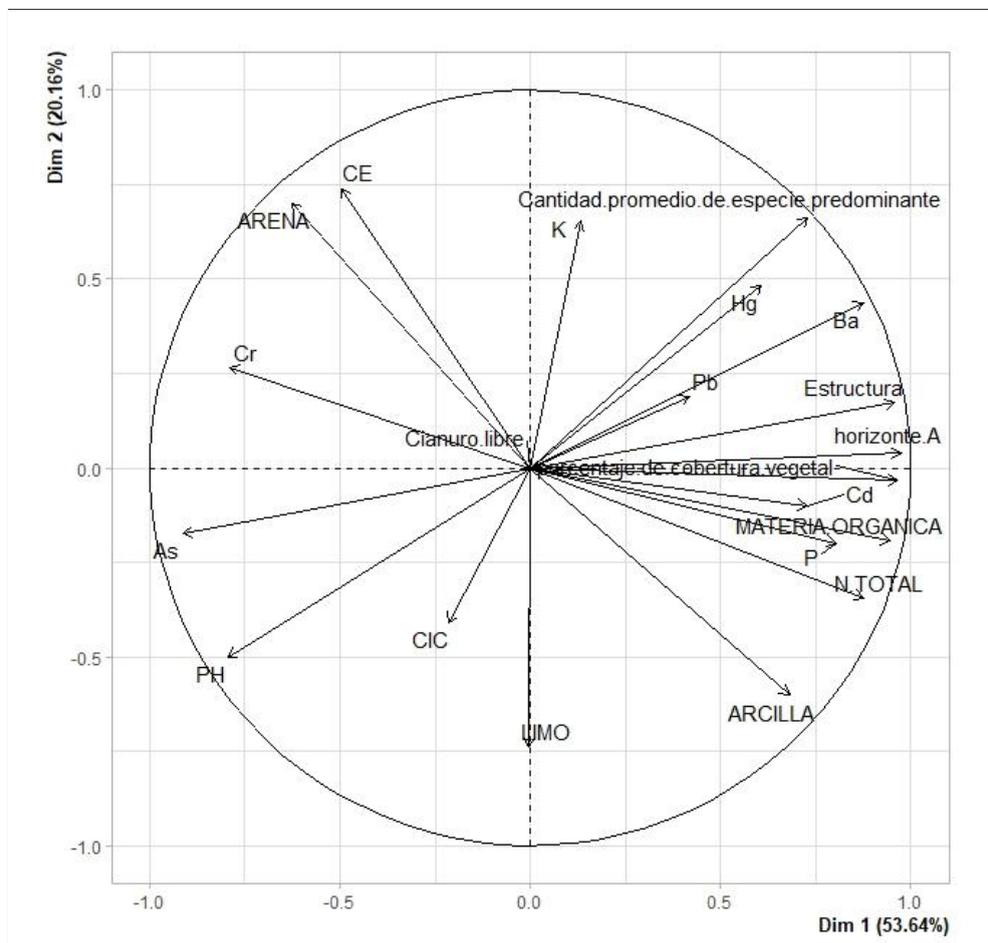


FIGURA 25: Círculo de correlaciones de 21 parámetros analizados

De acuerdo a la figura 25:

- Todos los parámetros a excepción del Potasio (K), la Capacidad de intercambio catiónico(CIC) y el Plomo (Pb) están bien representados.
- para CM_2018: los parámetros que mejor lo caracterizan son: % de Arena y Conductividad eléctrica (CE).
- Para CM_2014: los parámetros que mejor lo caracterizan son pH y % de Limo.
- Para NP: los parámetros que mejor lo caracterizan son: Porcentaje de cobertura vegetal, Horizonte A, Materia Orgánica, Fósforo (P), Nitrógeno Total (N TOTAL) y la Estructura.
- Ni los parámetros inorgánicos ni el % de arcilla son parámetros representativos de algún sitio estudiado.

El ACP redujo la cantidad de parámetros de 21 a 6 permitiendo integrar los indicadores de la Tabla 01 de la presente investigación con los 6 parámetros escogidos.

Tabla 39: resultado de la interpretación de indicadores de los 6 parámetros.

parámetros asociados	Indicadores relacionados (de acuerdo a la Tabla 1)
Estructura	Deterioro de la estructura edáfica (IF), Erosión Hídrica (IF)
Profundidad del Horizonte A	Deterioro de la estructura edáfica (IF), Pérdida de fertilidad (IQ)
Materia Orgánica	Reducción del carbono orgánico (IB)
% de Arena (Textura)	Reducción de la capacidad de retención hídrica (IF), Erosión Hídrica (IF)
Conductividad eléctrica	Pérdida de fertilidad (IQ)
otros parámetros	
Porcentaje de cobertura vegetal	IB

Nota: IF= Indicador Físico, IQ= Indicador Químicos, IB= Indicador Biológico

Una manera global de interpretar todos los parámetros objeto de estudio se observan en el plano principal y círculo de correlaciones del análisis de componentes principales.

Se han procesado los resultados de las 10 muestras compuestas , de las 03 áreas objeto de estudio en la entrada FactoMineR de la extensión R commander del software R.

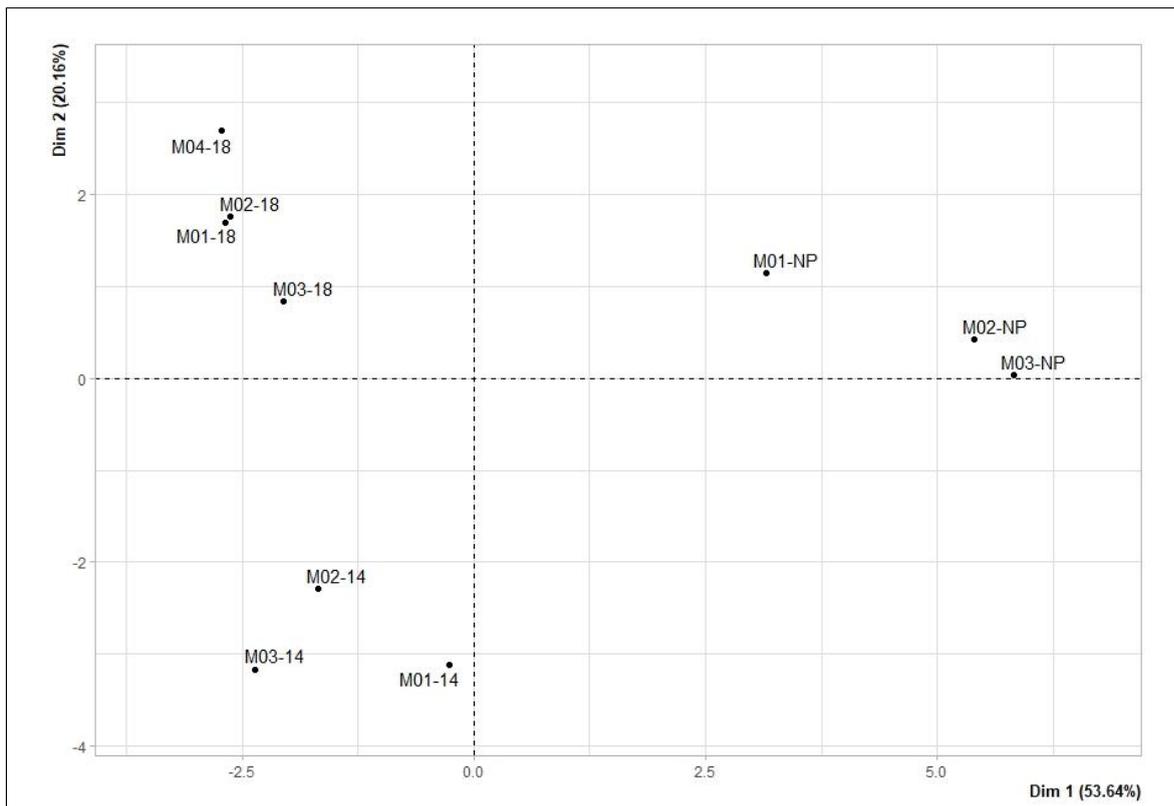


FIGURA 26: componentes principales de las muestras compuestas de las áreas estudiadas

En el gráfico de componentes principales se distinguen las 10 muestras compuestas tomadas en las 03 áreas objeto de estudio donde los resultados estadísticos se describen en la tabla 40:

Tabla 40: Resultado del ACP de 21 variables de suelo objeto de estudio

COMPONENTE	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Eigevalor	10.727	4.031	1.737	1.384	0.956
Varianza (%)	53.637	20.156	8.686	6.921	4.780
Varianza acumulada(%)	53.637	73.793	82.479	89.400	94.180
VARIABLES					
horizonte A	0.974	0.040	0.098	-0.040	-0.114
ARENA	-0.626	0.700	0.031	-0.047	0.207
LIMO	-0.002	-0.739	-0.258	-0.586	0.131
ARCILLA	0.682	-0.602	-0.010	0.187	-0.268
PH	-0.795	-0.502	0.016	0.014	0.287
MATERIA ORGÁNICA	0.946	-0.194	-0.103	0.038	0.076
N TOTAL	0.877	-0.344	-0.201	0.095	0.184
CE (conductividad eléctrica)	-0.496	0.739	-0.391	0.025	-0.010
P (Fósforo)	0.804	-0.199	-0.394	0.054	0.370
K (Potasio)	0.132	0.653	0.195	-0.230	0.375

CIC (Capacidad de intercambio catiónico)	-0.215	-0.409	0.776	-0.114	0.323
porcentaje de cobertura vegetal	0.966	-0.033	0.187	0.091	-0.106
Estructura	0.958	0.173	0.164	0.056	-0.107
Cantidad promedio de especie predominante (tipo de cobertura vegetal)	0.728	0.663	0.071	-0.046	-0.086
Hg (Mercurio)	0.607	0.484	-0.075	-0.485	0.170
Cianuro Libre	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
As (Arsénico)	-0.911	-0.174	-0.161	0.205	0.157
Ba (Bario Total)	0.875	0.438	-0.016	-0.093	-0.006
Cd (Cadmio)	0.726	-0.101	0.576	0.036	0.188
Cr (Cromo Total)	-0.788	0.267	0.463	0.185	-0.188
Plomo (Pb)	0.418	0.189	-0.119	0.767	0.392

Los “otros parámetros” de la tabla 39 pasan a formar indicadores (Bautista et al., 2005; Huang et al., 2015; Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2013; Nsiah & Schaaf, 2019) De la tabla 39, se infiere que los cierres progresivos de mina a tajo abierto de la Cooperativa Minera Limata Limitada tienen una fertilidad aún deficiente (Materia Orgánica, Horizonte A, conductividad eléctrica); una estructura edáfica en formación con tendencia a lograr sus valores primigenios, una erosión hídrica latente (Horizonte A, Estructura); la capacidad de retención hídrica es pobre al igual que la cantidad de carbono orgánico, pese a ello su porcentaje de cobertura vegetal presenta una tendencia al desarrollo.

CONCLUSIONES

PRIMERA, los indicadores de la calidad del suelo de los cierres progresivos de mina a tajo abierto del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada son 06 (02 Indicadores Físicos, 01 Indicador Químico, 03 Indicadores Biológicos) estos son: la ESTRUCTURA EDÁFICA, traducido en el parámetro Profundidad del horizonte A y Estructura; la FERTILIDAD, traducido en los parámetros: Profundidad del Horizonte A, conductividad eléctrica; PÉRDIDA DE CARBONO ORGÁNICO, traducido en el porcentaje de materia orgánica; REDUCCIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN HÍDRICA y EROSIÓN HÍDRICA, traducido en los parámetros de % de arena y estructura; y el PORCENTAJE DE COBERTURA VEGETAL.

SEGUNDA, Respecto a los parámetros químicos: la Capacidad de intercambio catiónico, el Potasio (K), Nitrógeno Total; físico como % de Limo; inorgánicos como el Hg (mercurio), , Cianuro libre,, Cr (Cromo Total), Cd (Cadmio) y Pb (plomo) y biológico como el tipo de cobertura vegetal, comparados entre los suelos de los cierres progresivos de mina a tajo abierto con un suelo no perturbado dentro del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada, no presentan una marcada diferencia y se mantienen constantes en el tiempo (04 años de rehabilitado).

TERCERA, Los parámetros Físicos: % de arcilla, Profundidad del Horizonte A y la Estructura al igual que los parámetros químicos como el Fósforo y los parámetros biológicos como la materia orgánica, el tipo de cobertura vegetal y el porcentaje de cobertura vegetal contribuyen a un desarrollo en el tiempo a lograr valores próximos al sitio no perturbado; en cambio el pH,As (Arsénico), Ba (Bario total), presentan comportamientos atípicos en el tiempo; que no permiten afirmar una contribución significativa a los indicadores de los suelos de los cierres progresivos de mina del ámbito geográfico de la Cooperativa Minera Limata Limitada.

RECOMENDACIONES

PRIMERA; Se recomienda que, los indicadores determinados del presente Trabajo de investigación sirvan como referencia a entidades como: el Ministerio de Energía y Minas del Perú, Ministerio del Ambiente del Perú, consultoras ambientales, compañías mineras, cooperativas mineras, ONGs para elaborar programas de monitoreo post cierre de minas dentro de los instrumentos de gestión ambiental referidos a cierres de mina.

SEGUNDA, Se recomienda a Cooperativa Minera Limata Limitada que realice monitoreos frecuentes (en años) con los parámetros que formaron indicadores a fin de corroborar su influencia predicha en el tiempo.

TERCERA, Se recomienda que, pese a que la presencia de metales pesados en los cierres de mina no fue significativa puede ser muestreada en las plantas de suelos mineros rehabilitados, cuyo enfoque de investigación puede ser discutido y relacionado a otros aspectos ambientales como la biomagnificación.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahirwal, J., y Maiti, S. K. (2016). *Assessment of soil properties of different land uses generated due to surface coal mining activities in tropical Sal (Shorea robusta) forest, India*. 140, 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.028>
- Andrades, M., y Martínez, M. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* (3.^a ed.). Servicio de publicaciones.
- Barrezueta, S., Paz, A., y Chabla, J. (2017). Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador. *Revista CUMBRES*, 3(1), 17-24. <https://doi.org/10.1390-9541>
- Bautista, A., Etchevers, J., Castillo, R., y Gutierrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, XIII, 11.
- Bautista, A., Gutiérrez, C., del Castillo, R., y Etchevers, J. (2005). Cronosecuencia de un suelo y su clasificación en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña. *Terra Latinoamericana*, 23(2), 147-157.
- Brack, A., Ipenza, C., Álvarez, J., y Sotero, V. (2011). *Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio—Una bomba de Tiempo*. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00022-0)
- Bradshaw, A. (1997). *Restoration of mined lands—Using natural processes*. 8, 255-269. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00022-0)
- Celaya, H., y Castellanos, A. (2011). Mineralización de Nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29, 343-356.
- Céspedes, J. (1991). *Química de suelos* (Trillas, Ed.).
- D. García-Álvarez, M.J. Fuente. (2011). *Estudio comparativo de técnicas de detección de fallos basadas en el Análisis de Componentes Principales (PCA)*. 8, 182-195. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2011.06.006>

- Díaz, H. (2018). *Evaluación de la calidad de suelo en un bosque reforestado con Eucalipto en la zona de Pacán-Huánuco 2017* [Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/255093>
- Erskine, P. D., Bartolo, R., McKenna, P., y Humphrey, C. (2019). Using reference sites to guide ecological engineering and restoration of an internationally significant uranium mine in the Northern Territory, Australia. *Ecological Engineering*, 129(October 2018), 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.01.008>
- FAO. (s. f.). *Estructura del suelo*. Recuperado 4 de abril de 2020, de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm
- Feng, Wang, J., Bai, Z., y Reading, L. (2019). *Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review*. 191, 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.015>
- FitzPatrick, E. (1996). *Introducción a la ciencia de los suelos* (Trillas, Ed.).
- Fraume, N. (2007). *Diccionario ambiental* (Ecoe Edici).
- Galantini, J., y Suñer, L. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: Análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, XXV, 41-55.
- García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Garrido, S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. En 1994 (Vol. 1). <https://doi.org/10.14350/rig.58865>
- Gobierno de Australia. (2016). *Rehabilitación de minas: Programa de Prácticas Líderes para el desarrollo sostenible de la industria minera* (p. 76). https://www.academia.edu/36205157/CIERRE_DE_MINAS
- Guanilo, R. (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. [Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1675>

Guerrero-Almeida, D., Chacón, Y., Fonseca, D., y Court-Pottrillé, M. (2014). Metodología para la ejecución de un cierre de minas sustentable. *Minería y Geología*, 30(3), 85-103.

Hossner, L., y Hons, F. (1992). *Reclamation of mine tailings*.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2820-2>

Huaman, O. (2016). *Indicadores de la calidad de suelos en tres sistemas de uso de la tierra, sector shitari, Huamalíes*. Universidad Nacional Agraria de la selva.

Huang, L., Zhang, P., Hu, Y., y Zhao, Y. (2015). Vegetation succession and soil infiltration characteristics under different aged refuse dumps at the Heidaigou opencast coal mine. *Global Ecology and Conservation*, 4, 255-263.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.07.006>

Huaynates, J. (2013). *Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de Supte*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Humphries, R. N. (2015). Use of Reference Sites in the Evaluation of Some Rehabilitated Native Forests on Surface Mines in Australia. *Journal American Society of Mining and Reclamation*, 4(2), 36-54. <https://doi.org/10.21000/jasmr15020036>

INECC-CCA. (2010). *GUÍA PARA ELABORAR PLANES DE MUESTREO REPRESENTATIVOS*. 2010, 43.

INGEMMET. (2020). *Resumen del Derecho Minero*.

https://www.ingemmet.gob.pe/igm-sidemcat-portlet/ver-resumen?pCodigo_DM=010161106E

Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2013). *Desarrollo del Cierre Progresivo de la Mina Tintaya Jueves Minero IIMP*.

- <https://www.youtube.com/watch?v=CGsOvhqQhYk>,
- Izquierdo, I., Hernández, G., Alguacil, M. M., Caravaca, F., y Roldán, A. (2004). *Indicadores de la calidad del suelo en áreas recultivadas de la zona minera de Moa, Cuba*.
- Jach, A. (2008). Usar una tabla de numeros aleatorios para seleccionar una muestra aleatoria simple. *Estadística I*, 294, 1-3.
- Kuramoto, J. R. (2001). *La minería artesanal e informal en el Perú*.
https://www.researchgate.net/profile/Juana_Kuramoto/publication/267160288_La_Mineria_Artesanal_e_Informal_en_el_Peru/links/57602f4a08ae2b8d20eb3e19.pdf
- Mavrommatis, E., y Menegaki, M. (2017). Setting rehabilitation priorities for abandoned mines of similar characteristics according to their visual impact: The case of Milos Island, Greece. *Journal of Sustainable Mining*, 16(3), 104-113.
<https://doi.org/10.1016/j.jsm.2017.10.003>
- MINAM. (2014). *Guía para el Muestreo de Suelos*.
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de coertura vegetal—Memoria descriptiva (PRIMERA)*.
- MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo* (pp. 12-15). DIARIO OFICIAL EL PERUANO.
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>
- MINEM. (2006). *Guía Para La Elaboracion De Planes De Cierre De Minas sub-sector minería*.
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*.
- Navarro, M. (2017). *Estudio de la Recuperación de Oro Aluvial en Concentrador Falcon en la Cooperativa Minera Limata Ananea—Puno* [Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2506>

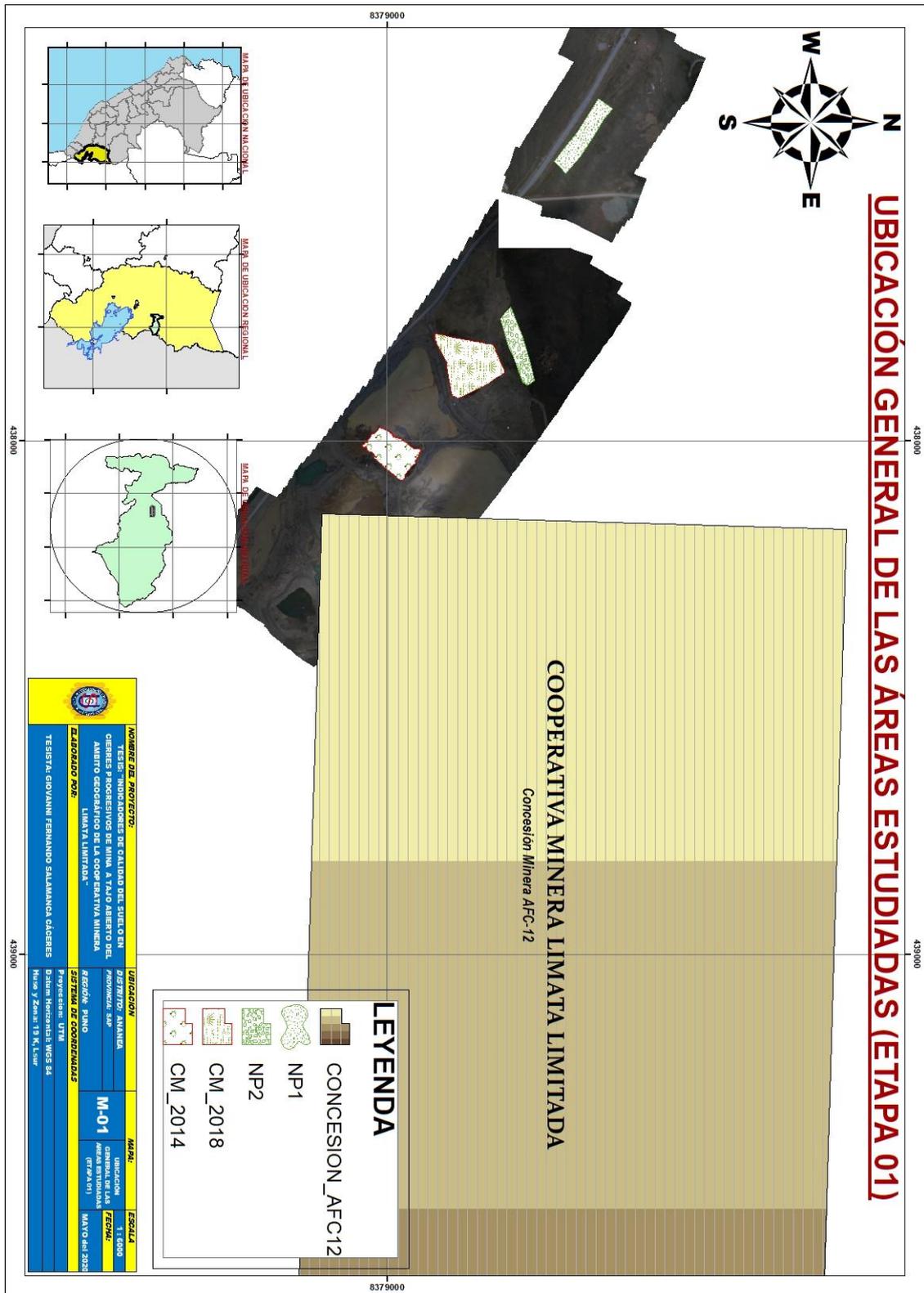
- Nsiah, P. K., y Schaaf, W. (2019). Effect of Topsoil Stockpiling on Soil Properties and Organic Amendments on Tree Growth During Gold Mine Reclamation in Ghana. *Journal American Society of Mining and Reclamation*, 8(1), 45-68.
<http://dx.doi.org/10.21000/JASMR19010045>
- Oktavia, D., Setiadi, Y., y Hilwan, I. (2015). The Comparison of Soil Properties in Heath Forest and Post-tin Mined Land: Basic for Ecosystem Restoration. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 124-131.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.018>
- Orlando, G., Zuly, M., y Maximiliano, B. (2008). Pedogénesis de una cronosecuencia de suelos en la región de Yaritagua y Guama, estado Yaracuy-Venezuela. *Revista Geografica Venezolana*, 49(2), 223-245.
- Padró, J. C., Carabassa, V., Balagué, J., Brotons, L., Alcañiz, J. M., y Pons, X. (2019). Monitoring opencast mine restorations using Unmanned Aerial System (UAS) imagery. *Science of the Total Environment*, 657, 1602-1614.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.156>
- Palogos, I., Galetakis, M., Roumpos, C., y Pavludakis, F. (2017). Selection of optimal land uses for the reclamation of surface mines by using evolutionary algorithms. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(3), 491-498.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.03.008>
- Papadopoulos, C., Gekaa, C., Pavludakis, F., Roumpos, C., y Andreadou, S. (2015). Evaluation of the Soil Quality on the Reclaimed Lignite Mine Land in West Macedonia, Greece. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 928-932.
<https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.148>
- Paradelo, 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.

- Pérez, A., Céspedes, C., Almonte, I., Sotomayor, D., Cruz, C., y Núñez, P. (2012). Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo. *Terra Latinoamericana*, 30, 201-211.
- Pulido, M. (2014). *Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo* [Universidad de Extremadura]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=41926>
- Quantum MVA. (2018). *Declaración de impacto ambiental- Concesión AFC-12*. Cooperativa Minera Limata Limitada.
- Rios, L. (2018). *Análisis de Componentes Principales ACP*. youtube. <http://youtube.com/watch?v=jXteNh1Ks1w&t=4907s>
- Romero, A. (2015). *Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (KIKUYO) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la Región Central del Perú* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1352>
- Ruiz, E., y Armienta, M. (2012). Acumulación de Arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28, 103-117.
- Sheoran, V., Sheoran, A., y Poonia, P. (2010). Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), 13.
- Smits, J. K., Summerfield, D., Greene, R. S. B., Johnston, A., Tongway, D. J., y Field, J. B. (2010). *The effectiveness of gypsum and mulches in mine site rehabilitation: Short term effects on surface soil stability and plant growth*. 377-384. <http://trove.nla.gov.au/work/38873870?q=9780980615449&c=book>
- Spain, A. V., Hinz, D. A., Ludwig, J. A., Tibbett, M., y Tongway, D. J. (2006). Mine closure and ecosystem development _ Alcan Gove bauxite mine, Northern Territory, Australia. *Mine closure 2006: Proceedings of the First International Seminar on*

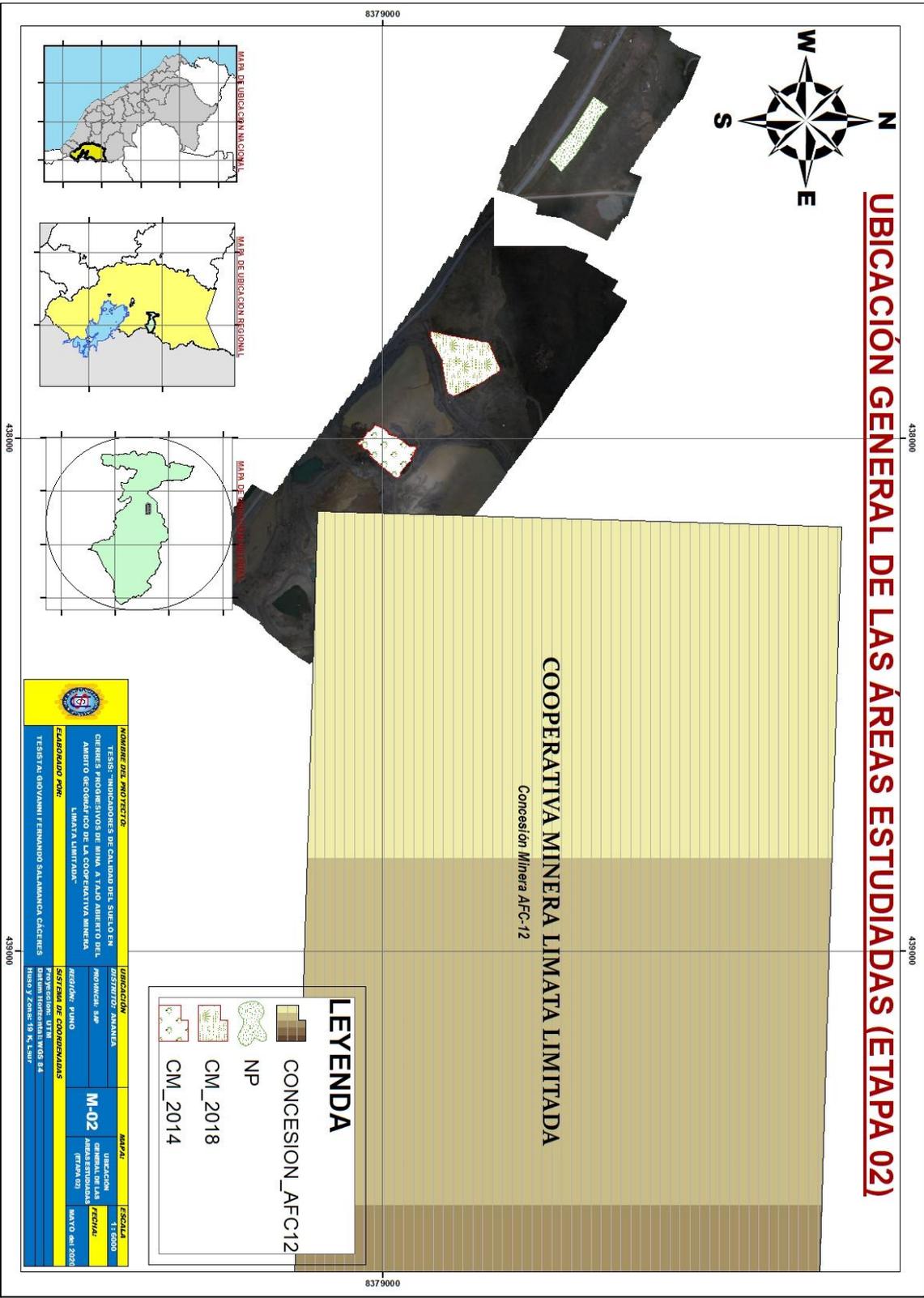
- Mine Closure, 13-15 September 2006*, 299-308.
<https://www.researchgate.net/publication/244484359%0AMine>
- Spieles, D., Bennett, E., Weems, W., y Swab, R. (2019). Vegetation function and diversity on reclaimed surface-mined lands of southeastern Ohio, USA. *American Society of Mining and Reclamation*, 8(2), 52-68. <http://dx.doi.org/10.21000/JASMR19020052>
- Tobias, S., Friedli, B., y Fritsch, M. (1999). Quality assessment of restored land on the concept of soil resilience. *Franch Symposium, Barnhisel 1988*, 1-8.
- Vasquez, E. A., y Sheley, R. L. (2018). Developing Diverse, Effective, and Permanent Plant Communities on Reclaimed Surface Coal Mines: Restoring Ecosystem Function. *Journal American Society of Mining and Reclamation*, 7(1), 77-109.
<https://doi.org/10.21000/jasmr18010077>
- Velásquez, M. (2017). *Metales en suelos explotados por la pequeña minería aurífera aluvial en Madre de Dios, Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ynfa, J. (2017). *Efectos del relave minero en la respiración potencial y la actividad enzimática del suelo y su relación con la germinación de semillas, crecimiento de plántulas de maíz (Zea mays L.) c.v. Cabanita y bioacumulación de metales pesados*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Zhang, P., Cui, Y., Zhang, Y., Jia, J., Wang, X., y Zhang, X. (2016). Changes in Soil Physical and Chemical Properties following Surface Mining and Reclamation. *Soil Science Society of America Journal*, 80(6), 1476-1485.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2016.06.0167>

ANEXOS

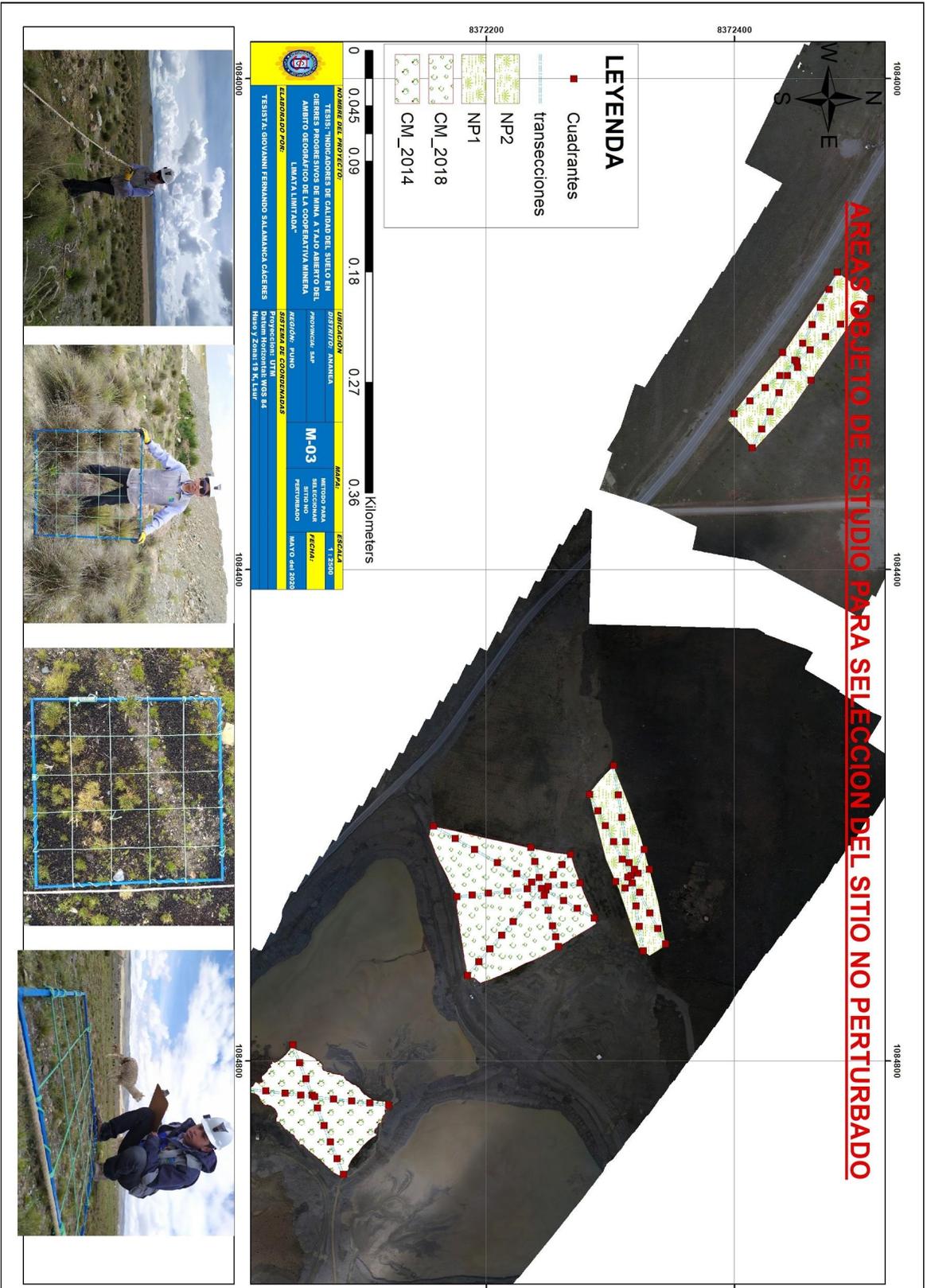
Anexo 1: Mapa de ubicación de las áreas objeto de estudio (etapa 01)



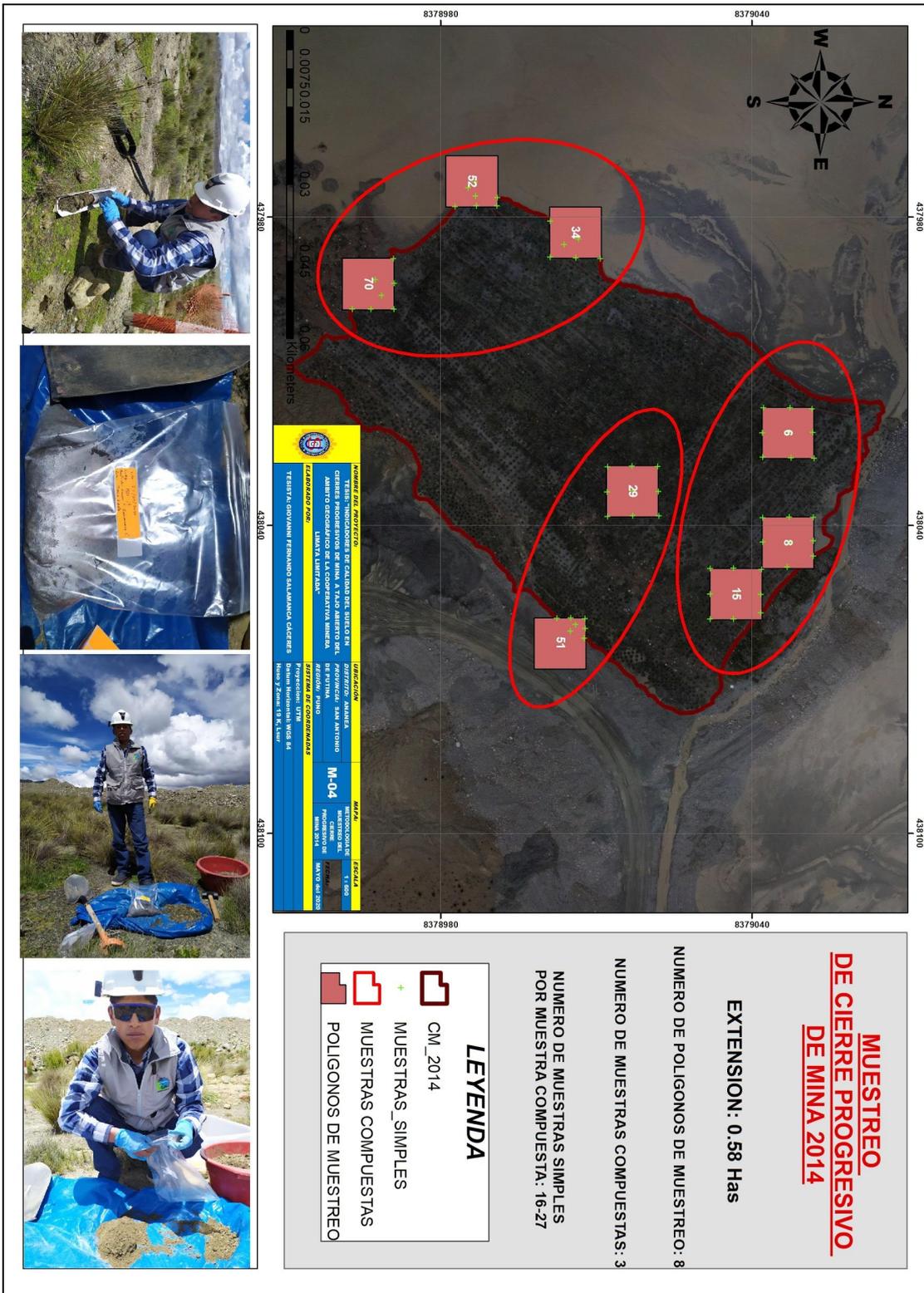
Anexo 2: Mapa de ubicación de las áreas objeto de estudio (etapa 02)



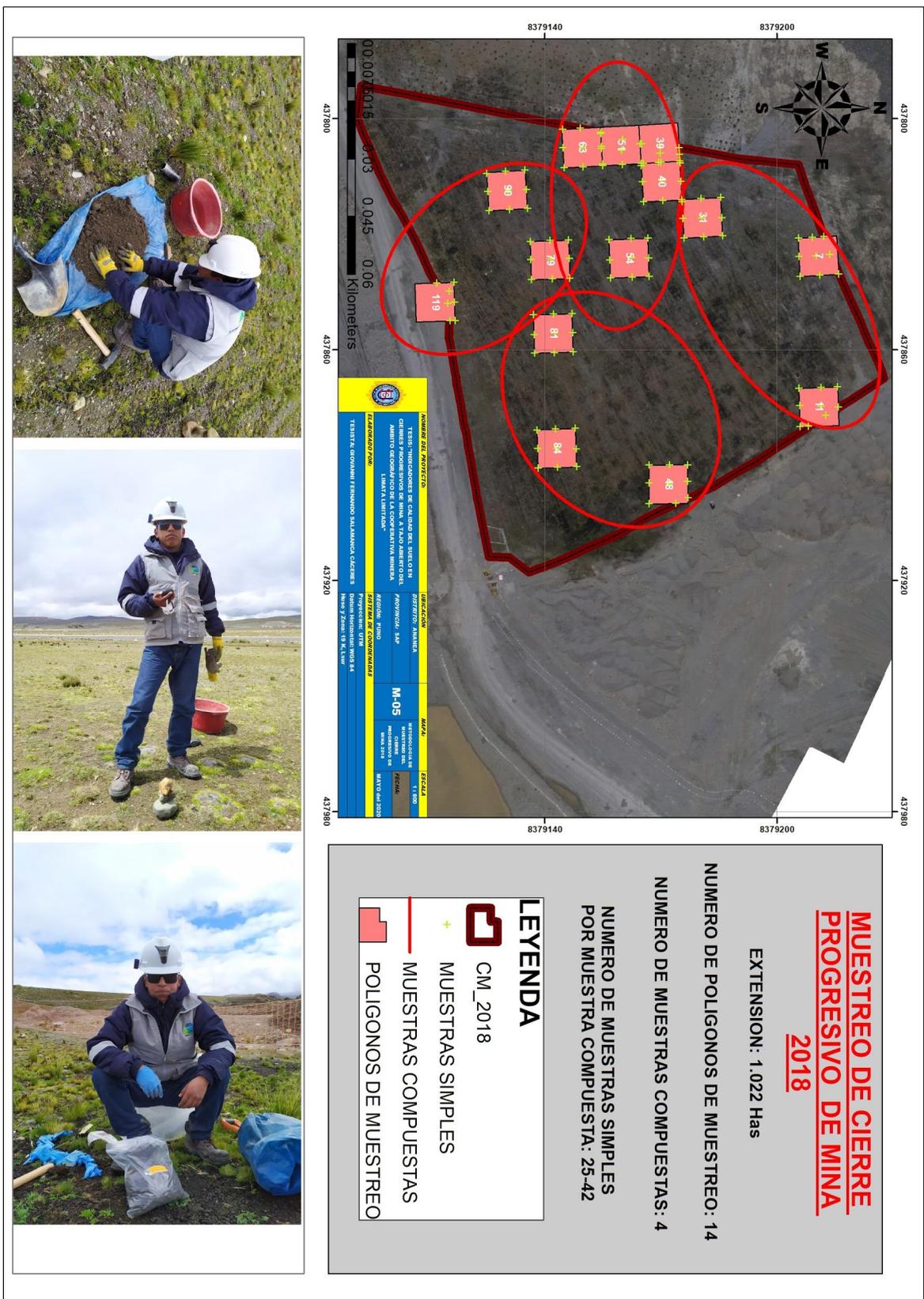
Anexo 3: Mapa de delimitación de transectos para selección del sitio no perturbado



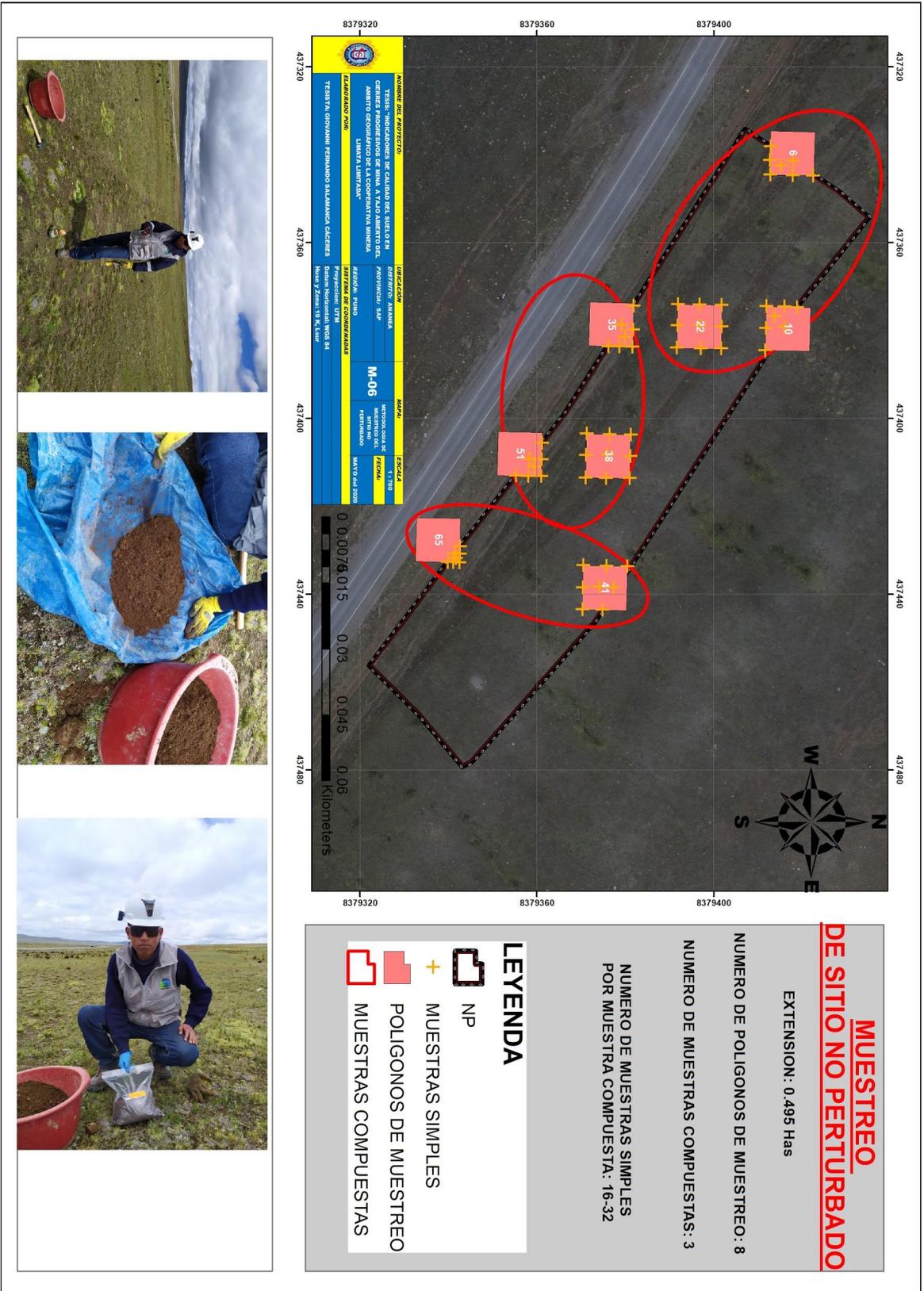
Anexo 4: Mapa de muestreo de cierre progresivo de mina 2014



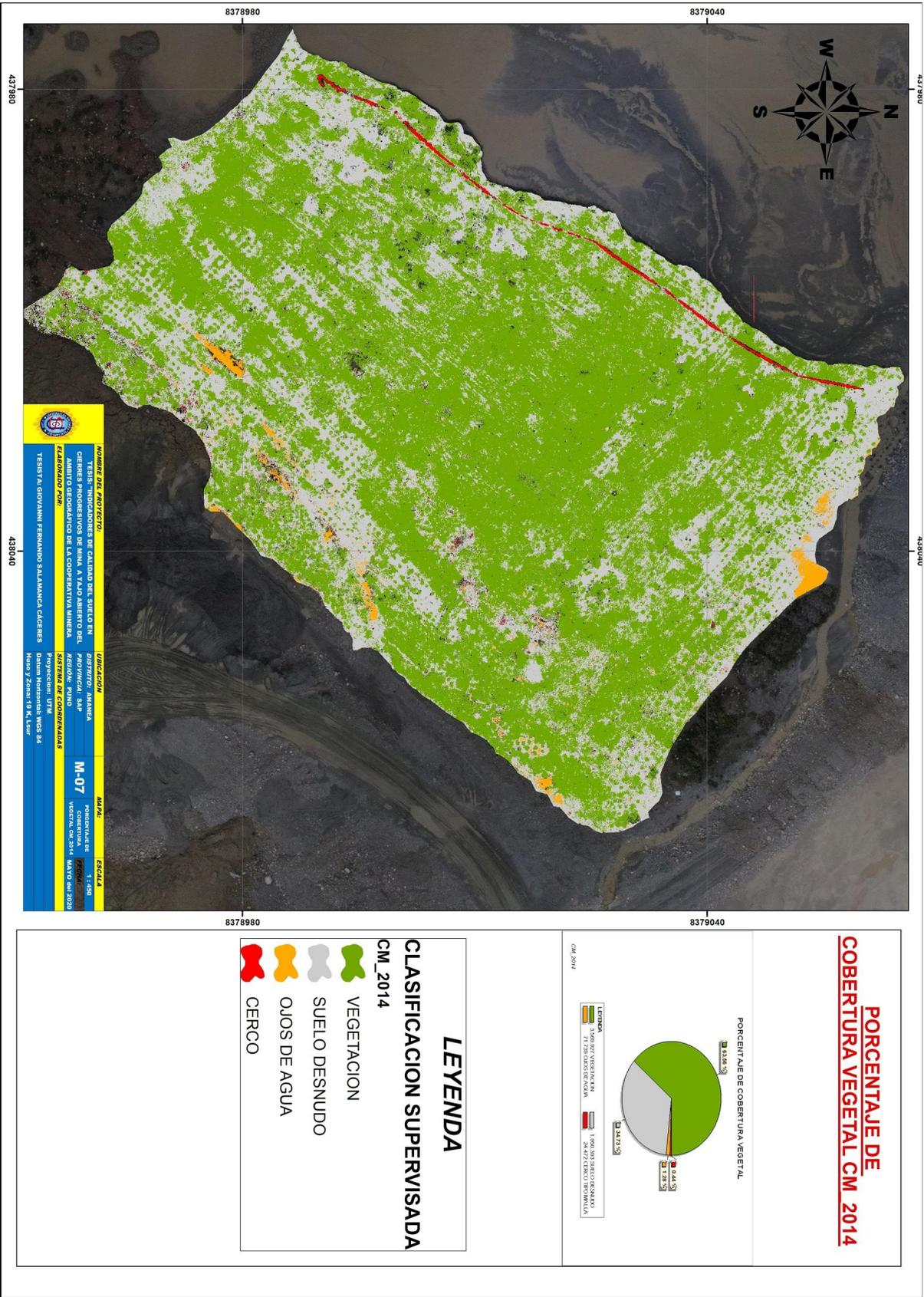
Anexo 5: Mapa de muestreo de cierre progresivo de mina 2018



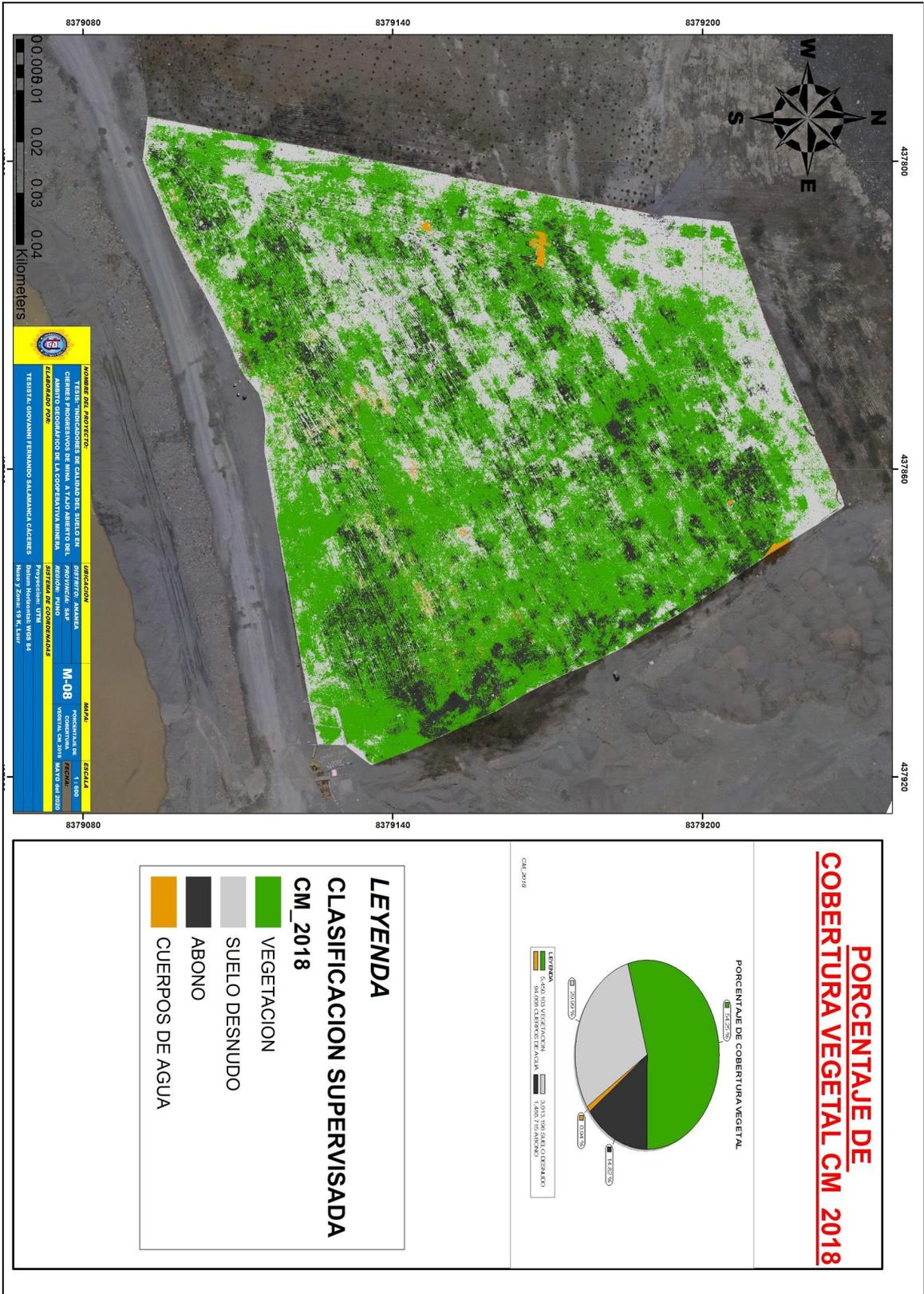
Anexo 6: Mapa de muestreo del sitio no perturbado



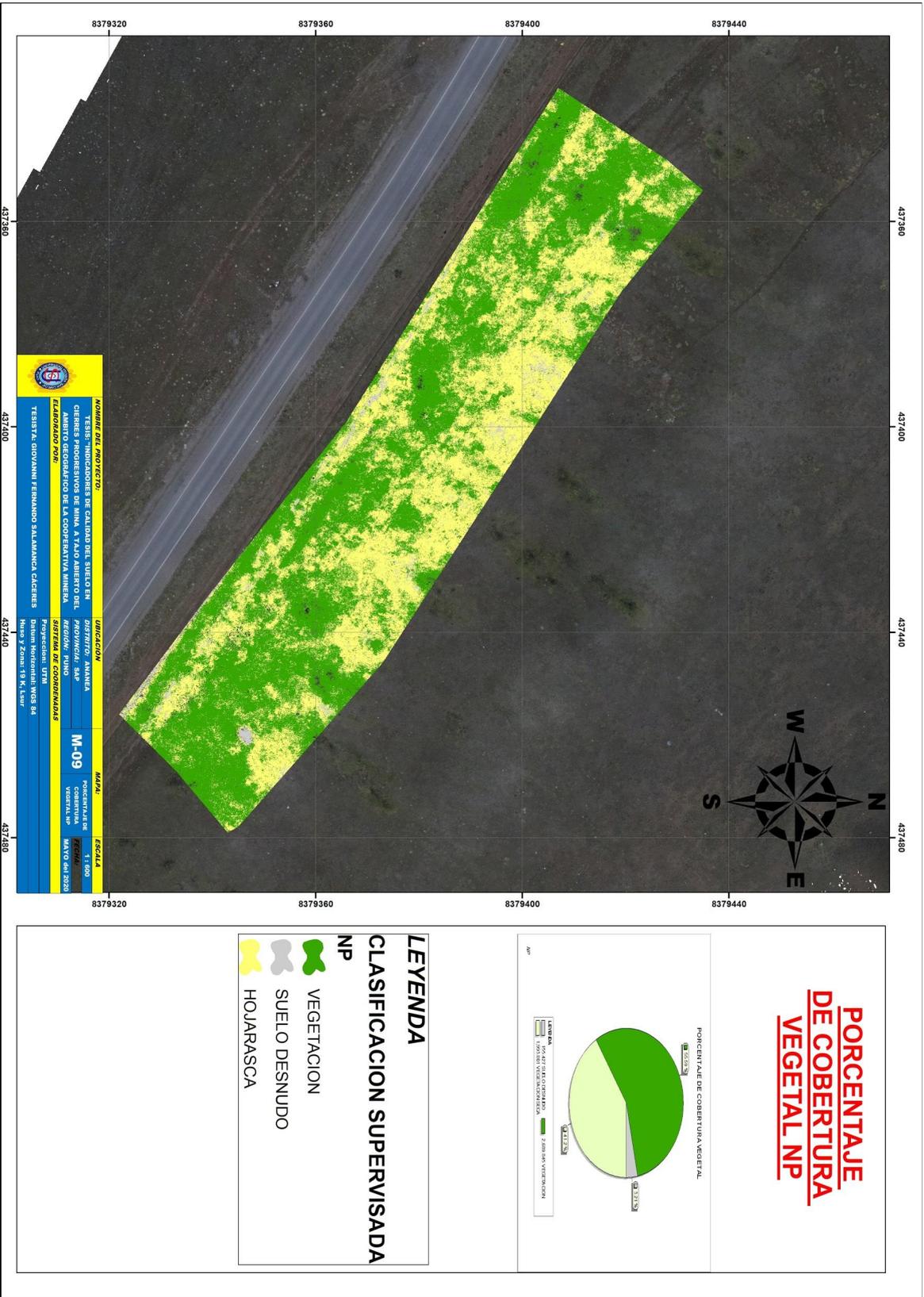
Anexo 7: Mapa de cobertura vegetal del cierre progresivo de mina 2014



Anexo 8: Mapa de cobertura vegetal del cierre progresivo de mina 2018



Anexo 9: Mapa de cobertura vegetal de sitio no perturbado



Anexo 10: Informes de ensayo de laboratorio



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

GIOVANNI FERNANDO SALAMANCA CÁCERES
JR. ARICOTA N° 139 URB. JORGE CHÁVEZ-PUNO
ENV / LB-346998-002

PROCEDENCIA : **Concesión AFC-12, Cooperativa Minera Limata Limitada.**

Fecha de Recepción SGS : 06-08-2020
Fecha de Ejecución : Del 06-08-2020 al 17-08-2020
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
NP-01: SITIO NO PERTUBADO
NP-02: SITIO NO PERTUBADO
NP-03: SITIO NO PERTUBADO
CM-2018-01: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018
CM-2018-02: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018
CM-2018-03: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018
CM-2018-04: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018
CM-2014-01: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014
CM-2014-02: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014
CM-2014-03: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014

Emitido por SGS del Perú S.A.C.
Impreso el 17/08/2020

Frank M. J. J. Camarero Quispe
C.C.F. 1033
Coordinador de Laboratorio

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 Pe.servicios@sgs.com
Jr. Amalido Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Página 1 de 9

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					NP-01: SITIO NO PERTUBADO	NP-02: SITIO NO PERTUBADO	NP-03: SITIO NO PERTUBADO
PROFUNDIDAD (m)					8379388N / 474400E 0,20	8379380N / 437400E 0,20	8379410N / 437360E 0,20
FECHA DE MUESTREO					02/08/2020	02/08/2020	02/08/2020
HORA DE MUESTREO					11:00:00	12:00:00	13:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Generales							
Mercurio	ES_EPA7471	mg/kg	0.0109	0.0348	0.0550	0.0904	0.0581
Cianuro Libre	ES_EPA9013_APHACNF	mg/kg	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Metales							
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	14.872	15.635	15.483
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	13.875.340	12.809.959	12.854.932
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	0.569	0.549	0.879
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	26.892	26.491	26.990
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	83.035	100.531	84.604
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.868	0.913	0.880
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	0.320	0.370	0.380
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195	<17.195	<17.195
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.221	0.278	0.228
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	595.377	656.705	714.865
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	0.398	0.541	0.306
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	9.260	11.383	9.973
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	19.474	16.213	16.623
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.457	1.588	1.555
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	<0.940	<0.940	<0.940
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	14.371	16.670	15.663
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	633.360	786.726	770.348
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	28.180.922	25.263.180	24.565.033
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	14.572	13.778	14.196
Litio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	45.3	34.8	39.6
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	3.216.402	2.680.247	2.794.360
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	671.168	830.279	603.028
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262	<0.262	<0.262
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	0.691	0.774	0.723
Niquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	15.159	12.944	15.205
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	<0.268	<0.268	<0.268
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	12.897	13.284	14.079
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	717.471	800.375	857.545
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	<3.605	<3.605
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	68.738	87.333	96.274
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	0.102	0.120	0.109
Thorio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	4.466	4.607	4.458
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	113.735	106.134	109.914

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					NP-01: SITIO NO PERTUBADO	NP-02: SITIO NO PERTUBADO	NP-03: SITIO NO PERTUBADO
PROFUNDIDAD (m)					0,20	0,20	0,20
FECHA DE MUESTREO					02/08/2020	02/08/2020	02/08/2020
HORA DE MUESTREO					11:00:00	12:00:00	13:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales							
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.767	0.699	0.637
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	24.934	24.380	23.726
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	<0.231	<0.231	<0.231
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	4.016	3.752	3.974
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	87.920	82.046	78.616

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CM-2018-01: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018	CM-2018-02: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018	CM-2018-03: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018
PROFUNDIDAD (m)					0,20	0,20	0,20
FECHA DE MUESTREO					02/08/2020	02/08/2020	02/08/2020
HORA DE MUESTREO					15:30:00	16:30:00	17:30:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Generales							
Mercurio	ES_EPA7471	mg/kg	0.0109	0.0348	0.0515	0.0516	0.0537
Cianuro Libre	ES_EPA9013_APHACNF	mg/kg	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Metales							
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	19.609	20.622	16.940
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	13.544.798	14.554.852	13.689.405
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	1.006	0.875	0.932
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	68.125	60.739	49.278
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	52.706	45.357	51.310
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.844	0.784	0.683
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	0.403	0.368	0.377
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195	<17.195	<17.195
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	<0.144	0.155	<0.144
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	765.099	964.546	814.995
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	0.591	0.780	0.349
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	13.374	15.928	12.135
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	19.011	20.521	19.041
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.575	1.571	1.427
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	<0.940	<0.940	<0.940

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Günther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Página 3 de 9
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CM-2018-01: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018 8379151N / 437933E	CM-2018-02: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018 8379202N / 437850E	CM-2018-03: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018 8379150N / 437870E
PROFUNDIDAD (m)					0.20	0.20	0.20
FECHA DE MUESTREO					02/08/2020	02/08/2020	02/08/2020
HORA DE MUESTREO					15:30:00	16:30:00	17:30:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales							
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	13.886	15.200	13.519
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	483.783	626.422	716.660
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	29.906.139	30.508.809	27.621.503
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	18.383	17.352	14.082
Litio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	48.4	56.4	44.9
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	4,355.405	5,115.550	4,373.179
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	417.277	492.969	460.980
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262	<0.262	<0.262
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	0.582	0.568	0.627
Niquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	20.058	24.469	21.334
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	<0.268	<0.268	<0.268
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	11.991	12.476	11.454
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	641.579	825.148	720.552
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	<3.605	<3.605
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	322.233	265.690	52.539
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	<0.093	<0.093	<0.093
Thorio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	7.559	8.190	6.870
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	112.154	89.262	82.410
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.891	0.854	0.724
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	21.477	19.625	18.381
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	0.706	0.676	0.535
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	7.494	6.900	5.216
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	68.636	69.894	63.576

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

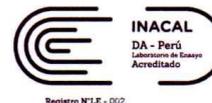
Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL MA2012570 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CM-2018-04: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018 8379120N / 437830E	CM-2014-01: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014 8379040N / 438040E	CM-2014-02: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014 8379025N / 438049E
PROFUNDIDAD (m)					0,20	0,20	0,20
FECHA DE MUESTREO					03/08/2020	03/08/2020	03/08/2020
HORA DE MUESTREO					08:00:00	11:00:00	12:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Generales							
Mercurio	ES_EPA7471	mg/kg	0,0109	0,0348	0,0389	0,0374	0,0469
Cianuro Libre	ES_EPA9013_APHACNF	mg/kg	0,2	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Metales							
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,357	1,136	18,417	20,752	22,540
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2,701	8,602	14,017,877	13,295,583	13,002,053
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,041	0,131	1,329	1,007	1,234
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,897	2,857	73,982	64,324	70,198
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,138	0,440	52,057	41,762	29,132
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,054	0,173	0,835	0,724	0,630
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,032	0,103	0,383	0,383	0,402
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5,399	17,195	<17,195	<17,195	<17,195
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,045	0,144	<0,144	<0,144	0,171
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65,382	208,223	997,483	671,885	855,476
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,046	0,147	0,445	2,280	1,355
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,040	0,128	14,517	19,178	22,834
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,314	1,001	19,875	17,591	18,864
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,099	0,317	1,538	1,510	1,457
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,295	0,940	<0,940	<0,940	<0,940
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,258	0,822	14,804	13,029	13,586
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4,759	15,157	540,891	373,250	403,638
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9,201	29,302	32,141,346	27,482,759	30,389,454
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,032	0,103	17,969	25,223	20,305
Litio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1,0	3,0	48,7	45,6	51,8
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5,509	17,545	4,534,755	4,366,817	4,812,603
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,202	0,643	455,341	467,852	497,955
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,082	0,262	<0,262	<0,262	<0,262
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,057	0,182	0,466	0,435	0,535
Niquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,156	0,498	19,832	24,152	27,555
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,084	0,268	<0,268	<0,268	<0,268
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,109	0,346	14,587	12,704	12,536
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13,500	42,993	719,008	570,322	608,149
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1,132	3,605	<3,605	<3,605	<3,605
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7,579	24,136	92,479	80,950	116,022
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,029	0,093	<0,093	<0,093	<0,093
torio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0,035	0,112	7,703	8,371	8,651

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CM-2018-04: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2018 8379120N / 437830E	CM-2014-01: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014 8379040N / 438040E	CM-2014-02: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014 8379025N / 438049E
PROFUNDIDAD (m)					0,20	0,20	0,20
FECHA DE MUESTREO					03/08/2020	03/08/2020	03/08/2020
HORA DE MUESTREO					08:00:00	11:00:00	12:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales							
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	108.941	118.606	81.873
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.861	0.931	0.855
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	21.775	17.053	18.569
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	0.667	0.888	1.179
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	7.273	7.122	7.542
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	71.791	60.828	76.426

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CM-2014-03: CIERRE PROGRESIVO DE MINA 2014 8378985N / 437990E
PROFUNDIDAD (m)					0,20
FECHA DE MUESTREO					03/08/2020
HORA DE MUESTREO					13:00:00
MATRIZ					SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Generales					
Mercurio	ES_EPA7471	mg/kg	0.0109	0.0348	<0.0348
Cianuro Libre	ES_EPA9013_APHACNF	mg/kg	0.2	0.5	<0.5
Metales					
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	22.614
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	13.599.968
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	1.224
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	65.812
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	28.811
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.781
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	0.400
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.148
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	726.948
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	1.365
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	23.732
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	19.590
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.362

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CM-2014-03: CIERRE
PROFUNDIDAD (m)					PROGRESIVO DE MINA 2014
FECHA DE MUESTREO					8378985N / 437990E
HORA DE MUESTREO					0,20
MATRIZ					03/08/2020
PRODUCTO DESCRITO COMO					13:00:00
					SUELOS
					SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales					
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	<0.940
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	12.481
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	379.645
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	30,921.244
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	21.225
Litio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	55.7
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	5,073.593
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	498.714
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	0.487
Niquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	27.449
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	<0.268
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	12.697
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	511.541
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	277.423
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	<0.093
Thorio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	9.147
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	83.137
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.908
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	17.688
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	1.108
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	7.541
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	65.346

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca.

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Página 7 de 9
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Mercurio	mg/kg	0.0348	<0.0348	0%	95%	93%	1%
Cobre	mg/kg	1.136	<1.136	0 - 7%	93%	91%	0%
Aluminio	mg/kg	8.602	<8.602	1 - 9%	89%	89%	0%
Antimonio	mg/kg	0.131	<0.131	0 - 7%	104%	104%	1%
Arsénico	mg/kg	2.857	<2.857	0 - 7%	103%	103%	1%
Bario	mg/kg	0.440	<0.440	1 - 7%	102%	102%	2%
Berilio	mg/kg	0.173	<0.173	1 - 8%	111%	111%	2%
Bismuto	mg/kg	0.103	<0.103	1 - 9%	95%	95%	4%
Boro	mg/kg	17.195	<17.195	0 - 1%	103%	103%	0%
Cadmio	mg/kg	0.144	<0.144	0 - 9%	100%	113%	3%
Calcio	mg/kg	208.223	<208.223	1 - 8%	98%	98%	1%
Circonio	mg/kg	0.147	<0.147	1 - 7%	99%	99%	2%
Cobalto	mg/kg	0.128	<0.128	0 - 9%	99%	98%	2%
Cromo	mg/kg	1.001	<1.001	0 - 8%	94%	96%	1%
Escandio	mg/kg	0.317	<0.317	1 - 4%	105%	97%	3%
Estaño	mg/kg	0.940	<0.940	0 - 9%	91%	91%	2%
Estroncio	mg/kg	0.822	<0.822	1 - 8%	100%	96%	4%
Fosforo	mg/kg	15.157	<15.157	0 - 9%	95%	95%	4%
Hierro	mg/kg	29.302	<29.302	7 - 11%	91%	103%	4%
Lantano	mg/kg	0.103	<0.103	1 - 7%	105%	105%	5%
Litio	mg/kg	3.0	<3.0	0 - 7%	95%	94%	1%
Magnesio	mg/kg	17.545	<17.545	1 - 9%	94%	92%	3%
Manganeso	mg/kg	0.643	<0.643	0 - 9%	88%	88%	0%
Mercurio	mg/kg	0.262	<0.262	0 - 2%	96%	97%	2%
Molibdeno	mg/kg	0.182	<0.182	1 - 8%	90%	90%	0%
Niquel	mg/kg	0.498	<0.498	0 - 8%	105%	90%	9%
Plata	mg/kg	0.268	<0.268	0%	98%	98%	0%
Plomo	mg/kg	0.346	<0.346	1 - 6%	91%	93%	6%
Potasio	mg/kg	42.993	<42.993	0 - 9%	88%	88%	0%
Selenio	mg/kg	3.605	<3.605	0%	103%	103%	0%
Sodio	mg/kg	24.136	<24.136	0 - 8%	92%	92%	1%
Talio	mg/kg	0.093	<0.093	0 - 9%	100%	100%	4%
Thorio	mg/kg	0.112	<0.112	0 - 7%	107%	107%	4%
Titanio	mg/kg	0.251	<0.251	1 - 9%	101%	101%	0%
Uranio	mg/kg	0.102	<0.102	1 - 9%	106%	98%	7%
Vanadio	mg/kg	4.737	<4.737	1 - 9%	98%	96%	6%
Wolframio	mg/kg	0.231	<0.231	0 - 8%	103%	103%	6%
Ytrio	mg/kg	0.096	<0.096	1 - 9%	101%	94%	4%
Zinc	mg/kg	1.934	<1.934	8 - 10%	90%	90%	1%
Cianuro Libre	mg/kg	0.5	<0.5		95 - 100%	89 - 97%	0 - 7%

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348
Ernesto Gunther 275
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1
Parque Industrial
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900
Arequipa t (054) 213 506
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.pe
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA2012570 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA3051_6020	Callao	Metales	EPA METHOD 3051A:2007. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils/EPA METHOD 6020B:2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.
ES_EPA7471	Callao	Mercurio	EPA 7471B: Rev 2, 2007. Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)
ES_EPA9013_APHACNF	Callao	Cianuro Libre	EPA Method 9013A Rev.02, 2014, Cyanide extraction procedure for solids and oils //SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN ⁻ F, 23rd Ed, 2017 Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method. Validado 2017.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio., su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fé pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

Página 9 de 9

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

ANALISIS DE SALINIDAD

Nombre: Giovanni Fernando Salamanca Caceres. "Indicadores de Calidad del Suelo de Cierres Progressivos de Mina del Ambito Geografico de la Cooperativa Minera Limata Limitada"

Fecha de Recepción: 28 de Febrero del 2020. Fecha de Certificación: 13 de Marzo del 2020.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

N°	Cod. Lab.	M A R C A S	ANALISIS		MECANICO		CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena	Arcilla	Limo	Textura				
			%	%	%					
1	316C2	M02-NP Minera Limata	54.72	9.28	36.00	FA	0.00		1.12	0.04
2	316C3	M03-NP Minera Limata	46.72	7.28	46.00	F-FA	0.00		1.23	0.05
3	316C4	M0114 Minera Limata	40.72	11.28	48.00	F	0.00		0.67	0.03
4	316C5	M0214 Minera Limata	56.72	9.28	34.00	FA	0.00		0.56	0.02
5	316D1	M03-14 Minera Limata	54.72	9.28	36.00	FA	0.00		0.60	0.02
6	316D2	M01-NP Minera Limata	50.72	5.28	44.00	FA	0.00		0.74	0.02
7	316D3	M01-18 Minera Limata	70.72	6.56	22.72	FA	0.00		0.51	0.01
8	316D4	M02-18 Minera Limata	70.72	8.56	20.72	FA	0.00		0.39	0.01
9	316D5	M03-18 Minera Limata	65.44	10.56	24.00	FA	0.00		0.40	0.01
10	316E1	M04-18 Minera Limata	73.44	4.56	22.00	FA	0.00		0.34	0.01

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

N°	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro Soluble (ppm)	CACIONES CAMBIABLES					CIC me/100g	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)		Al (me/100g)	Ca (me/100g)	Mg (me/100g)	Na (me/100g)	K (me/100g)		
	1	6.020	0.219	7.00	332.33				0.00	1.60	1.30	0.80		
2	5.747	0.228	7.13	215.03			T	2.60	0.60	0.80	10.00	14.00	15.00	
3	6.487	0.201	4.00	175.94			0.00	2.60	1.40	1.00	13.00	18.00	17.80	
4	6.686	0.182	2.80	19.54			0.00	2.50	1.50	0.70	15.10	19.80	20.02	
5	6.880	0.159	3.00	19.54			0.00	1.40	2.20	0.70	16.80	21.10	22.00	
6	5.772	0.195	2.00	254.13			T	1.00	0.40	0.50	16.10	18.00	19.00	
7	6.233	0.586	1.80	58.64			0.00	1.30	1.70	0.60	12.10	15.70	16.00	
8	6.370	0.372	1.00	488.72			0.00	1.90	3.00	0.80	15.90	21.60	20.80	
9	6.417	0.375	2.60	331.33			0.00	1.90	2.10	0.90	10.10	15.00	14.60	
10	6.450	0.525	3.00	351.88			0.00	2.20	0.90	0.80	11.50	15.40	16.10	

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

N°	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN								
		CACIONES				ANIONES				
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
1	Pasta de Saturación 0.118	3.90	15.60	0.50	0.90	1.20	1.16	0.90	0.00	0.46
2	0.136	4.70	10.60	0.80	1.90	1.10	1.25	1.30	0.00	0.60
3	0.144	7.70	13.90	1.00	1.30	1.40	0.51	0.70	0.00	0.50
4	0.104	6.60	11.40	0.50	1.40	1.20	2.91	1.10	0.00	0.64
5	0.071	3.90	14.20	0.60	2.20	1.00	1.85	0.70	0.00	0.58
6	0.089	3.50	8.60	0.40	1.40	0.50	1.08	1.20	0.00	0.64
7	0.160	5.20	14.50	0.70	1.70	0.60	1.29	1.00	0.00	0.76
8	0.156	4.30	4.50	0.50	3.90	0.50	1.52	0.90	0.00	0.66
9	0.113	5.40	16.20	0.70	3.10	0.80	1.41	1.10	0.00	0.60
10	0.128	4.50	8.50	0.50	0.80	0.90	1.33	1.00	0.00	0.88

Referencias: Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A.

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe sólo

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.

www.inia.gob.pe

Sexta reimpresión, Octubre 1988, 755p.

Rinconada de Salcedo, Puno

Puno, Puno, Perú

T: (051) 368 812



Ing° JORGE CAMIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO