

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“DETERMINACIÓN DE NIVEL DE FONDO PARA METALES
DE SUELOS EN EVALUACIONES AMBIENTALES
DE PROYECTOS MINEROS”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

JORGE LUIS FERNÁNDEZ NAJARRO

Lima – Perú

2021

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“DETERMINACIÓN DE NIVEL DE FONDO PARA METALES
DE SUELOS EN EVALUACIONES AMBIENTALES
DE PROYECTOS MINEROS”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentada por:

JORGE LUIS FERNÁNDEZ NAJARRO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg. Sc. Juan Antonio Guerrero Barrantes
Presidente

Ph.D. Diego Alejandro Sotomayor Melo
Miembro

Mg. Lucio Villa Ramos
Miembro

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro
Asesor

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	v
ABSTRACT.....	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Marco teórico general	3
2.1.1. Marco legal.....	3
2.1.2. Marco institucional	4
2.1.3. Normativa ambiental aplicable.....	9
2.2. Teorías de sustentación.....	10
2.2.1. Conceptos básicos	10
2.2.2. Método para la determinación de puntos de muestreo.....	11
2.2.3. Métodos de cálculo de nivel de fondo.....	12
2.3. Marco teórico específico	16
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Ubicación del proyecto	17
3.2. Determinación de puntos de muestreo.....	18
3.3. Toma de muestra	20
3.4. Cálculo de nivel de fondo para metales en suelos.....	21
IV. RESULTADOS.....	24
4.1. Contexto laboral	24
4.2. Determinación y análisis del problema	26
4.3. Proyecto de solución	26
4.4. Evaluación del proyecto	27
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31

VI. CONCLUSIONES	33
VII. RECOMENDACIONES.....	34
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
IX. ANEXOS	37
X. ASEGURAMIENTO	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Equipos y materiales usados durante el muestreo	20
Tabla 2. Puntos de muestreo y análisis realizado en cada muestra	28
Tabla 3: Valores de nivel de fondo y umbral de fondo determinados en el área de estudio.....	30
Tabla 4: Valores de nivel de fondo y umbral de fondo determinados en el área de estudio	30
Tabla 5: Comparación de los niveles de fondo y valores de umbral de fondo con los ECA de suelo agrícola y valores de la normativa canadiense para suelos agrícolas.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación gráfica de (a) nivel de fondo (95 % UCL) y (b) umbral de fondo (UTL 95-95%)	13
Figura 2: Esquema de ubicación geográfica del área de muestreo de suelo (referencial).....	18
Figura 3: Esquema de la distribución de las submuestras en cada celda seleccionada	19
Figura 4: Esquema de cuarteo de las submuestras mezcladas.....	21
Figura 5: Esquema del proceso de tratamiento de datos para el cálculo de nivel de fondo y umbral de fondo	22
Figura 6: Organigrama de la Institución de Evaluación Ambiental	25
Figura 7: Gráfica de concentraciones de metales totales (bario, berilio, boro, cadmio, cromo, mercurio, plomo y zinc).....	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Vistas Fotográficas	38
Anexo 2: Esquema de distribución de los puntos de muestreo de suelos	42
Anexo 3: Resultados de las concentraciones de metales y granulometría en los puntos de muestreo.....	43
Anexo 4: Esquemas de distribución de las concentraciones de los metales analizados.....	48
Anexo 5: Resultados de suelos con el formato requerido y resultados estadísticos del programa ProUCL.....	53

RESUMEN EJECUTIVO

El Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) titulado “Determinación de nivel de fondo para metales de suelos en evaluaciones ambientales de proyectos mineros” fue realizado a partir de la experiencia laboral obtenida en la Institución de Evaluación Ambiental (IEA) del MINAM, para la cual laboré desde noviembre de 2015 hasta diciembre de 2020, específicamente el TSP se centra en los resultados obtenidos de nivel de fondo de la evaluación ambiental realizada a un proyecto de exploración minera ubicado en el departamento de Puno en el 2017 y 2018.

El objetivo del TSP es la determinación de nivel de fondo y umbral de fondo para metales en suelos de las evaluaciones ambientales de proyectos mineros en exploración, éstos valores cálculos servirán para compararlos con los resultados de futuras evaluaciones en el área de estudio. Para el cálculo nivel de fondo y umbral de fondo se usó el programa estadístico ProUCL desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

Los resultados de nivel de fondo y umbral de fondo calculados de zinc, cadmio, cromo, mercurio, plomo y vanadio son inferiores a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo de uso agrícola y a los valores de la *Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health – Canadian Council of Ministers of the Environmental* (SQGPEHH) de uso agrícola. El nivel de fondo del bario es ligeramente inferior al del ECA, mientras que el valor de umbral de fondo es superior al del ECA. El boro y berilio presentaron valores de nivel de fondo y umbral de fondo superiores a los valores de SQGPEHH de uso agrícola.

Dado que, los valores de nivel de fondo y umbral de fondo, en muchos casos no son próximos a los valores establecidos en los ECA y AQGPEHH, se recomienda que los valores calculados de nivel de fondo y umbral de fondo se usen para la comparación de los resultados de futuras evaluaciones de suelos del área de estudio.

Palabras claves: Nivel de fondo, umbral de fondo, ProUCL.

ABSTRACT

The Work of Professional Sufficiency (TSP) entitled "Determination of the background level for soil metals in environmental evaluations of mining projects" was carried out from the work experience obtained in the Institution of Environmental Evaluation (IEA) of MINAM, for which work from November 2015 to December 2020, specifically the TSP focuses on the results obtained from the background level of the environmental assessment carried out on a mining exploration project located in the department of Puno in 2017 and 2018.

The objective of the TSP is to determine the background level and background threshold for metals in soils in the environmental evaluations of mining projects under exploration, so that these calculated values serve to compare the results of future evaluations in the study area. To calculate the background level and background threshold, the statistical program ProUCL developed by the United States Environmental Protection Agency (EPA) was used.

The calculated background level and background threshold results for zinc, cadmium, chromium, mercury, lead and vanadium are below the Environmental Quality Standards (ECA) for Soil for agricultural use and the values of the Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health - Canadian Council of Ministers of the Environment (SQGPEHH) for agricultural use. The background level of barium is slightly lower than that of the ECA, while the background threshold value is higher than that of the ECA. Boron and beryllium presented background level and background threshold values higher than the SQGPEHH values for agricultural use.

Since the background level and background threshold values are in many cases not close to the values established in the ECAs and AQGPEHH, it is recommended that the calculated background level and background threshold values be used for the comparison of the results of future soil evaluations of the study area.

Keywords: Background level, background threshold, ProUCL.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente se sabe que la contaminación del suelo es un problema mundial (López, 2014), producido por actividades antropogénicas en la manufactura, agricultura y actividades extractivas (minería e hidrocarburos), y dado que, en el área de estos suelos por lo general no se realizaron estudios de línea base detallados de las concentraciones de los metales, no se puede medir de manera directa el impacto de las actividades antropogénicas. Para medir el grado de afectación de las actividades antropogénicas en los suelos afectados se recurre al cálculo del nivel de fondo, de áreas cercanas y con características similares.

El presente TSP propone el cálculo de nivel de fondo y umbral de fondo antes del comienzo de las actividades antropogénicas, lo que permitirá tener un nivel de fondo y umbral de fondo real de las zonas de estudio el cuál puede ser usado como valores de línea base.

Como parte de mi experiencia laboral en la Institución de Evaluación Ambiental (IEA) en la Dirección de Evaluación Ambiental, la cual se encarga de realizar evaluaciones ambientales preventivas y estudios detallados para determinar la influencia de las actividades económicas, en la cual me desempeñe como Evaluador ambiental en proyectos mineros, con funciones de elaboración de planes de trabajo de evaluación ambiental para proyectos mineros, trabajos de campo (muestreo y coordinaciones) y realización de los informes de las evaluaciones.

La evaluación ambiental al proyecto de exploración minera ubicada en Puno durante el 2017 y 2018, tuvo como uno de sus objetivos determinar el nivel de fondo de metales en el área del proyecto, para este cálculo se seleccionó el uso del programa estadístico ProUCL, el cual fue desarrollado específicamente para el cálculo de nivel de fondo de metales en suelo. Para el desarrollo de este cálculo se tienen que considerar actividades previas como la revisión de mapas temáticos (mapa de suelos y geológicos) del área de estudio, la determinación del número y ubicación de los puntos de muestreo y la correcta toma de muestras.

Finalmente se pretende que el cálculo de nivel de fondo y umbral de referencia sea realizado en la línea base de suelos, ya que estos valores servirán para la comparativa de los resultados

de los futuros muestreos, y permitirán ver si existe afectación por las actividades antropogénicas.

1.1. Objetivo general

- Determinar el nivel de fondo y umbral de fondo de metales en suelos de las evaluaciones ambientales de proyectos mineros en exploración

1.2. Objetivos específicos

- Proponer los puntos de muestreo, mediante el uso de mapas temáticos e información recolectada en la etapa de gabinete
- Validar los puntos propuestos de muestreo y toma de muestra, durante la etapa de campo
- Calcular el nivel de fondo y umbral de fondo de metales en suelos mediante el uso del programa estadístico ProUCL

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico general

2.1.1. Marco legal

a) Constitución Política del Perú

El artículo 2° de la Constitución Política del Perú (1993), establece que uno de los derechos fundamentales de las personas es gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida de las personas.

b) Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

Esta norma indica que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente.

El Artículo 24° de la Ley N° 28611, establece que toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles a causar impactos ambientales de carácter significativo, está sujeta al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

El Artículo 25° de la Ley N° 28611, señala que los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) son instrumentos de gestión que contienen una descripción de la actividad propuesta y de los efectos directos o indirectos previsibles de dicha actividad en el medio ambiente físico y social, a corto y largo plazo, así como la evaluación técnica de los mismos. Deben indicar las medidas necesarias para evitar o reducir el daño a niveles tolerables e incluirá un breve resumen del estudio para efectos de su publicidad. La normativa sobre la materia señala los demás requisitos con los que debe cumplir un EIA.

c) Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley N° 27446) y su modificatoria (D.L. N° 1078)

En el Artículo 4°, la Ley del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) - Ley N° 27446 clasifica los proyectos de acuerdo al riesgo ambiental, de la siguiente manera:

- **Categoría I** - Declaración de Impacto Ambiental: Incluye aquellos proyectos cuya ejecución no origina impactos ambientales negativos de carácter significativos.
- **Categoría II** - Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado: Incluye los proyectos cuya ejecución puede originar impactos ambientales moderados y cuyos efectos negativos pueden ser eliminados o minimizados mediante adopción de medidas fácilmente adoptables.
- **Categoría III** - Estudio de Impacto Ambiental Detallado: Incluye aquellos proyectos cuyas características, envergadura y/o localización, pueden producir impactos ambientales negativos significativos, cuantitativa o cualitativamente requiriendo un análisis profundo para revisar sus impactos y proponer la estrategia de manejo ambiental correspondiente.

El Decreto Legislativo N° 1078, Modificatoria de la Ley del Sistema Nacional de Evaluaciones de Impacto Ambiental en su Artículo 10° detalla el contenido de los Instrumentos de Gestión Ambiental.

2.1.2. Marco institucional

Este capítulo se menciona a las instituciones que están vinculadas al objetivo general de la presente monografía el cual está relacionado a la calidad ambiental del suelo.

a) Ministerio del Ambiente (MINAM)

Este ministerio de acuerdo con el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de creación organización y funciones del MINAM y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM, Reglamento de Organización y Funciones del MINAM es el organismo rector del sector ambiental, técnico normativas y específicas vinculadas al ejercicio de sus competencias.

Entre estas funciones destacan:

- Aprobar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos para todos los niveles de gobierno
- evaluar las propuestas de establecimiento de áreas naturales protegidas y proponerlas al Consejo de Ministros para su aprobación

- supervisar el funcionamiento de los organismos públicos adscritos al sector y garantizar que su actuación se enmarque dentro de los objetivos de la política nacional ambiental
- promover la participación ciudadana en los procesos de toma de decisiones para el desarrollo sostenible y fomentar una cultura ambiental nacional; ejercer la potestad sancionadora en el ámbito de sus competencias; así como resolver los recursos impugnativos que se interpongan, con potestades de ejecución coactiva en los casos que corresponda.

El MINAM cuenta con siete (07) organismos adscritos: el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) y el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montañas (INAIGEIM).

- Servicio Nacional de Certificaciones Ambiental para las inversiones sostenibles – SENACE

Organismo adscrito al MINAM creado mediante la Ley N° 29968 Ley de Creación del Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), aprobada el 20 de diciembre de 2012. Este organismo público técnico especializado está encargada de revisar y aprobar los EIA detallados que comprenden proyectos de inversión pública y privada o de capital mixto, de alcance nacional y multirregional que impliquen actividades, construcción de obras y otras actividades comerciales y de servicios que puedan causar impactos ambientales significativos.

El SENACE tiene la función de administrar el registro nacional de consultoras ambientales y el registro público y actualizado de las certificaciones ambientales de alcance nacional o multiregional concedidas o denegadas por los organismos correspondientes.

A través del Decreto Supremo N° 006-2015-MINAM se aprobó el cronograma de transferencia de funciones de las autoridades sectoriales al SENACE y mediante Resolución Ministerial N° 328-2015-MINAM, se aprobó la culminación del proceso de transferencia en materia de minería, hidrocarburos y electricidad del MINEM al SENACE, el cual determina que a partir del 28 de diciembre del 2015 esta institución asumirá las funciones transferidas.

- **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)**

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) es un organismo público técnico especializado, adscrito al MINAM. El OEFA es el ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA), y tiene la responsabilidad de asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental por todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas. Asimismo, supervisa y garantiza que las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización, control, potestad sancionadora y aplicación de incentivos en materia ambiental, a cargo de las diversas entidades del Estado, se realicen de forma independiente, imparcial, ágil y eficiente, de acuerdo con lo dispuesto jurídicamente conforme a la Política Nacional del Ambiente.

De acuerdo al Decreto Supremo N° 022-2009-MINAM, Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, este tiene entre sus principales funciones formular e implementar los procedimientos o mecanismos que garanticen la articulación del Sistema Nacional de evaluación y Fiscalización Ambiental con el Sistema Nacional de Gestión Ambiental, en coordinación con las entidades correspondientes; emitir informes de los resultados de las acciones de evaluación, supervisión y fiscalización, sanción y aplicación de incentivos, y requerir información y opinión técnica de oficio respecto de cualquier acto administrativo, incidente, procedimiento u otro relacionado con el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

Mediante Decreto Supremo N° 001-2010-MINAM se aprobó el inicio del proceso de transferencia de funciones de supervisión, fiscalización y sanción en materia ambiental del OSINERGMIN al OEFA, en el que se transfirieron el acervo documentario, personal, bienes y recursos destinados al ejercicio y cumplimiento de las funciones de supervisión, fiscalización y sanción en materia ambiental, conforme a las disposiciones legales sobre la materia. El OEFA, asumió las funciones de supervisión, fiscalización y sanción ambiental en materia de minería, por transferencia de OSINERGMIN, a partir del 22 de julio de 2010, de acuerdo a lo establecido en la Resolución de Consejo Directivo N° 003-2010-OEFA.

b) Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

De acuerdo con el Reglamento de Organización y Funciones del MINEM, aprobado por Decreto Supremo N° 031-2007-EM, modificado por Decretos Supremos N° 026-2010-EM, N° 030-2012-EM y N° 025-2013-EM, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), es un organismo público integrante del Poder Ejecutivo, con personería jurídica de derecho

público y ente rector del Sector Energía y Minas. Tiene como finalidad promover el desarrollo integral y sostenible de las actividades minero-energéticas, normando y/o supervisando, según sea el caso el cumplimiento de las políticas de alcance nacional.

El MINEM tiene como función otorgar diversos derechos para el desarrollo de las actividades minero-energéticas, y es la autoridad ambiental competente para dichas actividades. El MINEM cumple la función de promover el fortalecimiento de las relaciones de las empresas del Sector Energía y Minas con la sociedad civil o población involucrada con el desarrollo de sus actividades.

El MINEM está conformado por diferentes órganos administrativos y de línea. En el caso de las actividades mineras, los órganos de línea con competencias en la materia son: la Dirección General de Minería (DGM), la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM), la Dirección General de Formalización Minera (DGFM) y la Oficina General de Gestión Social (OGS).

Cabe precisar que el MINEM cuenta con otros órganos de línea con competencia respecto a las actividades energéticas, pero que también tienen incidencia en la ejecución de proyectos mineros, en cuanto corresponda. Dichos órganos de línea son: Dirección General de Hidrocarburos (DGH) y la Dirección General de Electricidad (DGE).

- **Dirección General de Minería (DGM)**

La DGM es la unidad de línea encargada de normar y promover las actividades mineras cautelando el uso racional de los recursos mineros en armonía con el medio ambiente. Entre sus principales funciones tiene las siguientes: otorgar los títulos de concesión de beneficio, labor general y transporte minero; autorizar el inicio o reinicio de actividades minero metalúrgicas; otorgar los certificados de operación minera y autorizar el uso de ANFO y similares; aprobar los planes de minado y sus modificaciones bajo su competencia; resolver sobre los aspectos económicos y financieros del plan de cierre de minas y plan de cierre de pasivos ambientales mineros, así como otorgar los certificados de cumplimiento progresivo y final de los mismos; elaborar, actualizar y priorizar el inventario de pasivos ambientales mineros, e identificar a los responsables de los mismos.

- **Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM)**

La DGAAM es el órgano técnico normativo encargado de promover y evaluar la política ambiental del Sector Minería, proponer y/o expedir la normatividad necesaria, así como

promover la ejecución de actividades orientadas a la conservación y protección del medio ambiente referido al desarrollo de las actividades mineras. Tiene entre sus principales funciones: formular, proponer y aprobar, cuando corresponda, las normas técnicas y legales relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente; evaluar y aprobar los estudios ambientales y sociales que estén a su cargo de acuerdo a la normativa vigente y que no hayan sido transferidas al SENACE.

- **Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)**

El INGEMMET es el encargado de investigar y efectuar estudios de los recursos minerales, geomorfología, glaciología y geología ambiental, así como estudios de evaluación y monitoreo de los peligros geológicos, también administra los derechos mineros para la ciudadanía en general.

c) **Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego Agricultura (MIDAGRI)**

De conformidad con el Decreto Supremo N° 008-2014-MINAGRI que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del MIDAGRI, modificado por los Decretos Supremos N° 004-2015-MINAGRI, N° 003-2016-MINAGRI, N° 018-2016-MINAGRI y N° 001-2017-MINAGRI, este Ministerio es el ente rector del Sector Agrario. En tal sentido, ejerce su competencia en todo el territorio nacional, comprendiendo las tierras forestales, las eriazas con aptitud agraria, los recursos forestales y su aprovechamiento sostenible; la flora y fauna, los recursos hídricos, la infraestructura agraria, las actividades de producción, transformación y comercialización de productos agrarios, los servicios y actividades vinculados a la actividad agraria como la sanidad, la investigación, la innovación, la información, la capacitación, la extensión y la transferencia de tecnología agraria conforme a la Política Nacional Agraria y en concordancia con la Política Nacional del Ambiente.

El MIDAGRI tiene entre sus funciones dictar las políticas nacionales en materia de conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos forestales y la fauna silvestre; así como formular y supervisar la Política Nacional Agraria y promover la participación de la inversión privada en el desarrollo agrario, en coordinación con los sectores e instituciones competentes.

El MIDAGRI tiene vinculado a la aprobación de los estudios de impacto ambiental a la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAA).

- **Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA)**

De conformidad con el Artículo 63° del Decreto Supremo N° 031-2008-AG, la DGAAA es la encargada de ejecutar los objetivos y disposiciones del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, en el ámbito de su competencia. Tiene entre sus competencias emitir opinión en los procedimientos de evaluación de impacto ambiental que le sean referidos por otros sectores (como el caso del sector minero) o por el MINAM a través de la Dirección de Gestión Ambiental Agraria, unidad orgánica de esta entidad.

2.1.3. Normativa ambiental aplicable

Este capítulo se menciona a las normativas ambientales que están vinculadas al objetivo general de la presente monografía el cual está relacionado a la calidad ambiental del suelo.

- Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (Decreto Supremo N° 017-2009-AG);
- Disposiciones Complementarias para la Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental - ECA para Suelos (Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM);
- Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación (Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM);
- Guía para la elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (Resolución Ministerial N° 034-2015-MINAM);
- Actualizan métodos de ensayo para el análisis de parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (Resolución Ministerial N° 137-2016-MINAM);
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos (Decreto Supremo No. 011-2017-MINAM).
- Directrices canadienses sobre la calidad del suelo y para la protección del medio ambiente y salud humana, Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (*Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health – Canadian Council of Ministers of the Environmental*), esta norma internacional se usa en caso algún parámetro de interés no cuente con Estándar de Calidad Ambiental.

2.2. Teorías de sustentación

2.2.1. Conceptos básicos

Línea Base: entendida como la caracterización inicial del área donde se ejecutará un proyecto¹.

Muestra compuesta: Es aquella constituida por un conjunto de muestras simples (sub muestras), convenientemente mezcladas, y llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado. El número de sub muestras dependerá de la variabilidad de la sustancia o propiedad a analizar en el área de estudio y tiene la ventaja de permitir un muestreo mayor sin aumentar el número de muestras a analizar (Guía para muestreo de suelos, 2014)².

Muestreo de nivel de fondo: Es aquel orientado a identificar el nivel de fondo en el suelo (Guía para muestreo de suelos, 2014).

Nivel de fondo: Concentración en el suelo de los químicos que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la actividad bajo análisis (Guía para muestreo de suelos, 2014).

De Miguel (2002) manifiesta que los valores de fondo caracterizan la situación real de los suelos naturales de una región en el momento de su estudio. Los valores de fondo describen la distribución de valores de concentración de los diferentes elementos químicos, en los suelos de una región no afectada por actividades antrópicas.

La U.S. EPA (2002) define dos tipos de fondo, el primero corresponde al fondo de origen natural definido como las sustancias presentes en el medio ambiente de formas que no han sido influenciadas por la actividad humana. El segundo corresponde al fondo antropogénico el cual se define como las sustancias naturales y humanas presentes en el medio ambiente como resultado de actividades humanas no específicamente relacionadas con el sitio en cuestión.

¹ Guía para la elaboración de la Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, aprobado por la Resolución Ministerial N°455-2018-MINAM (04 de enero de 2019)

² Guía para muestreo de suelos, aprobado por la Resolución Ministerial N°085-2014-MINAM (31 de marzo de 2014)

Para el presente estudio el nivel de fondo es representado por el límite superior de confianza del 95% de la media (UCL95) del conjunto de datos evaluados.

Patrón de muestreo: Es la distribución espacial de los puntos de muestreo en el plan horizontal, para cada sitio en particular en base a las características y el objetivo del muestreo, Los patrones pueden ser i) de distribución uniforme (rejillas regulares, rejillas triangulares, rejillas circulares, sobre una línea, diagonales múltiples), ii) de distribución aleatoria (aleatorios, aleatorios en una rejilla regular, aleatorios desalineados en una rejilla regular), iii) de muestreo con distribución heterogénea (diagonal simple, diagonales cruzadas rotantes).

Sitio contaminado: Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores representa un riesgo a la salud humana o el ambiente (Guía para muestreo de suelos, 2014).

Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM).

Suelo contaminado: Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias depositadas por la actividad humana (Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM).

Umbral de fondo: Para el presente estudio el umbral de fondo es el valor máximo del percentil 95 con un 95 % de confianza de un conjunto de datos.

2.2.2. Método para la determinación de puntos de muestreo

El muestreo de suelo consideró los tipos de muestreo (sección 1.3), la determinación de puntos de muestreo (sección 5) y el anexo N.º 2 de la Guía para Muestreo de Suelos aprobada el 9 de abril de 2014, mediante Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM.

La guía mencionada en el párrafo anterior tiene en cuenta que para el muestreo de nivel de fondo, se debe considerar que los puntos de muestreo están en el mismo tipo de suelo, la misma geología, capacidad de uso mayor y uso actual. Para el muestreo de nivel de fondo de suelos en proyectos mineros en actividad se buscan áreas que no tengan influencia del

proyecto minero en evaluación, para la cual se hace uso de los mapas del área del proyecto y de su área de influencia ambiental directa y de visitas de reconocimiento.

2.2.3. Métodos de cálculo de nivel de fondo

El nivel de fondo es la concentración natural de algún elemento en un área específica generalmente es calculado con la mediana de un conjunto de muestras, López (2014).

Diez Ortiz, (2006) y Rueda et al (2011), menciona que los métodos estadísticos persiguen estimar los valores de una población que no presentan comportamiento “normal” a causa de valores anómalos o atípicos, y citan que algunos autores usan el valor del 95 percentil como nivel de fondo y otros utilizan la concentración media y desviación estándar. Brizuela y Jiménez (2012) para una distribución normal de los datos usan la media aritmética como nivel de fondo y la distribución es log- normal usan la media geométrica.

El INGEMMET en su Boletín N° 15 Serie B (Geoquímica ambiental de la cuenca del Río Chancay – Lambayeque) realizó el cálculo del threshold en sedimento (valor umbral en sedimento) a partir del producto de dos veces la desviación estándar más el valor del background en sedimento (valor de fondo en sedimento). El valor de fondo en sedimento es equivalente al promedio del conjunto de datos procesados.

Dado que la normativa peruana referente al cálculo del nivel de fondo de metales no indica el método o aproximación para su cálculo, este trabajo propone el uso del programa ProUCL creado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), el cual es un paquete integral de software estadístico con métodos y herramientas gráficas que permiten determinar los valores anómalos y hallar el nivel de fondo de un conjunto de datos ambientales con o sin datos no detectados, se precisa que este software es libre y es compatible con Microsoft Office.

El MINAM (2015) en la “Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgo a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados” y el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2013) en su “Guía de muestreo y análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgos en suelos/sitios con presencia de contaminantes”, proponen el uso del programa ProUCL para la obtención del 95 por ciento del límite superior de confianza de la media de la población de los datos el cual sirve como un criterio para determinar contaminantes de preocupación.

Para realizar el tratamiento estadístico se procesan los resultados de los metales reportados por el laboratorio, donde se identifican los valores por debajo del límite inferior de cuantificación (valores censurados), mediante un método estadístico robusto (Kaplan-Meier, 1958) se sustituye los valores no detectados con valores que coincidieron con la distribución del conjunto de datos (Klee, 2014), o se remplazan estos valores por la mitad del límite inferior de cuantificación.

Los valores ya tratados en una hoja Excel se exportan al programa ProUCL el cual determina el comportamiento de cada variable (metales), mediante el tratamiento estadístico univariante³ del conjunto de datos por tipo de suelo y por tipo de metal.

El programa ProUCL da como resultados estadística básica (media, mediana, desviación estándar), gráficos de probabilidad que incluyen histogramas, diagramas de cajas y grafica de línea de tendencia, tipo de distribución de los datos, el límite superior de confianza del 95% de la media (UCL95) y el límite superior de tolerancia con confianza del 95% del percentil 95 (UTL95-95).

US EPA, recomienda utilizar el UCL95 como el valor de nivel de fondo, este valor puede ser usado para comparar el promedio de los resultados de futuras evaluaciones realizadas en el mismo lugar donde se realizó el muestreo para el nivel de fondo o para áreas próximas que tengan las mismas características. El UTL95-95 es el valor de umbral de fondo, el cual es usado para la comparación con los resultados de punto por punto de futuras evaluaciones.

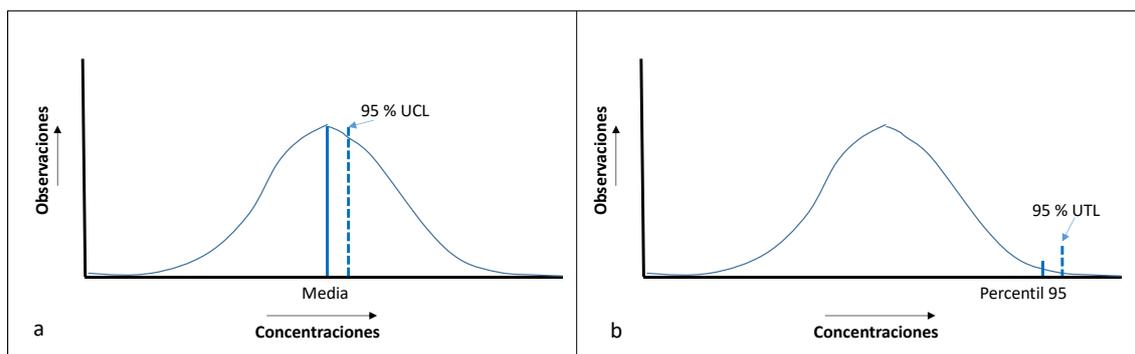


Figura 1: Representación gráfica de (a) nivel de fondo (95 % UCL) y (b) umbral de fondo (UTL 95-95%)
FUENTE: Modificado de Klee (2014)

³ El tratamiento estadístico univariante consiste en un análisis descriptivo de cada una de las variables, mediante la estimación de estadísticos de tendencia central, distribución de frecuencias y estadísticos de dispersión.

Según la Guía Técnica del programa ProUCL versión 5.1 (2015) dependiendo la distribución de los datos el programa calcula el valor de UCL95 y UTL95-95 mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1: cálculo del UCL para distribución Normal de los datos

$$UCL = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} s_x / \sqrt{n}$$

Donde:

n : tamaño de muestra

\bar{x} : media aritmética de la muestra

s_x : desviación estándar de la muestra

$t_{\alpha, n-1}$: percentil 100(1- α)-enésimo de la distribución t-Student de n-1 grados de libertad

Ecuación 2: cálculo del UCL para distribución Log-Normal de los datos

$$UCL = \exp(\bar{y} + 0.5s_y^2 + s_y H_{1-\alpha} / \sqrt{n-1})$$

Donde:

\bar{y} : media aritmética de la muestra de los datos transformados logarítmicamente

s_y : desviación estándar de la muestra de los datos transformados logarítmicamente

$H_{1-\alpha}$: estadístico H propuesto por Land (1975)

Ecuación 3: cálculo del UCL para distribución Gamma de los datos $n \leq 50$

$$UCL = \frac{2nk\bar{x}}{X_{2nk}^2(\alpha)}$$

Ecuación 4: cálculo del UCL para distribución Gamma de los datos $n > 50$

$$UCL = \frac{2nk\bar{x}}{X_{2nk}^2(\beta)}$$

Donde:

n : tamaño de muestra

\bar{x} : media aritmética de la muestra

k : parámetro de forma de la distribución Gamma

X_{2nk}^2 : estadístico Chi cuadrado con $2nk$ grados de libertad

α : nivel de significancia

β : nivel de significancia ajustado

Ecuación 5: cálculo del UTL para distribución Normal de los datos

$$UTL = \bar{x} + K * s$$

Donde:

\bar{x} : media aritmética de la muestra

K : factor de tolerancia (depende del tamaño de la muestra)

s : desviación estándar de la muestra

Ecuación 6: cálculo del UTL para distribución Log- Normal de los datos

$$UTL = \exp(\bar{y} + K * s_y)$$

Donde:

\bar{y} : media aritmética de la muestra de los datos transformados logarítmicamente

K : factor de tolerancia (depende del tamaño de la muestra)

s_y : desviación estándar de la muestra de los datos transformados logarítmicamente

Ecuación 7: cálculo del UTL para distribución Gamma de los datos, con WH aproximación y transformación de datos $Y=X^{1/3}$

$$UTL = \max(0, (\bar{y} + K * s_y)^3)$$

Donde:

\bar{y} : media aritmética de la muestra de los datos transformados

K : factor de tolerancia (depende del tamaño de la muestra)

s_y : desviación estándar de la muestra de los datos transformados

Ecuación 8: cálculo del UTL para distribución Gamma de los datos, con HW aproximación y transformación de datos $Y=X^{1/4}$

$$UTL = (\bar{y} + K * s_y)^4$$

Donde:

\bar{y} : media aritmética de la muestra de los datos transformados

K : factor de tolerancia (depende del tamaño de la muestra)

s_y : desviación estándar de la muestra de los datos transformados

2.3. Marco teórico específico

Heiner Saldaña (2020) en el desarrollo de su tesis “Niveles de referencia para metales pesados en el suelo – Cerro de Pasco” para la obtención de título de Ingeniero Ambiental utilizó el programa ProUCL para hallar el nivel de fondo (límite de superior de confianza del 95% de la media - UCL95) de su área de estudio (ciudad de Cerro de Pasco) de un área de 3201 ha, donde se tomaron 63 muestras simples superficiales (0 – 0.30 m de profundidad) que posteriormente formaron 21 muestras compuestas. El nivel de fondo (NF) obtenido para cada metal posteriormente sirve para el cálculo del nivel de referencia.

Para los metales aluminio, bario, cobre y zinc, se calculó el nivel de referencia (NF) mediante ecuaciones lineales, dado que los valores de las concentraciones de estos metales con los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo como capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO) y potencial de hidrógeno (pH) obtuvieron un coeficiente superior a 0,7. En este cálculo la ecuación lineal presentó la siguiente forma general: $NR = NF + (a * A) + (b * B) \dots$, donde (a y b) son los coeficientes derivados de las pendientes de las rectas de regresión simple de las propiedades edáficas y (A y B) son los valores medios de las propiedades edáficas.

Mientras que para hallar el NR de los metales (cromo, manganeso y plomo) que no presentaron una alta correlación con los parámetros fisicoquímicos del suelo, se utilizó el método de estadística descriptiva el cual tiene como ecuación $NR = X + nDE$, donde (n) es el número de desviaciones estándar, por lo general 2 al 95% y 3 al 99.7% de la población de fondo, (X) valor medio del nivel de fondo y (DE) la desviación estándar.

Finalmente se obtuvo que el NR para el aluminio es 24439 mg/Kg, el bario es 161 mg/Kg, el cobre es 29 mg/Kg, el zinc es 552 mg/Kg, el cromo es 26 mg/Kg, manganeso 966 mg/Kg y el plomo 62 mg/Kg.

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del proyecto

El cálculo de nivel de fondo de metales pesados en suelos se realizó en un área ubicada en el departamento de Puno. El área evaluada consta de 150 hectáreas y tiene una elevación en su punto central de 4609 m s.n.m, en este lugar en el 2010 la empresa de Minera 1 emplazó su proyecto de exploración Sondeos 1, donde se realizó 20 perforaciones de hasta 100 m de profundidad para ver la disposición de los metales en especial el uranio. Se precisa que sus trabajos de exploración lo realizaron hasta el 2012, para posteriormente retirarse del área (por motivos privacidad de la institución por la que laboré y a la empresa donde se realizó el trabajo no se mencionara la ubicación exacta ni los nombres).

Durante el 2017 y 2018 se realizó la evaluación ambiental al área donde se emplazó el proyecto de exploración Sondeos 1, llevado a cabo por la Institución de Evaluación Ambiental (IEA)⁴ adscrita al MINAM, donde se evaluó los componentes ambientales agua, sedimento, suelos y comunidades hidrobiológicas. Esta área fue tomada en cuenta para su evaluación porque es de interés de algunas empresas mineras, por presuntos altos contenidos de minerales.

La evaluación de suelos, tiene como prioridad hallar el valor de nivel de fondo y valores umbrales de fondo de metales en el área donde se realizaron los trabajos de exploración. Estos niveles de fondo y valores umbrales de fondo servirán para comparar los resultados de futuros muestreos de suelos después de que se emplace alguna actividad minera en la zona.

⁴

Dado que se tiene el permiso del proyecto minero donde se realizó las evaluaciones ni de la institución se optó por ponerle nombres genéricos a la empresa minera e institución, para no generar conflictos.

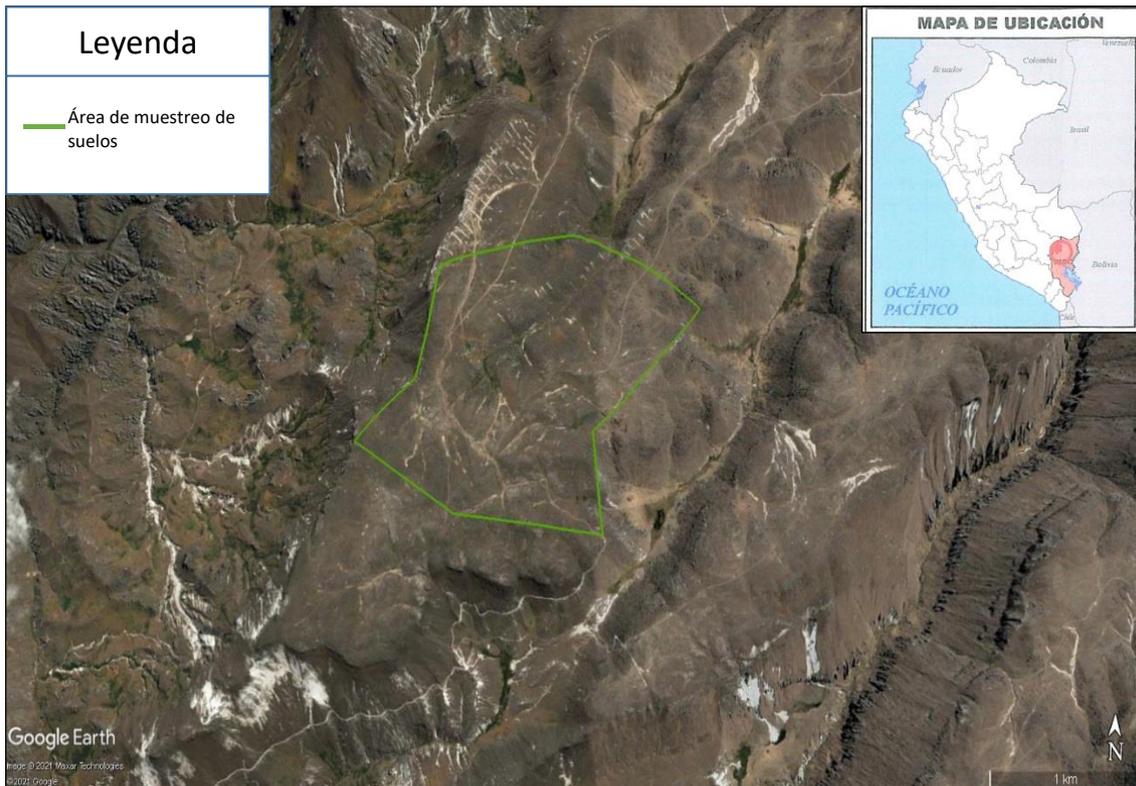


Figura 2: Esquema de ubicación geográfica del área de muestreo de suelo (referencial)

3.2. Determinación de puntos de muestreo

Dado que el proyecto de exploración minero no alteró superficialmente los suelos de las áreas colindantes donde se realizó la actividad de exploración, se planteó el muestreo para nivel de fondo en un área próxima a las zonas de exploración (Anexo 1: Vistas fotográficas). El área determina para el muestreo de nivel de fondo fue de 150 hectáreas, a esta área se superpuso el mapa geológico de la carta geológica 28u (escala 1-100000) donde se observó toda el área está dentro de la unidad litoestratigráfica de la familia Quenamari miembro Yapamayo con tobas vitroclásicas de composición riolítica, y mediante los instrumentos de gestión ambiental elaborados por la empresa Minera 1 se obtuvo que el área está dentro de la asociación Jarapampa – Huanca Huanca Oquecaja (JA-HH), los cuales se describen a continuación:

- Consociación Jarapampa (Ja) está conformada predominantemente por el suelo Jarapampa (*Typic ustorthens*), presentes en laderas empinadas de colinas y montañas, compuestos de material residual y relieves ondulados. Son suelos muy pedregosos, presentan vegetación de pastos naturales. Su erosión es muy ligera. Se presentan en las fases por pendiente: empinada (40 – 60%). Es un suelo profundo de color negro sobre gris rojizo claro a pardo rojizo; textura intermedia y textura gruesa (arenosa) en la capa

más profunda, además presenta buen drenaje. Este suelo presenta una reacción extremada a fuertemente ácida (pH 4.10 -5.20).

- Consociación Huanca Huanca Oquecaja (HH) está conformada predominantemente por el suelo Huanca Huanca Oquecaja (*Humic Dystrustepts*), presentes en laderas inclinadas, conformadas por material residual en relieve ondulado. Libre de pedregosidad superficial, vegetación de gramíneas de porte bajo, su erosión es muy ligera. Se presenta en fases por pendiente fuertemente inclinada (15 – 25%). Este es un suelo profundo, color rojo sobre pardo amarillento oscuro a grisáceo en la capa más profunda; textura moderadamente fina (franco) en las capas superficiales a texturas gruesa (arena franca) en las capas más profundas; presenta drenaje moderado; este suelo presenta una reacción extremadamente a muy fuertemente ácida (pH 4.37 – 4.81).

Por ser una zona de poca pendiente, la distribución de los puntos de muestro siguió un modelo sistemático en rejilla 50 m x 50 m obteniéndose 320 celdas de las cuales se seleccionaron aleatoriamente 26 celdas donde se ubicó un punto de muestro el que es conformado por 5 submuestras distribuidas en el centro y en la mitad de cada arista de la celda (ver Figura 2), la profundidad del muestreo se realizó hasta 0,20 m. Cabe indicar que los puntos fuero ubicados usando los programas Google Earth Pro y QGIS 3.16.

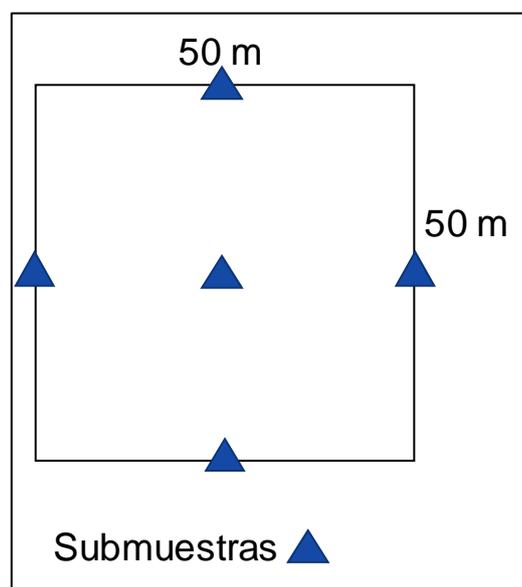


Figura 3: Esquema de la distribución de las submuestras en cada celda seleccionada

3.3. Toma de muestra

Durante la etapa de campo en un primer paso se validan la ubicación de los puntos propuestos en gabinete, en caso se tenga que mover un punto se le reubica en una rejilla próxima.

La buena toma de muestra es fundamental para el resultado de los análisis, ya que malas prácticas de toma de muestra pueden generar alteraciones al contenido de un metal en la muestra. Los equipos y materiales usados para la toma de muestras se encuentran identificados en la Tabla 1.

Tabla 1: Equipos y materiales usados durante el muestreo

Materiales y equipos	Uso
Barreno (acero)	Extracción de muestra
Pala pequeña (acero o plástico)	Extracción de muestra
Equipo de posicionamiento global	Ubicación de puntos
Cámara fotográfica	Vistas fotográficas del área de muestreo
Libreta de campo	Anotación de descripciones del terreno
Lapicero	Anotación de descripciones del terreno
Etiquetas	Rotulo de muestras
Plumones indeleble punta fina	Rotulo de muestras
Plumones para pizarra	Rotulo de la pizarra para las vistas fotográficas
Pizarra	Rotulo de la pizarra para las vistas fotográficas
Guantes de nitrilo	Para la toma de muestras
Bolsas de alta densidad 8X12	Para almacenar las muestras
Bolsas de alta densidad 30X40	Para juntar y mezclar las submuestras
Bandejas	Para realizar el cuarteo
Agua destilada	Para el lavado de equipos y utensilios
Atomizadores	Para el lavado de equipos y utensilios
Cooler	Para el envío de las muestras
Cintas de embalaje	Para rotular las muestras
Cinta Film	Para embalar el cooler

Las tomas de muestras fueron con barreno y pala pequeña de acero inoxidable, y almacenadas en bolsas de alta densidad.

Posteriormente las 5 submuestras colectadas se juntaron y se mezclaron para su homogenización y posterior cuarteo (Figura 3) para la obtención de la muestra final de cada celda.

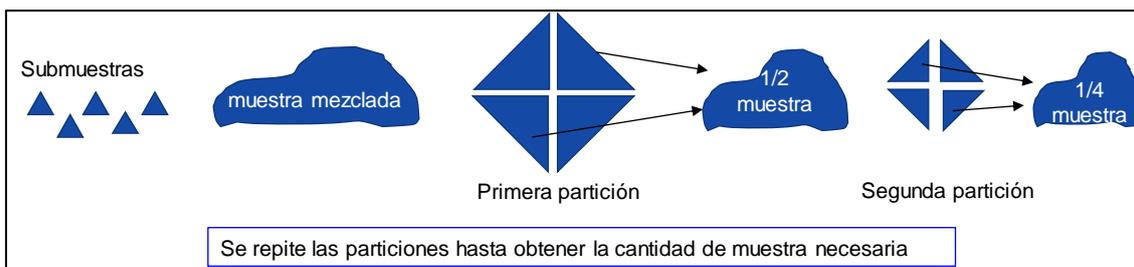


Figura 4: Esquema de cuarteo de las submuestras mezcladas

FUENTE: Esquema adaptado de la Guía de Muestreo de Suelos del MINAM (2014)

3.4. Cálculo de nivel de fondo para metales en suelos

La guía para muestreo de suelos del MINAM, menciona que se debe calcular un nivel de fondo que sirve para comparar los resultados del análisis de metales de los sitios contaminados, indicando que se deben tomar muestras compuestas recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes y considerando como mínimo tres puntos de muestreo. En esta guía no se indica o recomienda el método que se debe usar para el cálculo del nivel de fondo.

Dado que la normativa peruana referente al cálculo del nivel de fondo de metales no indica el método o aproximación para su cálculo, este trabajo propone el uso del programa ProUCL creado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), el cual es un paquete integral de software estadístico con métodos y herramientas gráficas que permiten determinar los valores anómalos y hallar el nivel de fondo de conjunto de datos ambientales con o sin datos no detectados, se precisa que este software es libre y es compatible con Microsoft Office.

El MINAM (2015) en la “Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgo a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados” y el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2013) en su “Guía de muestreo y análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgos en suelos/sitios con presencia de contaminantes”, propone el uso del programa ProUCL para la obtención del 95 por ciento del límite superior de confianza de la media de la población de los datos el cual sirve como un criterio para determinar contaminantes de preocupación. En el 2020 Heiner Saldaña en el desarrollo de su tesis “Niveles de referencia para metales pesados en el suelo – Cerro de Pasco” para la obtención de título de Ingeniero Ambiental utilizó el programa ProUCL.

Para realizar el tratamiento estadístico se procesan los resultados de los metales reportados por el laboratorio, donde se identifican los valores por debajo del límite inferior de

cuantificación (valores censurados), mediante un método estadístico robusto (Kaplan-Meier, 1958) se sustituye los valores no detectados con valores que coincidieron con la distribución del conjunto de datos (Klee, 2014), o se reemplazan estos valores por la mitad del límite inferior de cuantificación.

La Figura 5 muestra esquemáticamente los pasos que se siguen para realizar el cálculo de nivel de fondo y umbral de fondo.

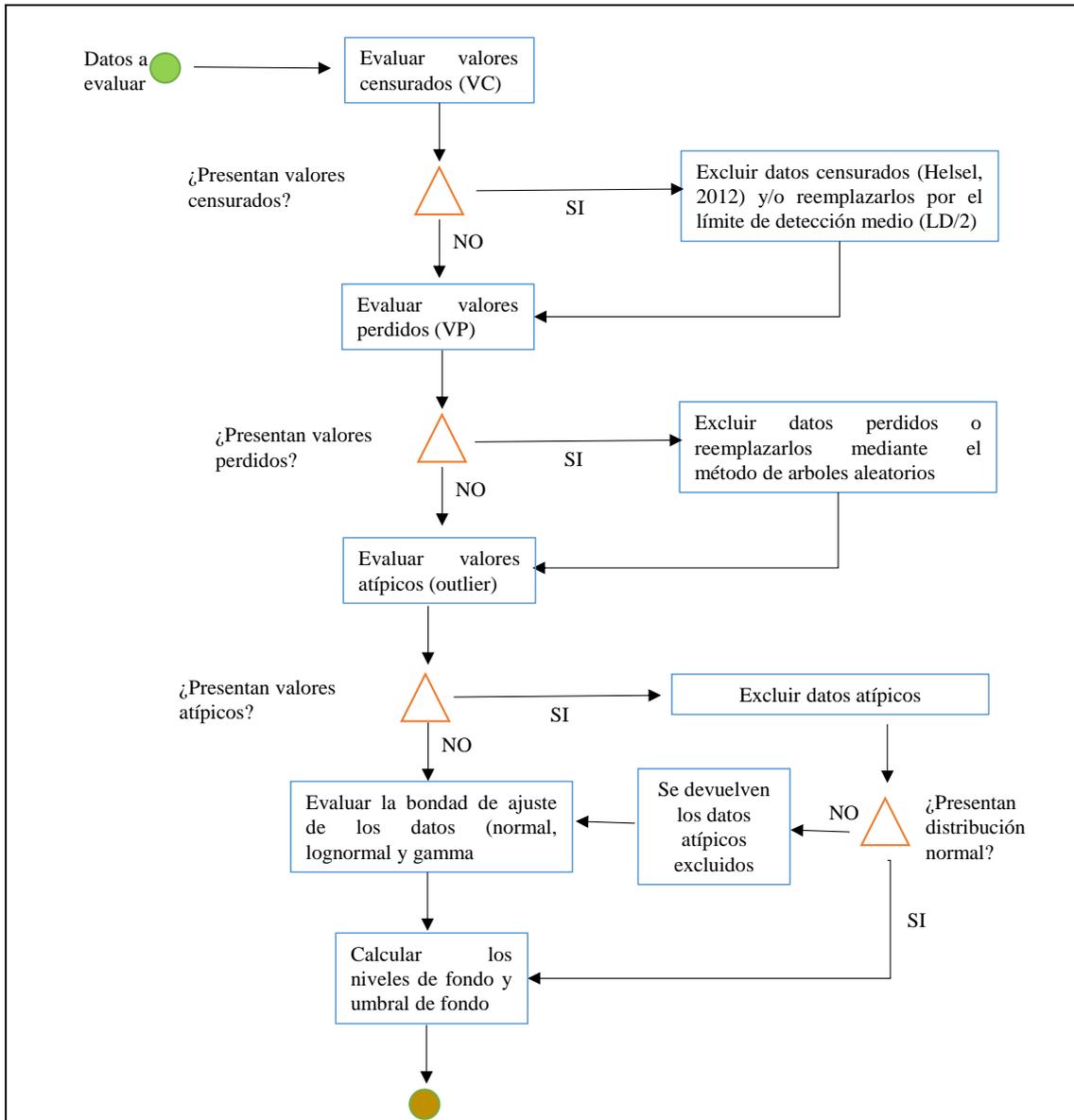


Figura 5: Esquema del proceso de tratamiento de datos para el cálculo de nivel de fondo y umbral de fondo
FUENTE: Esquema del instructivo de la Institución de Evaluación Ambiental

Los valores ya tratados en una hoja Excel se exportan al programa ProUCL el cual determina el comportamiento de cada variable (metales), mediante el tratamiento estadístico univariante⁵ del conjunto de datos por tipo de suelo y por tipo de metal.

La EPA (2006), indica que los valores anómalos o atípicos son mediciones del conjunto de una muestra que son extremadamente grandes o pequeños y que pudiera no tener una relación con el resto de datos recogidos.

El efecto que surge de incluir estos valores anómalos en un conjunto de datos es que pueden distorsionar los test estadísticos utilizados para la determinación de valores de fondo (EPA, 2013).

Estos valores anómalos pueden ser originados por errores sistemáticos en la etapa de muestreo, en el análisis químico de las muestras, o representar valores de otra población (Diamond et al., 2009). El propósito de este análisis es eliminar, el efecto de este tipo de posibles errores en la estimación de las concentraciones de fondo, desde un punto de vista univariante.

El programa ProUCL da como resultados gráficos de probabilidad que incluyen histogramas, diagramas de cajas y grafica de línea de tendencia, y valor de nivel de fondo al valor del 95 por ciento del límite superior de confianza de la media de la población de los datos.

⁵ El tratamiento estadístico univariante consiste en un análisis descriptivo de cada una de las variables, mediante la estimación de estadísticos de tendencia central, distribución de frecuencias y estadísticos de dispersión.

IV. RESULTADOS

4.1. Contexto laboral

En el presente trabajo no se mencionará el nombre real de la institución pública donde labore, dado que el trabajo también se relaciona con empresas privadas.

La Institución de Evaluación Ambiental - IEA es un organismo del estado que mediante evaluaciones y supervisiones ambientales se encarga de impulsar y promover el cumplimiento de la normativa ambiental.

A continuación, se presenta la visión y misión de la IEA, cabe indicar que estas han sido parafraseadas:

Visión: “Aprovechar sosteniblemente los recursos naturales del país y conservar el ambiente el desarrollo económico en beneficio de las personas”.

Misión: “Mejorar el Sistema Gestión Ambiental, velar por el cumplimiento de las normativas ambientales que las empresas se hallan comprometido implementarlas”.

La estructura organizacional de IEA empieza con un Consejo Directivo y Presidencia, Gerencia General y varias direcciones. En mi estancia en IEA me desempeñe como Evaluador en la Dirección de Evaluación, a continuación, en la Figura 6 se muestra el organigrama de IEA.

La Coordinación de Minería de la Subdirección Técnica Científica de la Dirección de Evaluación, tiene como funciones:

- Realizar evaluaciones ambientales preventivas en áreas de influencia ambientales de proyectos mineros
- Realizar estudios detallados para determinar la influencia de las actividades económicas a los componentes ambientales

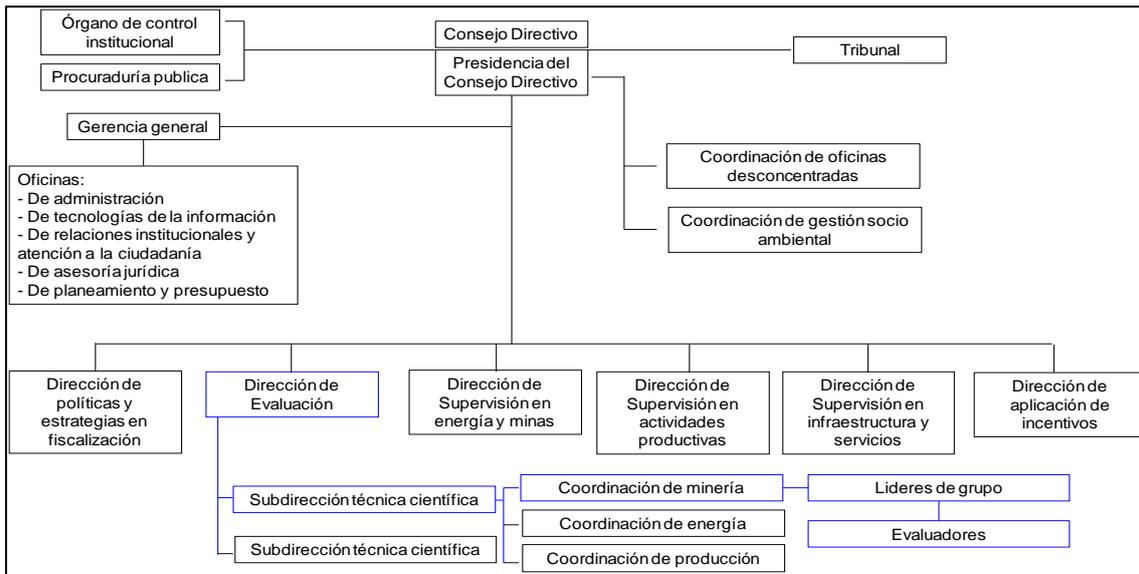


Figura 6: Organigrama de la Institución de Evaluación Ambiental

FUENTE: Esquema adaptado de la página web de la Institución de Evaluación Ambiental

Lo aprendido en los cursos de Contaminación Atmosférica, Contaminación de Aguas, Contaminación de Suelos, Economía Ambiental y Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental entre otros cursos, me sirvieron para el desarrollo profesional en las diferentes empresas e instituciones donde me toco laboral.

En mi etapa de practicante pre profesional y en mi primer trabajo como consultor ambiental, me resulto de mucha utilidad los conceptos de identificación de puntos de muestreo, tipo de muestras y análisis del área de muestreo impartidos en los cursos de contaminación.

Al adquirir mayor responsabilidad como consultor los cursos de Economía Ambiental y Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental junto con los ya mencionados en el párrafo anterior fueron fundamentales para mi crecimiento, ya que, mis conocimientos aprendidos en aula me permitieron identificar los impactos generados por las actividades económicas a los distintos componentes ambientales.

Así mismo, los conocimientos de pre grado con otros adquiridos en diversos curso y experiencia laboral me permitieron llegar a la IEA donde laboré como Evaluador ambiental desde noviembre de 2015 hasta diciembre de 2020 donde he participado en más de 10 proyectos de evaluación ambiental en proyectos mineros y 1 en proyecto de hidrocarburos, cabe precisar que el presente trabajo está basado en mi desempeño en esta institución.

Para el desarrollo de mi Trabajo de Suficiencia Profesional, aplique los conocimientos de Contaminación de Suelos y Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental.

4.2. Determinación y análisis del problema

La contaminación del suelo es un problema mundial (López, 2014; dos Santos et al, 2015 citado por Soto et al, 2020), producido por actividades antropogénicas en la manufactura, agricultura y actividades extractivas (Zhang et al., 2019).

Munive, 2018, menciona que los suelos de las regiones centrales del Perú presentan alto contenido de metales pesados, si estos metales superan la capacidad tampón de los suelos, significaría la degradación de los suelos.

Actualmente el gobierno peruano con la aprobación de los Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados (Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM), reconoce la importancia de identificar y remediar los sitios contaminados, e identificar también las áreas de potencial afectación, pero no plantea la determinación de las concentraciones de metales en los suelos pertenecientes a áreas con un alto potencial de desarrollo de actividades extractivas.

Por lo que se plantea como parte de la línea base se identifique o calcule el valor promedio de las concentraciones de los metales en los suelos donde se emplazará un proyecto minero y en sus alrededores.

4.3. Proyecto de solución

Para encontrar un valor representativo de la concentración de los metales en los suelos donde se emplazarán proyectos mineros, se propone el cálculo de nivel de fondo y de valores de umbral de fondo.

Como ya se detalló en el ítem 2.2.3 existen varios métodos para el cálculo de niveles de fondo, pero para este caso se propuso el uso del UCL95 como el valor de nivel de fondo y el UTL95-95 como valor de umbral de fondo, los cuales son calculados con el programa ProUCL desarrollado por la US EPA, el cual es un paquete integral de software estadístico con métodos y herramientas gráficas que permiten determinar los valores anómalos y hallar el nivel de fondo de conjunto de datos ambientales con o sin datos no detectados, se precisa que este software es libre y es compatible con Microsoft Office.

Se tiene que tener en cuenta que hay estudios (Diez Ortiz, 2006; Rueda et al 2011; Brizuela y Jiménez, 2012; y López 2014), donde el cálculo de nivel de fondo y de referencia se realiza en suelos aledaños a suelos contaminados. En estos estudios los niveles calculados son usados para comparar el grado de contaminación o alteración de los suelos; debido a que,

estos niveles de fondo y de referencia no parecen al mismo suelo se podría tener que los niveles encontrados no representen el nivel de fondo real en el suelo ya contaminado.

Por lo explicado en el párrafo anterior se pretende calcular el nivel de fondo y valores de umbral de fondo antes del desarrollo de las actividades económicas.

4.4. Evaluación del proyecto

Después de la revisión de mapas temáticos se determinó 26 puntos de muestreo en el área de estudio (150 hectáreas), cuyos resultados serán utilizados para el cálculo de nivel de fondo y valor de umbral de fondo. En el Anexo 2 se muestra el esquema de la distribución de los puntos de muestreo.

En los 26 puntos se analizó el contenido de metales totales mediante el método de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, por sus siglas en inglés), realizado por un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), y en 12 puntos se analizó también la clase textural o análisis granulométrico (Tabla 2). La cantidad de puntos de muestreo obedece al presupuesto general de la Evaluación Ambiental y al requerimiento mínimo de valores para que el programa ProUCL realice un cálculo estadísticamente representativo.

Tabla 2: Puntos de muestreo y análisis realizado en cada muestra

Código del punto	Descripción de la zona	Análisis a realizar	
		Metales totales	Granulometría
PSUE-01		Si	Si
PSUE-02		Si	Si
PSUE-03		Si	Si
PSUE-04		Si	Si
PSUE-05		Si	Si
PSUE-06		Si	Si
PSUE-07		Si	Si
PSUE-08		Si	Si
PSUE-09		Si	Si
PSUE-10		Si	Si
PSUE-11		Si	Si
PSUE-12		Si	Si
PSUE-13	Zona de pastoreo plana, dentro del área de influencia del proyecto minero	Si	No
PSUE-14		Si	No
PSUE-15		Si	No
PSUE-16		Si	No
PSUE-17		Si	No
PSUE-18		Si	No
PSUE-19		Si	No
PSUE-20		Si	No
PSUE-21		Si	No
PSUE-22		Si	No
PSUE-23		Si	No
PSUE-24		Si	No
PSUE-25		Si	No
PSUE-26		Si	No

Se precisa que los 26 puntos propuestos en gabinete fueron validos en campo, verificando que el lugar donde se estableció el punto sea representativa, para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

- Mediante uso de GPS se ubicó el punto de muestreo determinado en gabinete
- Se verifico que los puntos de muestreo no estén ubicados en lugares de pendiente fuerte
- Desde el punto de muestreo mediante inspección visual se verifico que los suelos, no se encuentren en zonas alteradas por actividades humanas.
- También se observó que el tipo de vegetación encontrada sea la predominante en todos los puntos

Los resultados de los metales totales (bario, berilio, boro, cadmio, cromo, mercurio, plomo y zinc) se muestran en la Figura 5. El anexo 3: Resultados de las concentraciones de metales y granulometría en los puntos de muestreo.

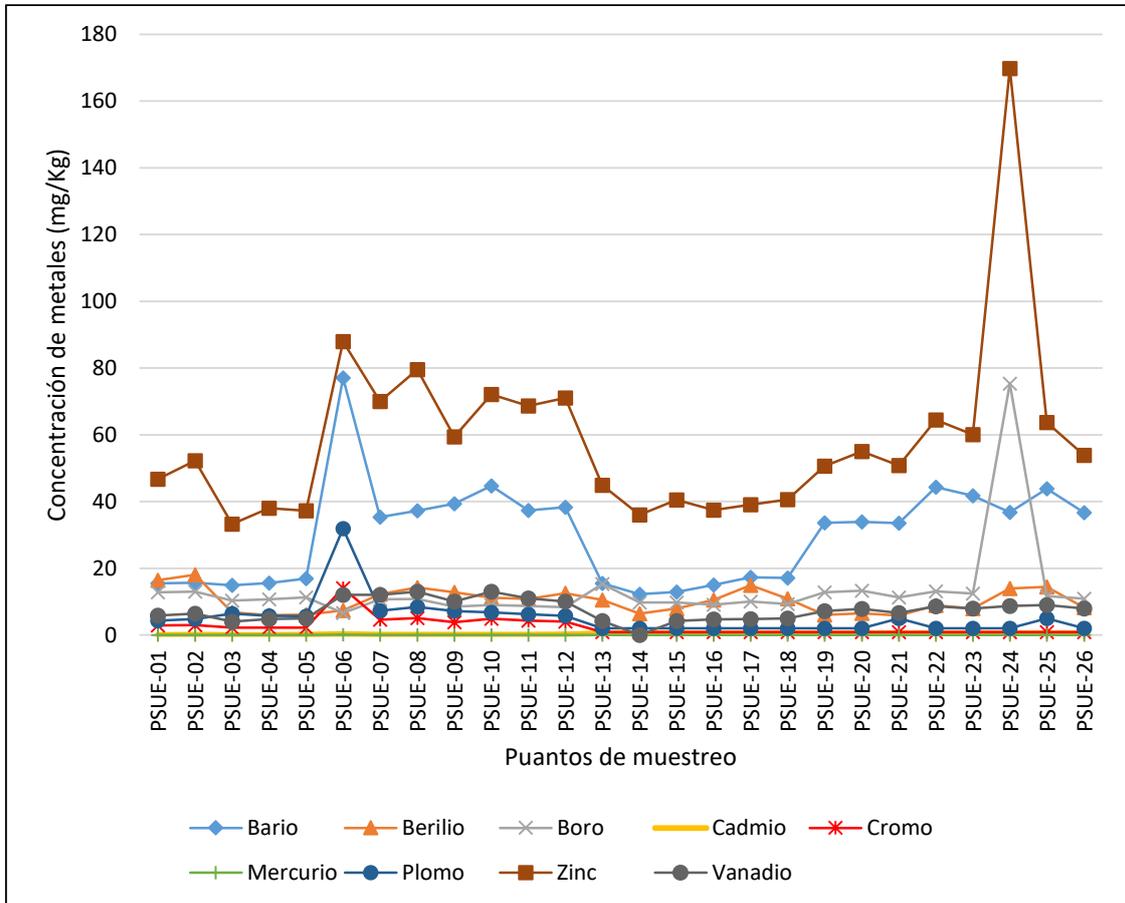


Figura 7: Gráfica de concentraciones de metales totales (bario, berilio, boro, cadmio, cromo, mercurio, plomo y zinc)

En la Figura 5, se observa que el zinc se encuentra con las mayores concentraciones (mg/Kg) en los puntos de muestreo seguido por el bario, berilio, boro y plomo. Los metales cromo, cadmio y mercurio se encuentran en menores concentraciones. Se aprecia también que el zinc y boro presentan un pico en el punto PSUE-24 y el bario, plomo y cromo presentan un pico en el punto PSUE-06. El Anexo 4 se presentan los esquemas de distribución de las concentraciones de los metales estudiados.

Los resultados de nivel de fondo y valores de umbral de fondo (Tabla 3) fueron obtenidos con el programa ProULC, los cuales fueron generados a partir de las concentraciones de los metales en cada punto de muestreo. Se indica que para los cálculos de los niveles de fondo y umbral de fondo para el zinc y boro no se usó el dato del punto de muestreo PSUE-24, por ser considerado anómalo.

Tabla 3: Valores de nivel de fondo y umbral de fondo determinados en el área de estudio

Parámetros	Nivel de fondo (mg/KG)	Valor de umbral de fondo (mg/kg)	Distribución de datos
Boro	11,44	15,29	Normal
Bario	43,08	77,1	No paramétrico
Berilio	11,47	14,44	Normal
Zinc	59,29	88,74	Normal
Cadmio	0,374	0,5	No paramétrico
Cromo	4,905	14	No paramétrico
Mercurio	0,0389	0,1	No paramétrico
Plomo	10,18	31,9	No paramétrico
Vanadio	8,533	14,72	Normal

En el Anexo 5 se encuentran los valores de estadística descriptiva, gráficas de cajas, histogramas generados por el programa ProUCL como pasos intermedios para el cálculo del nivel de fondo y del valor de umbral de fondo.

Los resultados de clase textural se presentan en la Tabla 4, donde se muestra que los suelos evaluados presentan predominio de las texturas francas.

Tabla 4: Resultados de la clase textural de los puntos de muestreo

Código de los puntos de muestreo	Clase textural
PSUE-1	Franco - Limosa
PSUE-2	Franco - Limosa
PSUE-3	Franco - Limosa
PSUE-4	Franca
PSUE-5	Franco - Arenosa
PSUE-6	Franca
PSUE-7	Franco - Arenosa
PSUE-8	Franca
PSUE-9	Franca
PSUE-10	Franca
PSUE-11	Franca
PSUE-12	Franco - Arenosa

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de nivel de fondo y valor de umbral de fondo fueron comparados de forma referencial con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (aprobado en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM) de uso agrícola y con las *Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health – Canadian Council of Ministers of the Environmental* (SQGPEHH) para la categoría de suelos agrícolas de la normativa canadiense (Tabla 5).

Tabla 5: Comparación de los niveles de fondo y valores de umbral de fondo con los ECA de suelo agrícola y valores de la normativa canadiense para suelos agrícolas

Parámetros	Nivel de fondo (mg/Kg)	Valor de umbral de fondo (mg/Kg)	ECA para suelo agrícola**	SQGPEHH para uso agrícola**
Boro	11,44	15,29	--	2
Bario	43,08	77,1	50	750
Berilio	11,47	14,44	--	4
Zinc	59,29	88,74	--	250
Cadmio	0,374	0,5	1,4	1,4
Cromo	4,905	14	--	64
Mercurio	0,0389	0,1	6,6	6,6
Plomo	10,18	31,9	70	70
Vanadio	8,533	14,72	--	130

(*) Estándares de Calidad Ambiental para Suelo aprobado en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM

(**) Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health – Canadian Council of Ministers of the Environmental

En la Tabla 5, se observa que el valor del nivel de fondo y umbral de fondo del bario, zinc, cadmio, cromo, mercurio, plomo y vanadio se encuentran muy por debajo que los valores de las Directrices de Calidad de Suelos para la categoría de suelos agrícolas de la normativa canadiense; pero los niveles de fondo y umbral de fondo del boro y berilio exceden a los valores de la normativa mencionada.

Los niveles de fondo y umbral de fondo del cadmio, mercurio y plomo son inferiores a los ECA para Suelos de uso agrícola; el bario presento un nivel de fondo muy cercano al ECA para Suelos de uso agrícola y el valor de umbral de fondo fue superior al ECA. Los valores

de nivel de fondo y umbral de fondo de los metales son propios de cada lugar, ya que la distribución de los metales en la formación del suelo no es homogénea y suelos con características físicas similares en diferentes zonas no necesariamente van a presentar niveles de fondo y umbral de fondo de metales similares.

Estos valores de nivel de fondo y umbral de fondo serán útiles para la comparación de los resultados de futuras evaluaciones realizadas en el área de estudio, donde el nivel de fondo será comparado con el valor promedio de los futuros monitoreos de suelos y el umbral de fondo con los resultados de cada punto muestreado o con los resultados de muestreos puntuales.

Las comparaciones de los niveles de fondo y umbral de fondo calculados servirán para determinar la afectación real del proyecto minero que se emplace en el área estudiada, lo que a su vez permitirá que la IEA tome mejores decisiones en cuanto a sanciones, ya que un sitio (suelo) sea declarado como contaminado no solo basta que los resultados de los metales analizados incumplan los ECAs, también se requiere que los resultados sean mayores a los niveles de fondo (Brizuela y Jiménez, 2012).

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó 26 puntos de muestreo dentro del área de estudio (150 hectáreas), los cuales proporcionaron los resultados de las concentraciones de los metales, que posteriormente fueron usados para el cálculo de nivel de fondo y valor de umbral de fondo.
2. Las celdas y puntos de muestreo propuestas en gabinete fueron validadas en campo, ya que, no existió reubicación de estos.
3. Los niveles de fondo y de umbral de fondo del cadmio, mercurio y plomo son inferiores a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo para Suelo de uso agrícola y a las *Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health – Canadian Council of Ministers of the Environmental (SQGPEHH)* para uso agrícola. El valor nivel de fondo del bario calculado es ligeramente inferior al ECA para suelo mientras que el valor de umbral de fondo excede al ECA. Los niveles de fondo y umbral de fondo de bario, zinc, cromo y vanadio fueron inferiores a los establecidos en los SQPEHH para uso agrícola, mientras que los valores de borro, berilio los excedieron.
4. El nivel de fondo y valor de umbral de fondo determinado en este estudio permitirá calcular el grado de alteración que generaran futuras actividades que se emplacen en el área evaluada en este estudio.

VII. RECOMENDACIONES

1. Los resultados de metales totales en futuras evaluaciones de suelos dentro del área de estudio deberán ser comparados con los establecidos en los ECA y SQGPEHH de uso agrícola, así como también con el nivel de fondo en caso que se genere un promedio de los futuros resultados de muestreo y con el valor de umbral de fondo en comparaciones individuales.
2. Sugerir que futuras evaluaciones de línea base de suelos calculen el nivel de fondo y umbral de fondo utilizando el programa ProUCL.
3. Futuras investigaciones de nivel de fondo y umbral de referencia en el país deberían correlacionar los parámetros fisicoquímicos del suelo (potencial de hidrogeno, conductividad, capacidad de intercambio catiónico) con la concentración de los metales en los suelos, con la finalidad de determinar si estos influyen en la distribución del metal en un tipo de suelo.
4. Las autoridades competentes deberían de proponer un número mínimo de puntos de muestreo en un área determinada para monitoreos de muestreo de suelos de calidad ambiental en línea base.
5. La Universidad Nacional Agraria La Molina debería considerar en su malla curricular el uso de programas estadísticos diseñados para resolver problemas de índole ambiental.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brizuela, J. & Jimenez, Y. (2012). Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos. *Avances en química*. 7(2).101-109.
- Chira, J., Guerra, K., Rivera R., Vargas, L., Acosta, J. & Valencia, M. (2006). Geoquímica Ambiental de la Cuenca del Río Chancay – Lambayeque. INGEMMET, Serie b, Geología Económica, N° 15, 125P
- De Miguel, E., Callaba, E.A., Arranz, J.C., Cala, V., Chacón, E., Gallego, E., Alberruche, E., Alonso, C., Fdez-Canteli, P., Iribarren, I., & Palacios, H. (2002). Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Serie Medio Ambiente. Terrenos contaminados N° 2. Instituto Geológico y Minero de España. 167 p., Madrid.
- Díez, M. (2006). Valores de fondo de elementos traza en suelos de la provincia de Granada. Universidad de Granada, España.
- Kaplan, E.L. & Meier, O. (1958). Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 53. 457-481.
- Klee, R. (2014). Guidance for Calculating the 95% Upper Confidence Level for Demonstrating Compliance with the Remediation Standard Regulations. State of Connecticut Department of Energy and Environmental Protection, p. 12
- López, J. (2014). *Estudio geoquímico de elementos traza en suelos de la región de Murcia y detección de anomalías/contaminación*. Universidad de Murcia, España.
- Munive Cerrón, R.V. (2018), *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de stevia y fitoremediación*, Escuela de Posgrado doctorado en ingeniería y ciencias ambientales Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

- Rueda, G., Rodríguez, J., & Madriñan, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectiva para Colombia. *Acta agronómica*. 60 (3), 203-218.
- Saldaña, H. (2009). Niveles de referencia para metales pesados en el suelo – Cerro de Pasco. Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú.
- Soto, M., Rodriguez, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C. & Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia peruana. *Scientia Agropecuaria* 11(1), pag. 49-59
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2006). Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners, EPA QA/G-9S. EPA/240/B-06/003. Office of Environmental Information, Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2013). ProUCL Version 5.0 Technical Guide. EPA /600/R-07/041, 2013.
- Zhang, Q., Yu, R., Fu, S., Wu, Z., Chen, H.Y.H. & Liu, H. (2019). Spatial heterogeneity of heavy metal contamination in soils and plants in Hefei, China. *Scientific Reports* 9(1): 1–8.

IX. ANEXOS

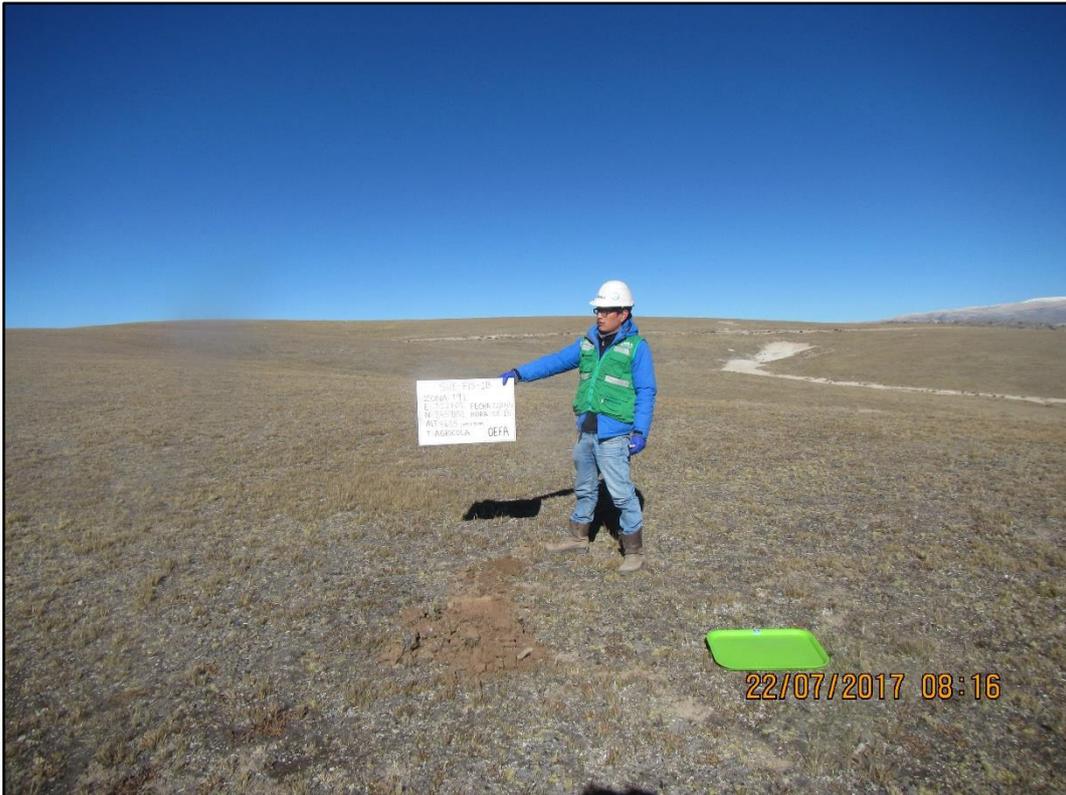
Anexo 1: Vistas Fotográficas



Fotografía 1: Vista del área de evaluación (parte sur)



Fotografía 2: Vista del área de evaluación (parte norte)



Fotografía 3: Vista de la zona de muestreo del punto PSUE-01



Fotografía 4: Vista del punto PSUE-01



Fotografía 5: Vista de la zona de muestreo del punto PSUE-02



Fotografía 4: Vista del punto PSUE-02

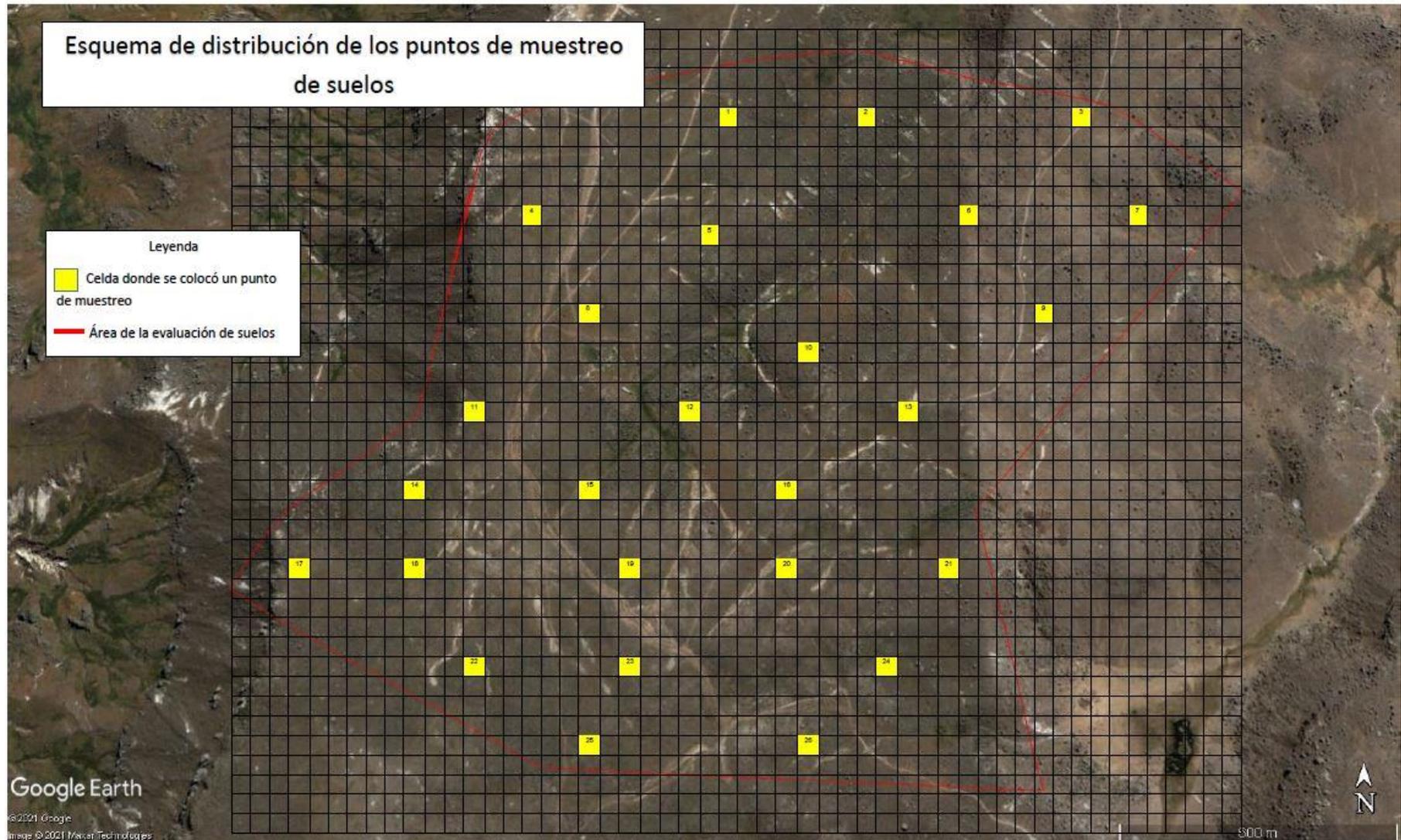


Fotografía 5: Realizando la mezcla de las submuestras del punto de muestreo PSUE-8



Fotografía 6: Llenado de la muestra compuesta del punto de muestreo PSUE-8, en una bolsa de alta densidad para su posterior envío al laboratorio

Anexo 2: Esquema de distribución de los puntos de muestreo de suelos



Anexo 3: Resultados de las concentraciones de metales y granulometría en los puntos de muestreo.

Tabla 3.1: Resultados de los análisis de metales totales en los puntos de muestreo de 2017 y 2018

Fecha de muestreo	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018				
Hora de muestreo	08:18	08:29	08:47	09:00	09:50	10:26	10:34	11:30	11:36	11:36	12:09	12:19	09:30	10:15	10:45	11:10	11:32	11:57	09:40	09:52	10:04	10:19	10:33	10:48	11:08	11:08	11:20	11:20	11:20	11:20	11:20	11:20			
Punto de muestreo	PSU E-01	PSU E-02	PSU E-03	PSU E-04	PSU E-05	PSU E-06	PSU E-07	PSU E-08	PSU E-09	PSU E-10	PSU E-11	PSU E-12	PSU E-13	PSU E-14	PSU E-15	PSU E-16	PSU E-17	PSU E-18	PSU E-19	PSU E-20	PSU E-21	PSU E-22	PSU E-23	PSU E-24	PSU E-25	PSU E-26	PSU E-26								
Aluminio (Al)	m/g/kg	13503	14574	9052	8857	8279	12933	21880	23934	18329	18483	19040	17368	11000	7786	9234	9423	10789	10962	18584	19430	15951	17643	17802	18961	19880	18507	18507	18507	18507	18507	18507			
Antimonio (Sb)	m/g/kg	0,21	0,28	0,33	0,22	0,29	11,00	0,36	0,37	0,22	0,24	0,23	0,21	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5		
Arsénico (As)	m/g/kg	7,40	8,00	7,00	6,10	6,80	32,00	21,00	22,00	18,00	18,00	17,00	15,00	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5	12,3	< 3,5	15,6	13,2	21,5	15,3	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7		
Bario (Ba)	m/g/kg	15,50	15,70	14,90	15,60	16,90	77,10	35,30	37,20	39,30	44,70	37,30	38,30	15,5	12,2	12,9	15,0	17,3	17,1	33,6	33,9	33,5	44,3	41,7	36,8	43,8	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7	
Berilio (Be)	m/g/kg	16,40	18,00	6,78	5,94	6,11	7,36	12,20	14,20	12,80	11,20	10,80	12,50	10,5	6,4	7,9	10,5	14,9	10,9	6,0	6,5	5,8	8,9	7,9	13,9	14,4	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Bismuto (Bi)*	m/g/kg	0,33	0,36	0,76	0,69	0,76	0,53	0,63	0,64	0,38	0,42	0,42	0,41	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5
Boro (B)*	m/g/kg	12,80	13,00	10,30	10,70	11,30	6,63	10,70	10,80	8,54	8,96	8,66	8,33	15,3	9,7	9,7	9,1	10,0	9,3	12,8	13,3	11,3	13,1	12,4	75,3	11,6	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
Cadmio (Cd)	m/g/kg	<0,0007	0,06	<0,0007	<0,0007	0,06	0,26	0,11	0,12	0,09	0,12	0,11	0,20	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Calcio (Ca)	m/g/kg	432,00	430,00	513,00	574,00	805,00	1706,00	778,00	778,00	734,00	898,00	764,00	1029,00	759,9	744,4	964,7	808,2	757,6	837,1	378,9	546,7	529,5	886,5	849,2	1389	548,7	500,5	500,5	500,5	500,5	500,5	500,5	500,5	500,5	
Cerio	m/g/kg	4,48	4,98	3,73	4,34	4,44	12,19	11,42	13,08	11,32	14,16	12,38	11,64	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cobalto (Co)	m/g/kg	0,78	0,89	0,50	0,61	0,65	2,12	1,64	1,80	1,28	1,73	1,42	1,34	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8

Continuación...

Fecha de muestreo	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018		
Hora de muestreo	08:18	08:29	08:47	09:00	09:50	10:26	10:34	11:30	11:36	11:36	11:36	12:09	12:19	09:30	10:15	10:45	11:10	11:32	11:57	09:40	09:52	10:04	10:19	10:33	10:48	11:08	11:20
Punto de muestreo	PSU E-01	PSU E-02	PSU E-03	PSU E-04	PSU E-05	PSU E-06	PSU E-07	PSU E-08	PSU E-09	PSU E-10	PSU E-11	PSU E-12	PSU E-13	PSU E-14	PSU E-15	PSU E-16	PSU E-17	PSU E-18	PSU E-19	PSU E-20	PSU E-21	PSU E-22	PSU E-23	PSU E-24	PSU E-25	PSU E-26	
Cobre (Cu)	m/g/kg	3,70	3,50	3,90	2,80	3,20	5,70	4,90	4,90	3,70	4,00	3,60	4,10	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Cromo (Cr)	m/g/kg	2,90	3,00	2,20	2,20	2,20	14,00	4,60	5,10	3,80	4,90	4,30	4,00	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,9
Estaño (Sn)*	m/g/kg	9,20	9,50	6,80	6,10	5,90	4,70	10,00	11,00	8,40	9,00	9,30	8,30	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Estroncio (Sr)*	m/g/kg	4,67	4,81	5,90	5,95	8,54	21,00	6,77	6,84	6,98	8,64	7,16	8,25	7,3	3,2	4,2	3,0	4,5	2,8	5,5	6,4	6,5	9,8	8,5	13,5	7,8	7,1
Fosforo (P)*	m/g/kg	619	547	561	561	656	654,00	478,00	507,00	353,00	439,00	388,00	544,00	627,3	513,3	594,9	645,1	585,9	621,8	455,8	513,6	620,3	785,1	756,3	833,5	981,5	620,7
Hierro (Fe)	m/g/kg	5985	6204	4602	4420	4521	6668,00	9289,00	10196,00	7887,00	8969,00	8623,00	8158,00	4606	4150	4853	4684	5041	5454	6624	7292	6228	7317	7241	7545	8576	6908
Litio (Li)*	m/g/kg	267	273	126	134	138	39,30	219,00	238,00	196,00	226,00	218,00	204,00	178,2	195,8	240,4	223,4	237,1	257,8	275,6	304,8	256,3	285,3	285,2	261,0	266,2	278,6
Magnesio (Mg)	m/g/kg	802	835	542	695	716,00	1852,00	1371,00	1515,00	1167,00	1365,00	1260,00	1250,00	790	786	898	817	892	937	927	975	841	1035	1038	1027	1123	939
Manganeso (Mn)	m/g/kg	199	165	60,70	87,40	140,00	142,00	287,00	335,00	204,00	326,00	285,00	303,00	191	118	139	137	123	151	249	293	263	335	307	203	312	281
Mercurio Total (Hg)	m/g/kg	<0,03	<0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,10	<0,03	<0,03	< 0,03	< 0,03	<0,03	<0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	< 0,01
Molibdeno (Mo)	m/g/kg	0,21	0,16	0,21	0,21	0,20	0,59	0,37	0,39	0,31	0,30	0,28	0,28	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	1,3	< 0,6
Níquel (Ni)	m/g/kg	0,90	1,24	0,90	0,79	0,80	4,49	2,64	2,97	2,10	2,42	2,30	2,01	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Continuación...

Fecha de muestreo	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018	23/05/2018		
Hora de muestreo	08:18	08:29	08:47	09:00	09:50	10:26	10:34	11:30	11:36	11:36	12:09	12:19	09:30	10:15	10:45	11:10	11:32	11:57	09:40	09:52	10:04	10:19	10:33	10:48	11:08	11:20		
Punto de muestreo	PSU E-01	PSU E-02	PSU E-03	PSU E-04	PSU E-05	PSU E-06	PSU E-07	PSU E-08	PSU E-09	PSU E-10	PSU E-11	PSU E-12	PSU E-13	PSU E-14	PSU E-15	PSU E-16	PSU E-17	PSU E-18	PSU E-19	PSU E-20	PSU E-21	PSU E-22	PSU E-23	PSU E-24	PSU E-25	PSU E-26		
Plata (Ag)	m/g/kg	0,04	0,06	0,04	0,03	0,02	0,11	0,04	0,02	0,02	< 0,006	< 0,006	0,01	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	
Plomo (Pb)	m/g/kg	4,27	4,79	6,37	5,71	5,66	31,90	7,27	8,37	7,16	6,77	6,22	5,74	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
Potasio (K)	m/g/kg	2083	2101	1406	1646	1762	2028	2504	2647	2263	2651	2442	2536	2383	2551	2941	2580	2824	2976	2608	2763	2442	2992	3024	2791	3009	2740	
Selenio (Se)	m/g/kg	0,44	0,29	0,53	0,60	0,53	1,81	1,65	1,85	1,33	1,41	1,04	1,63	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	< 1,6	
Silicio (Si)*	m/g/kg	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	590,9	477,3	564,7	612,6	587,0	627,9	712,5	673,2	628,2	614,2	680,8	670,5	754,0	681,8	
Sodio (Na)	m/g/kg	208	202	156	161	185	204	219	225	199	216	204	215	154	192	224	188	200	206	113	122	111	134	136	255	145	121	
Talio (Tl)	m/g/kg	0,6322	0,6686	0,4108	0,4565	0,4516	0,7948	0,9624	1,0310	0,7454	0,8238	0,7591	0,7127	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Titanio (Ti)*	m/g/kg	82,30	78,60	48,80	70,60	69,80	89,80	326,00	388,00	325,00	423,00	393,00	310,00	270,4	318,9	374,0	337,5	365,9	393,1	297,0	312,5	269,6	321,6	298,2	315,5	321,4	286,9	
Torio (Th)	m/g/kg	0,0991	0,0690	0,0740	0,0800	0,0832	0,2302	0,3601	0,5780	0,5266	0,6525	0,8321	0,4331	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Uranio (U)	m/g/kg	5,065	6,717	10,320	5,480	9,763	9,360	5,355	5,799	4,416	3,833	3,841	6,561	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Vanadio (V)	m/g/kg	5,80	6,40	4,00	4,80	5,00	12,00	12,00	13,00	10,00	13,00	11,00	10,00	4,2	< 0,5	4,2	4,7	4,8	5,0	7,2	7,8	6,6	8,6	7,9	8,7	9,0	7,9	
Wolframio (W)	m/g/kg	1,1800	1,0500	0,8490	0,8266	0,8427	0,2008	1,4270	1,6280	1,4000	1,3220	1,2520	1,2450	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Continuación...

Fecha de muestro	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	22/07/17	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	23/05/18	
Hora de muestro	08:18	08:29	08:47	09:00	09:50	10:26	10:34	11:30	11:36	11:36	12:09	12:19	09:30	10:15	10:45	11:10	11:32	11:57	09:40	09:52	10:04	10:19	10:33	10:48	11:08	11:20	
Punto de muestro	PSU E-01	PSU E-02	PSU E-03	PSU E-04	PSU E-05	PSU E-06	PSU E-07	PSU E-08	PSU E-09	PSU E-10	PSU E-11	PSU E-12	PSU E-13	PSU E-14	PSU E-15	PSU E-16	PSU E-17	PSU E-18	PSU E-19	PSU E-20	PSU E-21	PSU E-22	PSU E-23	PSU E-24	PSU E-25	PSU E-26	
Zinc (Zn)	m g/kg	46,70	52,20	---	38,00	37,20	87,90	70,00	79,50	59,40	72,10	68,70	71,00	44,9	36,0	40,5	37,4	39,1	40,6	50,6	55,0	50,8	64,5	60,1	169,8	63,7	53,9
Titanio (Ti)*	m g/kg	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	270,4	318,9	374,0	337,5	365,9	393,1	297,0	312,5	269,6	321,6	298,2	315,5	321,4	286,9

(---): Resultados de parámetros no reportados por el laboratorio que analizo las muestras el 2017

(--): Resultados de parámetros no reportados por el laboratorio que analizo las muestras el 2018

Tabla 3.2: Resultados de los análisis de granulométrico en los puntos de muestreo de 2017

Fecha de muestreo		22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017	22/07/2017
Hora de muestreo		08:18	08:29	08:47	09:00	09:50	10:26	10:34	11:30	11:36	11:36	12:09	12:19
Punto de muestreo		PSUE-01	PSUE-02	PSUE-03	PSUE-04	PSUE-05	PSUE-06	PSUE-07	PSUE-08	PSUE-09	PSUE-10	PSUE-11	PSUE-12
Arcilla	%	25,00	20,00	20,00	15,00	5,00	10,00	10,00	15,00	10,00	15,00	10,00	5,00
Arena	%	20,00	26,00	20,00	36,00	50,00	45,00	60,00	45,00	50,00	45,00	45,00	50,00
Limo	%	55,00	54,00	60,00	49,00	45,00	45,00	30,00	40,00	40,00	40,00	45,00	45,00
Clase textural		Franco - Limosa	Franco - Limosa	Franco - Limosa	Franca	Franco - Arenosa	Franca	Franco - Arenosa	Franca	Franca	Franca	Franca	Franco - Arenosa

Anexo 4: Esquemas de distribución de las concentraciones de los metales analizado

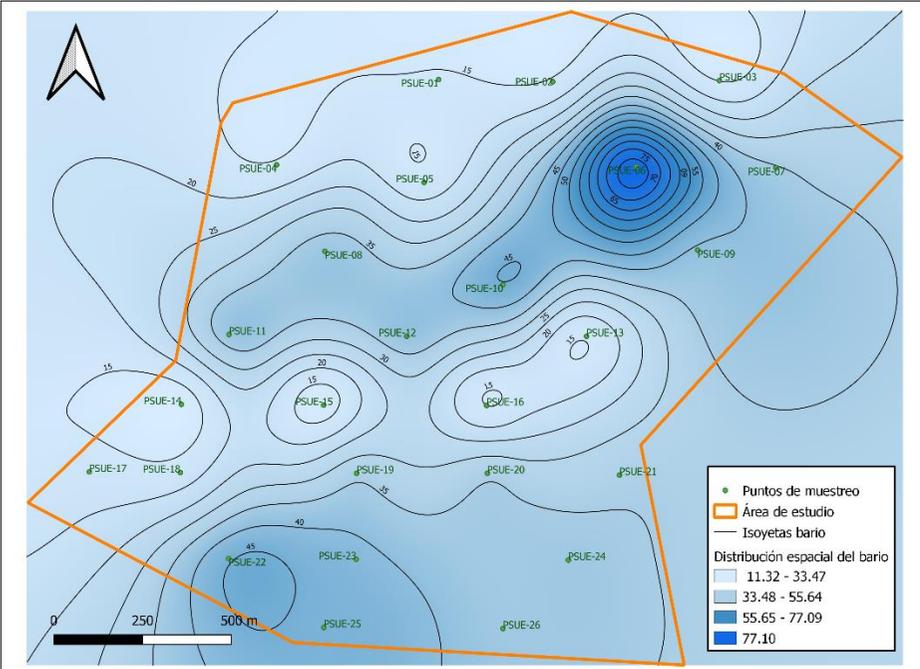


Imagen 1. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de bario

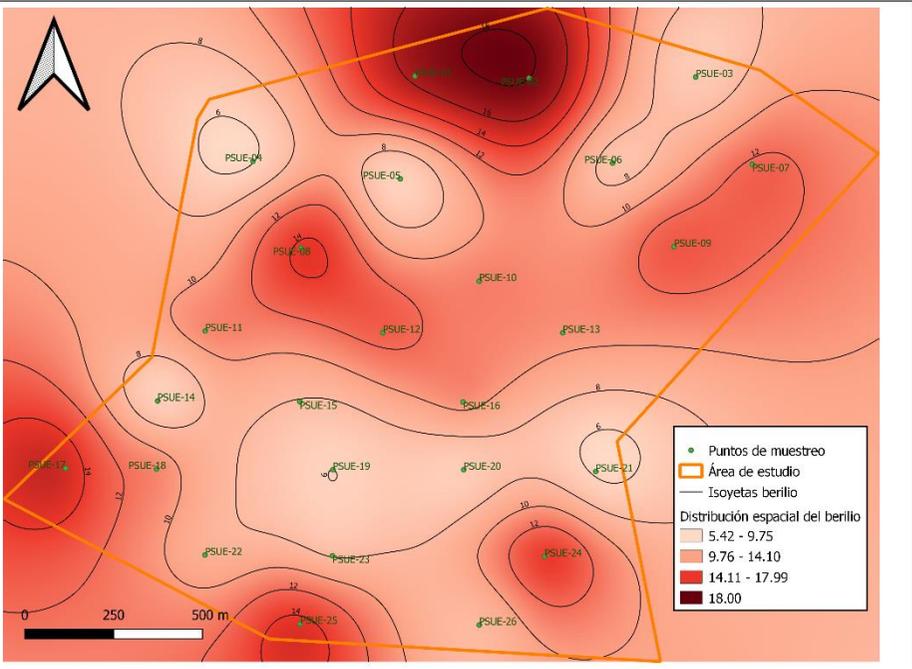


Imagen 2. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de berilio

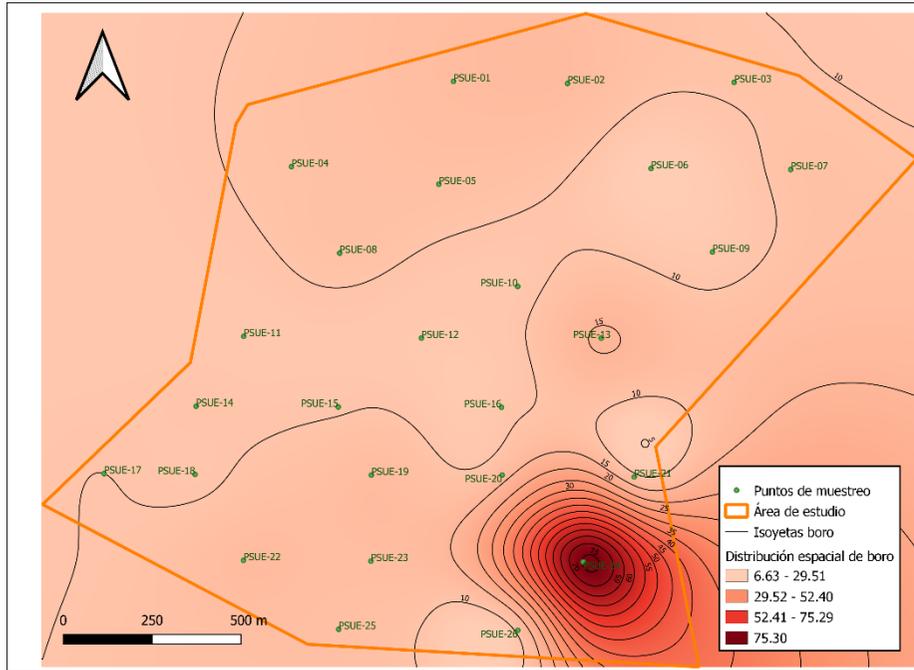


Imagen 3. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de boro

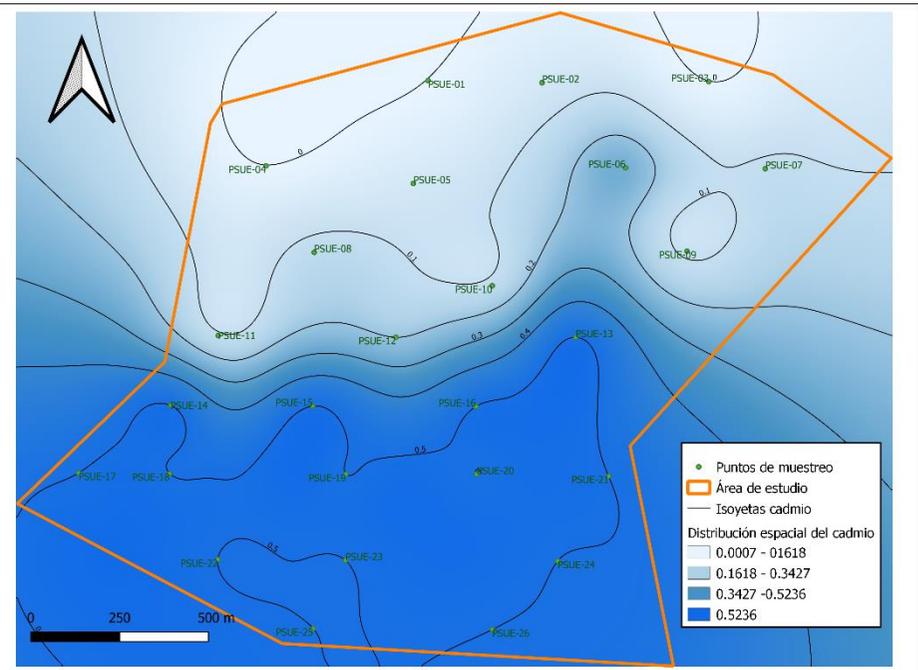


Imagen 4. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de cadmio

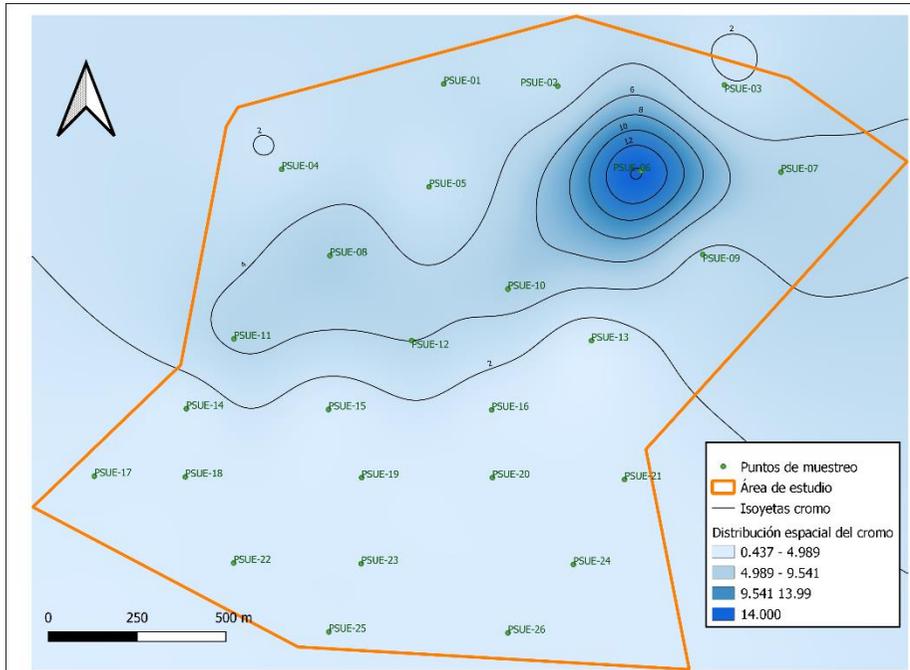


Imagen 5. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de cromo

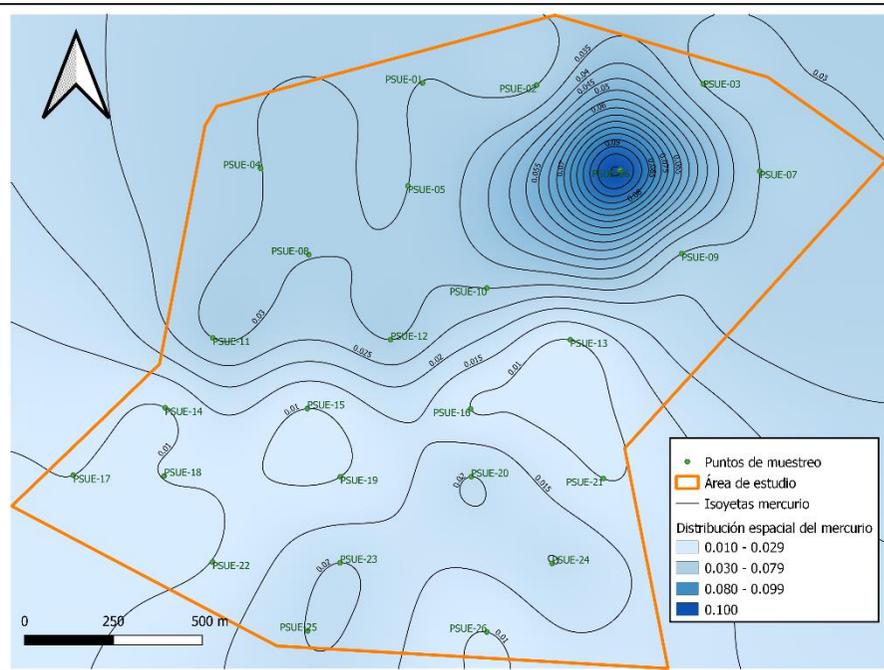


Imagen 6. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de mercurio

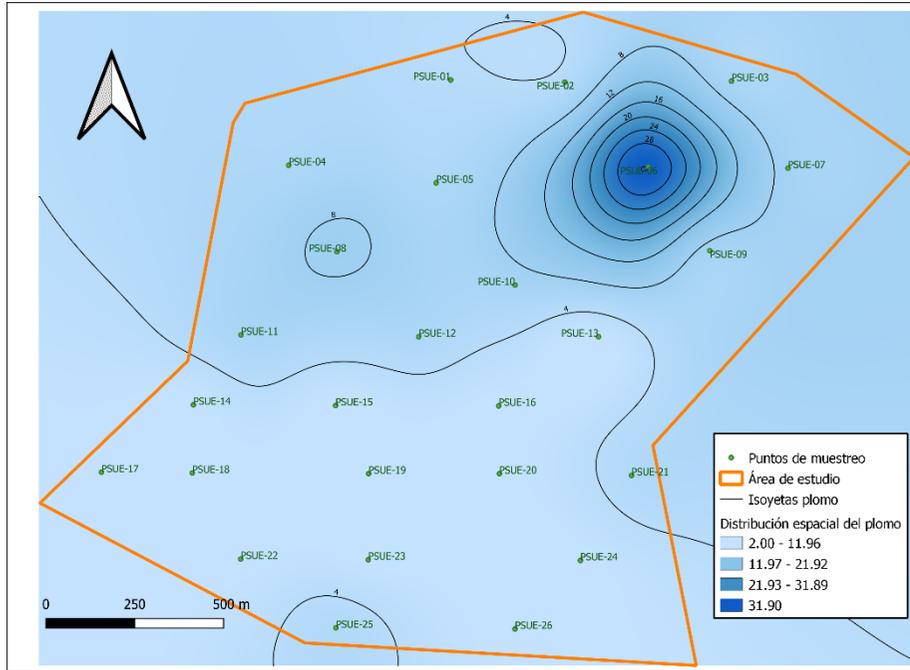


Imagen 7. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de plomo

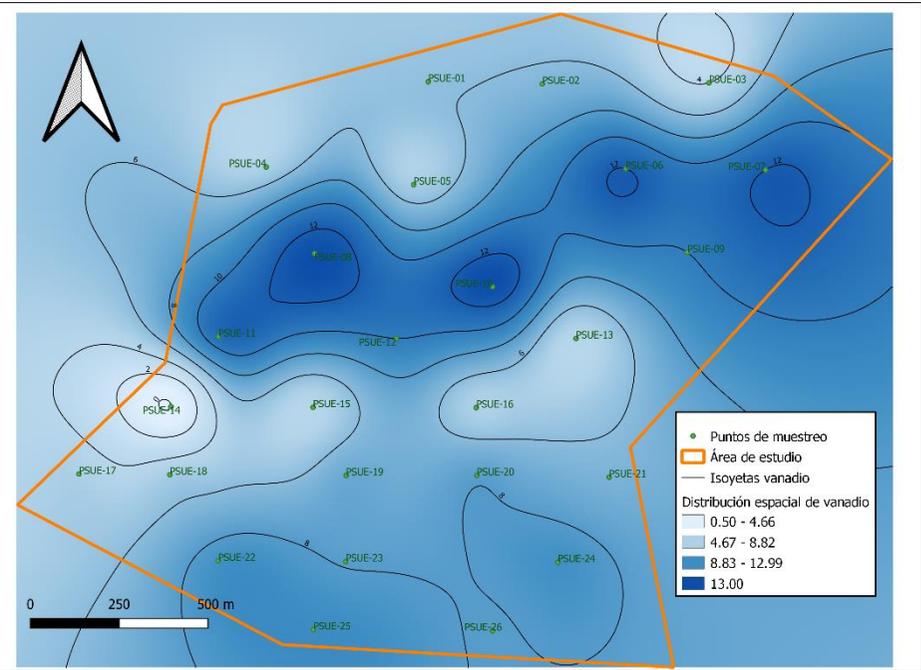


Imagen 8. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de vanadio

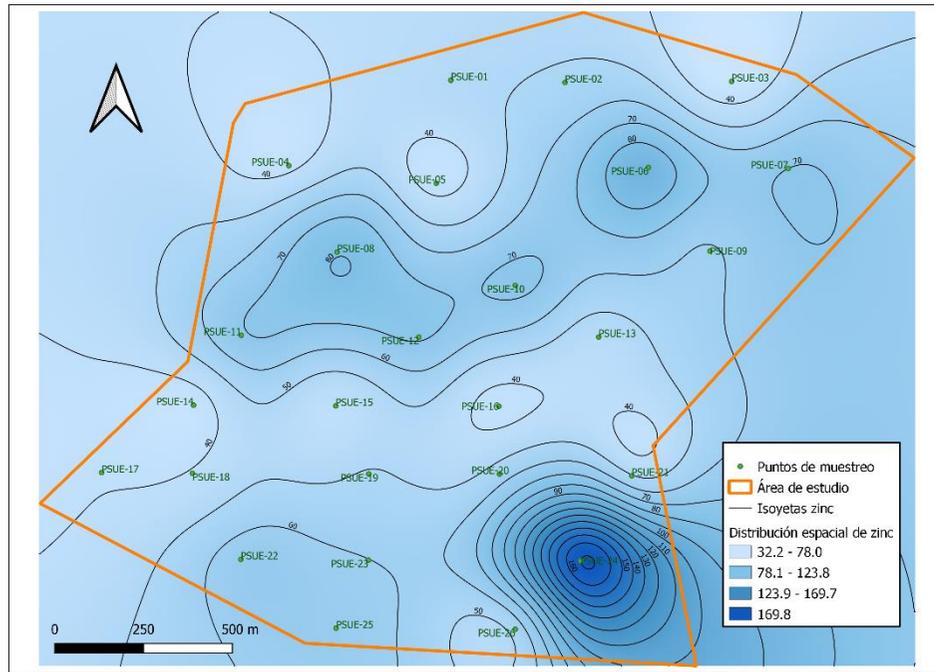


Imagen 9. Distribución de las concentraciones (mg/kg) de zinc

Anexo 5: Resultados de suelos con el formato requerido y resultados estadísticos del programa ProUCL

Tabla 5.1: Resultados de metales en suelos que se utilizaran para el cálculo de nivel de fondo y valor de umbral de fondo en el programa ProUCL

Puntos de muestreo	Bario	D_Bario	Berilio	D_Berilio	Boro	D_Boro	Cadmio	D_Cadmio	Cromo	D_Cromo	Mercurio	D_Mercurio	Plomo	D_Plomo	Vanadio	D_Vanadio	Zinc	D_Zinc
PSUE-01	15,5	1	16,4	1	12,8	1	0,0007	0	2,9	1	0,03	0	4,27	1	5,8	1	46,7	1
PSUE-02	15,7	1	18	1	13	1	0,0599	1	3	1	0,03	0	4,79	1	6,4	1	52,2	1
PSUE-03	14,9	1	6,78	1	10,3	1	0,0007	0	2,2	1	0,03	0	6,37	1	4	1	33,2	1
PSUE-04	15,6	1	5,94	1	10,7	1	0,0007	0	2,2	1	0,03	0	5,71	1	4,8	1	38	1
PSUE-05	16,9	1	6,11	1	11,3	1	0,0629	1	2,2	1	0,03	0	5,66	1	5	1	37,2	1
PSUE-06	77,1	1	7,36	1	6,63	1	0,2648	1	14	1	0,1	1	31,9	1	12	1	87,9	1
PSUE-07	35,3	1	12,2	1	10,7	1	0,1108	1	4,6	1	0,03	0	7,27	1	12	1	70	1
PSUE-08	37,2	1	14,2	1	10,8	1	0,1173	1	5,1	1	0,03	0	8,37	1	13	1	79,5	1
PSUE-09	39,3	1	12,8	1	8,54	1	0,0919	1	3,8	1	0,03	0	7,16	1	10	1	59,4	1
PSUE-10	44,7	1	11,2	1	8,96	1	0,1202	1	4,9	1	0,03	0	6,77	1	13	1	72,1	1
PSUE-11	37,3	1	10,8	1	8,66	1	0,1085	1	4,3	1	0,03	0	6,22	1	11	1	68,7	1
PSUE-12	38,3	1	12,5	1	8,33	1	0,1975	1	4	1	0,03	0	5,74	1	10	1	71	1
PSUE-13	15,5	1	10,5	1	15,3	1	0,5	0	0,9	0	0,01	0	2	0	4,2	1	44,9	1
PSUE-14	12,2	1	6,4	1	9,7	1	0,5	0	0,9	0	0,01	0	2	0	0,5	0	36,0	1
PSUE-15	12,9	1	7,9	1	9,7	1	0,5	0	0,9	0	0,01	0	2	0	4,2	1	40,5	1
PSUE-16	15	1	10,5	1	9,1	1	0,5	0	0,9	0	0,01	0	2	0	4,7	1	37,4	1
PSUE-17	17,3	1	14,9	1	10	1	0,5	0	0,9	0	0,01	1	2	0	4,8	1	39,1	1
PSUE-18	17,1	1	10,9	1	9,3	1	0,5	0	0,9	0	0,01	0	2	0	5,0	1	40,6	1
PSUE-19	33,6	1	6	1	12,8	1	0,5	0	0,9	0	0,01	1	2	0	7,2	1	50,6	1
PSUE-20	33,9	1	6,5	1	13,3	1	0,5	0	0,9	0	0,02	1	2	0	7,8	1	55,0	1
PSUE-21	33,5	1	5,8	1	11,3	1	0,5	0	0,9	0	0,01	1	5	1	6,6	1	50,8	1
PSUE-22	44,3	1	8,9	1	13,1	1	0,5	0	0,9	0	0,01	1	2	0	8,6	1	64,5	1
PSUE-23	41,7	1	7,9	1	12,4	1	0,5	0	0,9	0	0,02	1	2	0	7,9	1	60,1	1

Continuación...

Puntos de muestreo	Bario	D_Bario	Berilio	D_Berilio	Boro	D_Boro	Cadmio	D_Cadmio	Cromo	D_Cromo	Mercurio	D_Mercurio	Plomo	D_Plomo	Vanadio	D_Vanadio	Zinc	D_Zinc
PSUE-24	36,8	1	13,9	1	75,3	1	0,5	0	0,9	0	0,02	1	2	0	8,7	1	169,8	1
PSUE-25	43,8	1	14,4	1	11,6	1	0,5	0	0,9	0	0,02	1	5	1	9,0	1	63,7	1
PSUE-26	36,7	1	8,2	1	10,9	1	0,5	0	0,9	0	0,01	0	2	0	7,9	1	53,9	1

Tabla 5.2: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de boro total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	NFF-12
Estadística descriptiva	
N° de datos	25
Mínimo	6.63
Máximo	15.3
Media	10,77
Mediana	10,7
Desviación estándar	1,972
Asimetría	0,191
Curtosis	-0,03
Coefficiente de variación	0,183
Primer cuartil	9,3
Tercer cuartil	12,4
Tipo de distribución	Normal
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	11,44
Valor de umbral de fondo	15,29

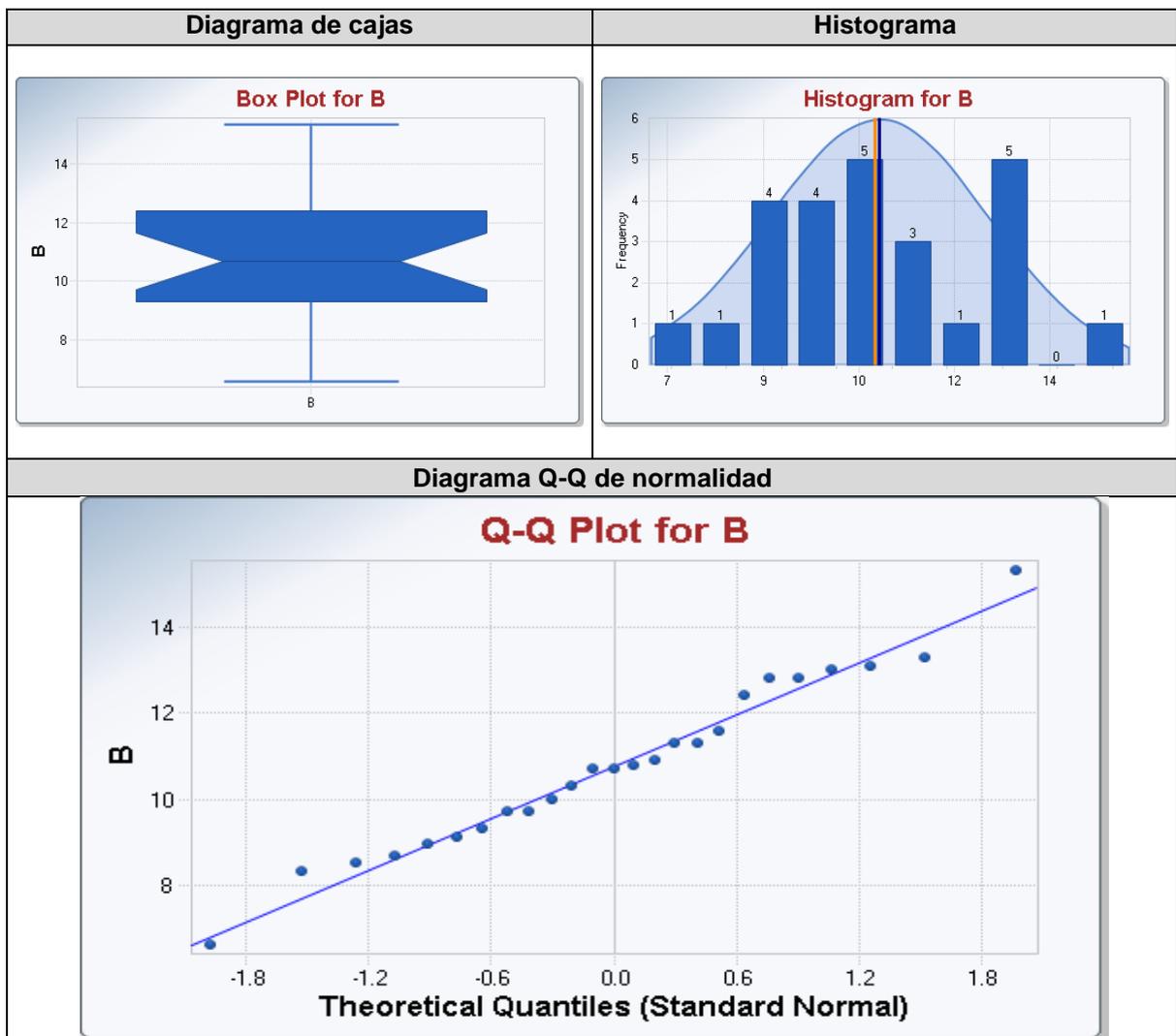


Tabla 5.3: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de bario total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	-
Estadística descriptiva	
N° de datos	26
Mínimo	12,2
Máximo	77,1
Media	30,08
Mediana	33,75
Desviación estándar	15,21
Asimetría	0,993
Curtosis	1,94
Coefficiente de variación	0,505
Primer cuartil	15,63
Tercer cuartil	38,05
Tipo de distribución	No paramétrico
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	43,08
Valor de umbral de fondo	77,1

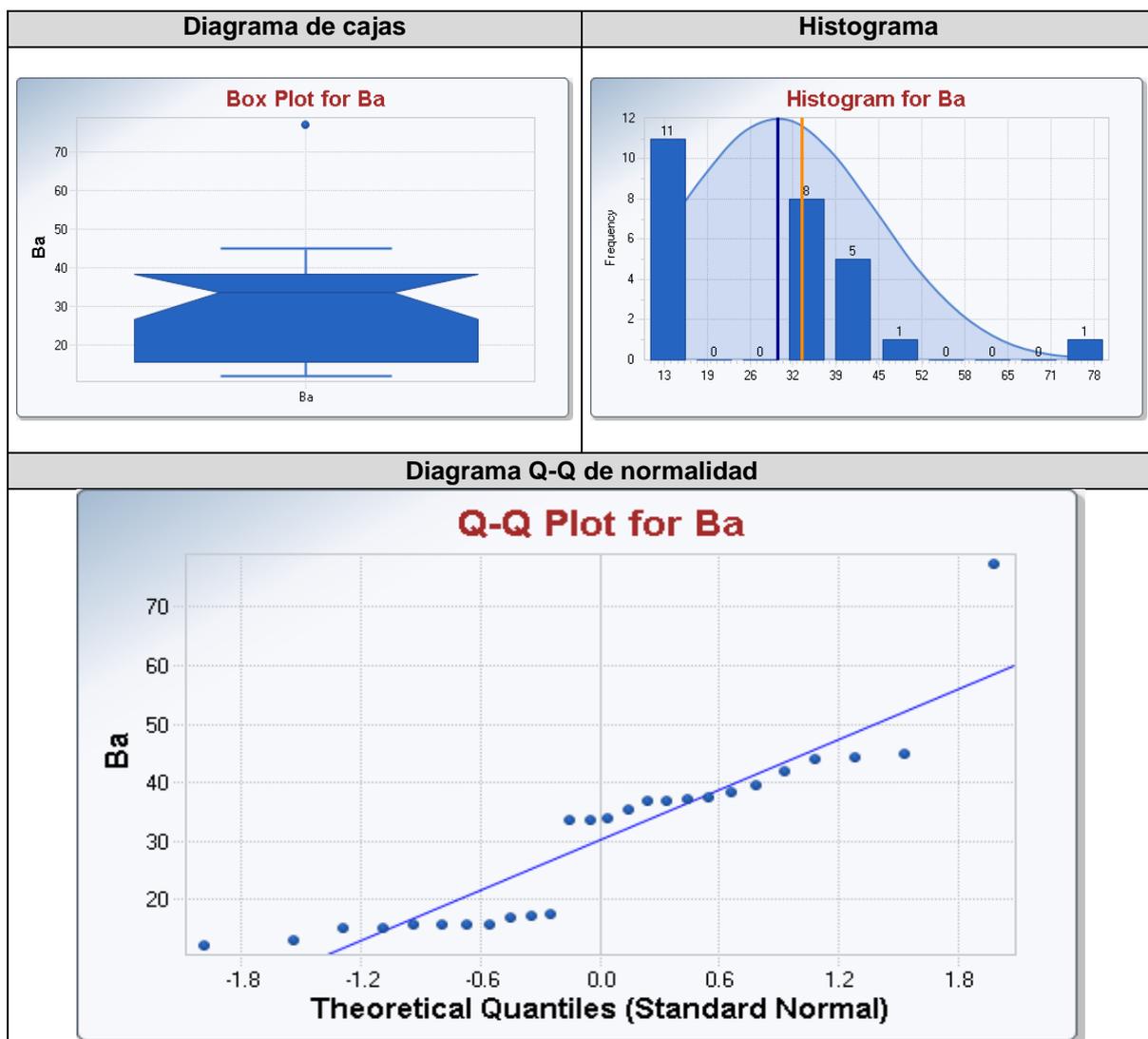


Tabla 5.4: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de berilio total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	-
Estadística descriptiva	
N° de datos	26
Mínimo	5,8
Máximo	18
Media	10,27
Mediana	10,5
Desviación estándar	3,593
Asimetría	0,439
Curtosis	-0,85
Coefficiente de variación	0,35
Primer cuartil	6,925
Tercer cuartil	12,73
Tipo de distribución	Normal
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	11,47
Valor de umbral de fondo	14,44

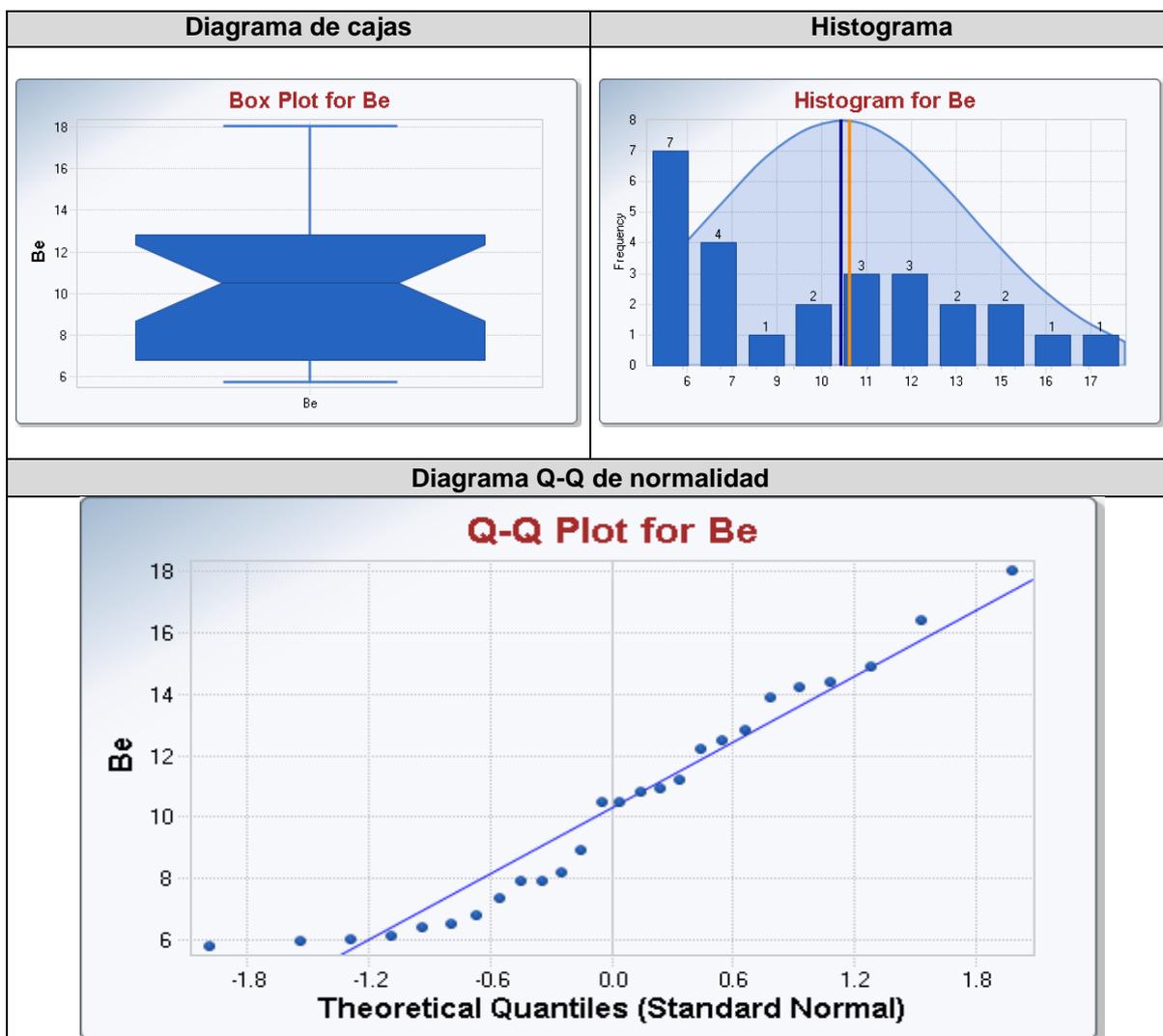


Tabla 5.5: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de cadmio total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	-
Estadística descriptiva	
N° de datos	26
Mínimo	0,0007
Máximo	0,5
Media	0,313
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,213
Asimetría	-0,338
Curtosis	-1,84
Coefficiente de variación	0,68
Primer cuartil	0,11
Tercer cuartil	0,5
Tipo de distribución	No paramétrico
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	0,374
Valor de umbral de fondo	0,5

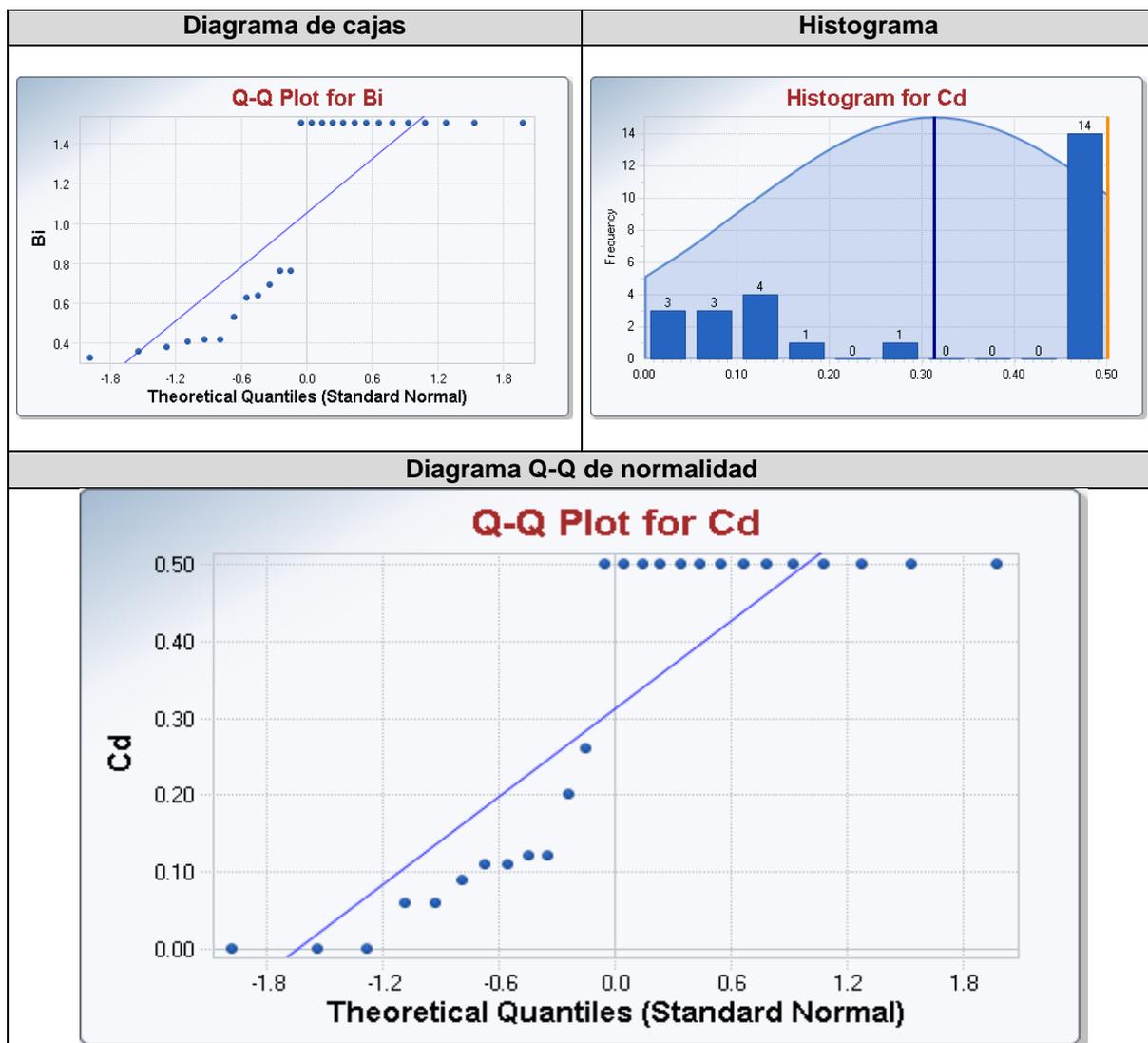


Tabla 5.6: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de cromo total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	-
Estadística descriptiva	
N° de datos	26
Mínimo	0,9
Máximo	14
Media	2,531
Mediana	0,9
Desviación estándar	2,777
Asimetría	3,029
Curtosis	11,57
Coefficiente de variación	1,097
Primer cuartil	0,9
Tercer cuartil	3,6
Tipo de distribución	No paramétrico
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	4,905
Valor de umbral de fondo	14

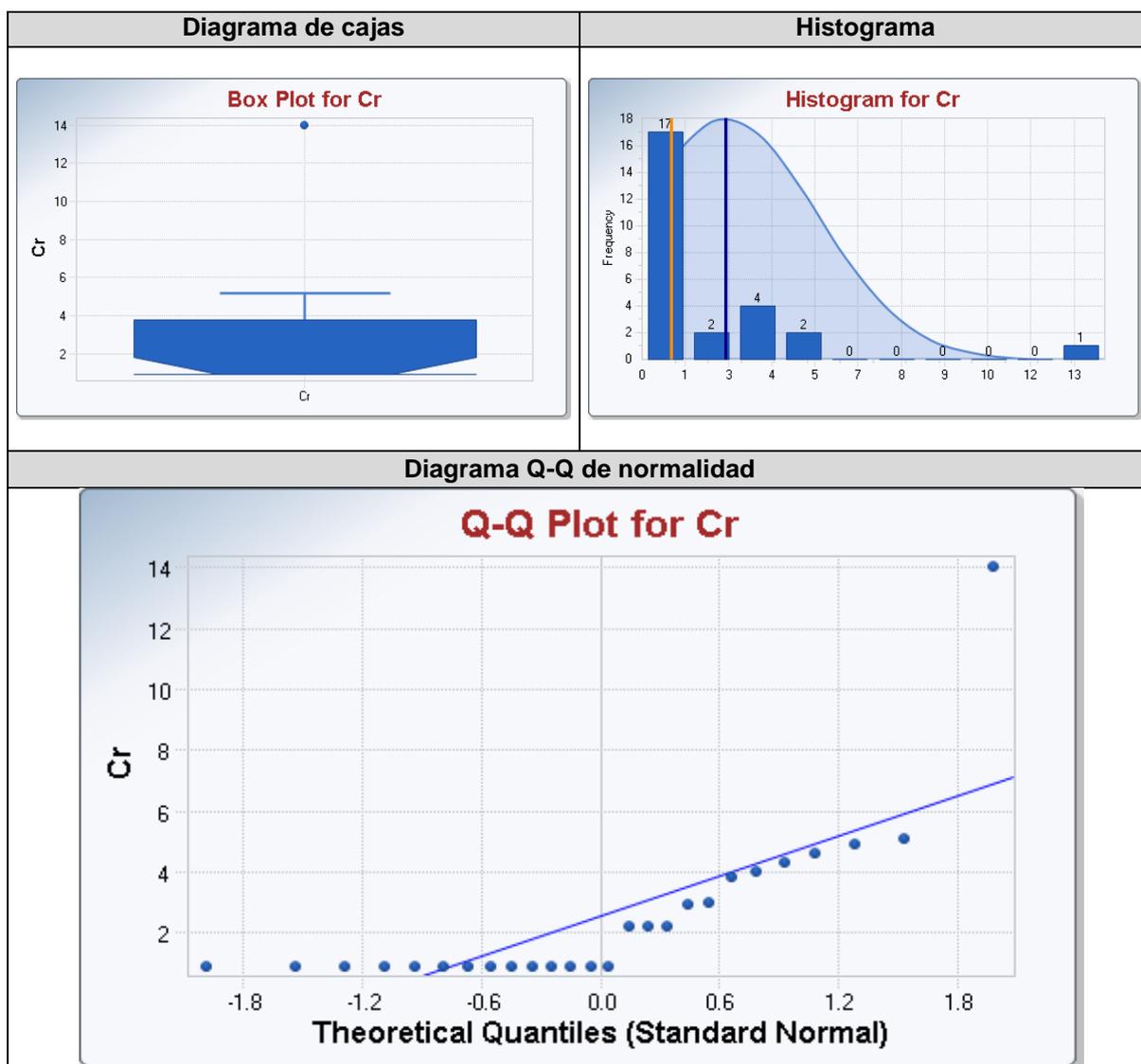


Tabla 5.7: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de mercurio total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	-
Estadística descriptiva	
N° de datos	26
Mínimo	0,01
Máximo	0,1
Media	0,0235
Mediana	0,2
Desviación estándar	0,0181
Asimetría	3,121
Curtosis	13,04
Coefficiente de variación	0,771
Primer cuartil	0,01
Tercer cuartil	0,03
Tipo de distribución	No paramétrico
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	0,0389
Valor de umbral de fondo	0,1

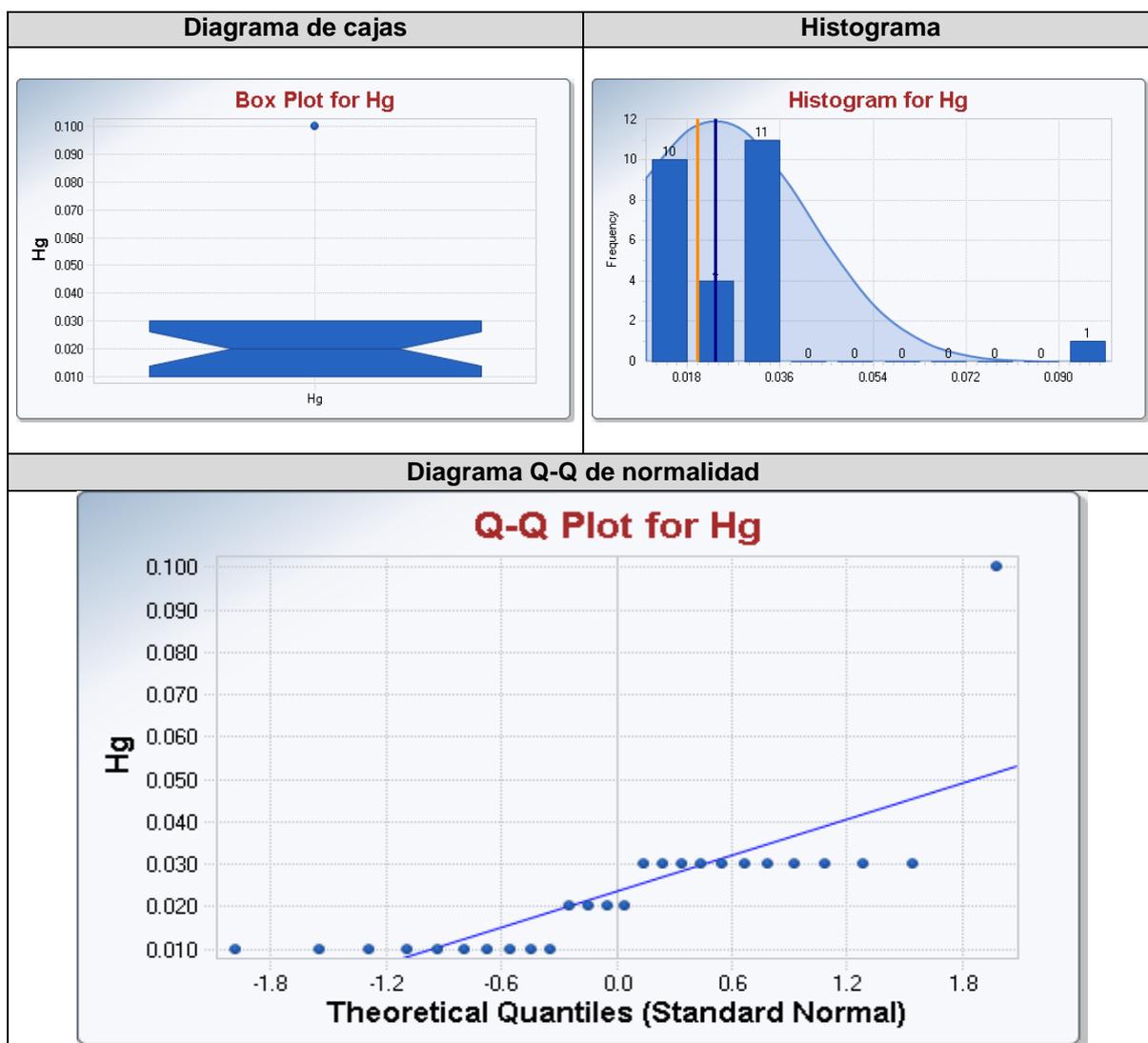


Tabla 5.8: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de plomo total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	-
Estadística descriptiva	
N° de datos	26
Mínimo	2
Máximo	31,9
Media	5,163
Mediana	4,53
Desviación estándar	5,867
Asimetría	4,031
Curtosis	18,6
Coefficiente de variación	1,137
Primer cuartil	2
Tercer cuartil	6,1
Tipo de distribución	No paramétrico
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	10,18
Valor de umbral de fondo	31,9

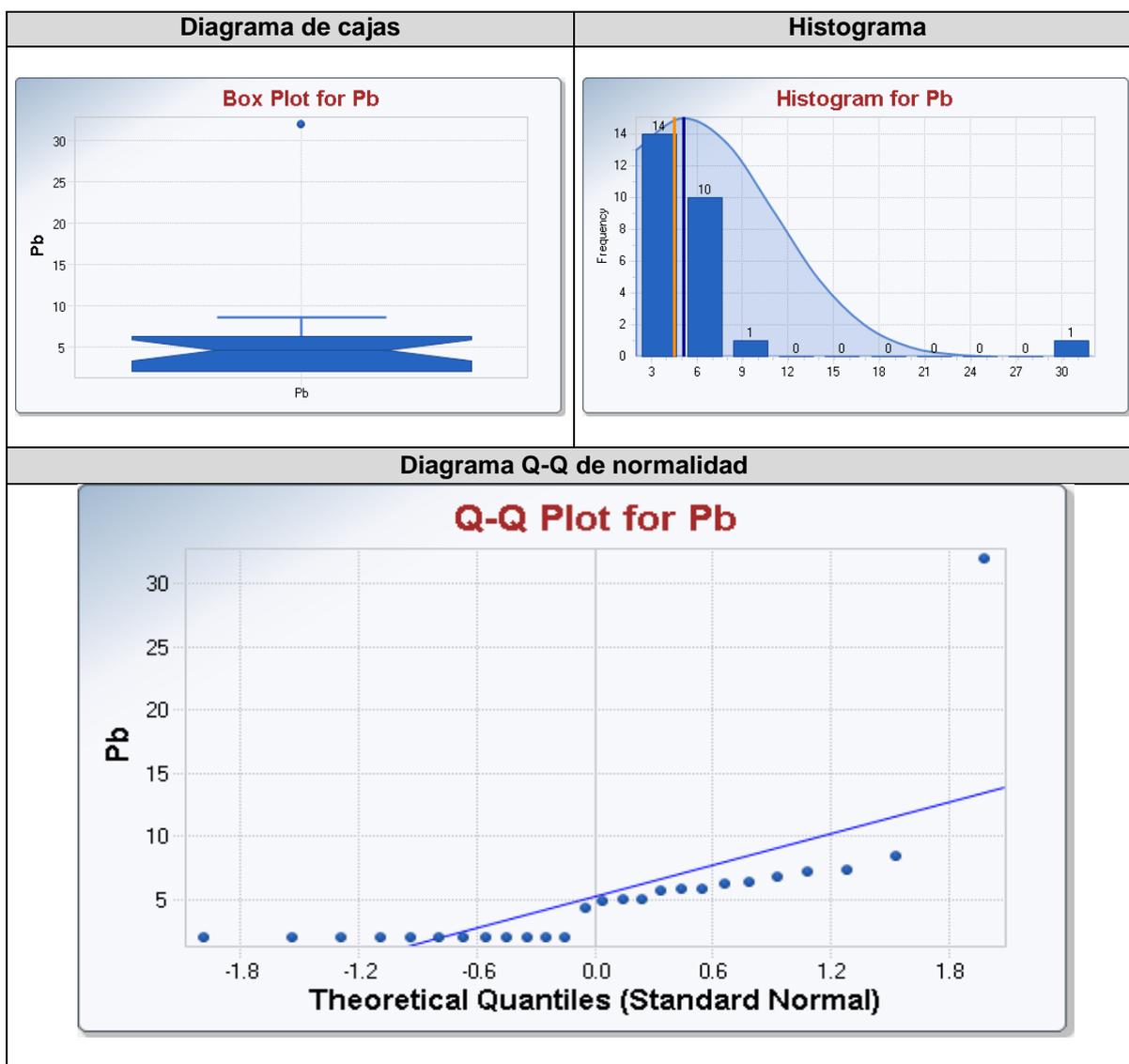


Tabla 5.9: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de vanadio total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	-
Estadística descriptiva	
N° de datos	26
Mínimo	0,5
Máximo	13
Media	7,465
Mediana	7,5
Desviación estándar	3,187
Asimetría	0,0867
Curtosis	-0,47
Coefficiente de variación	0,427
Primer cuartil	4,85
Tercer cuartil	9,75
Tipo de distribución	Normal
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	8,533
Valor de umbral de fondo	14,72

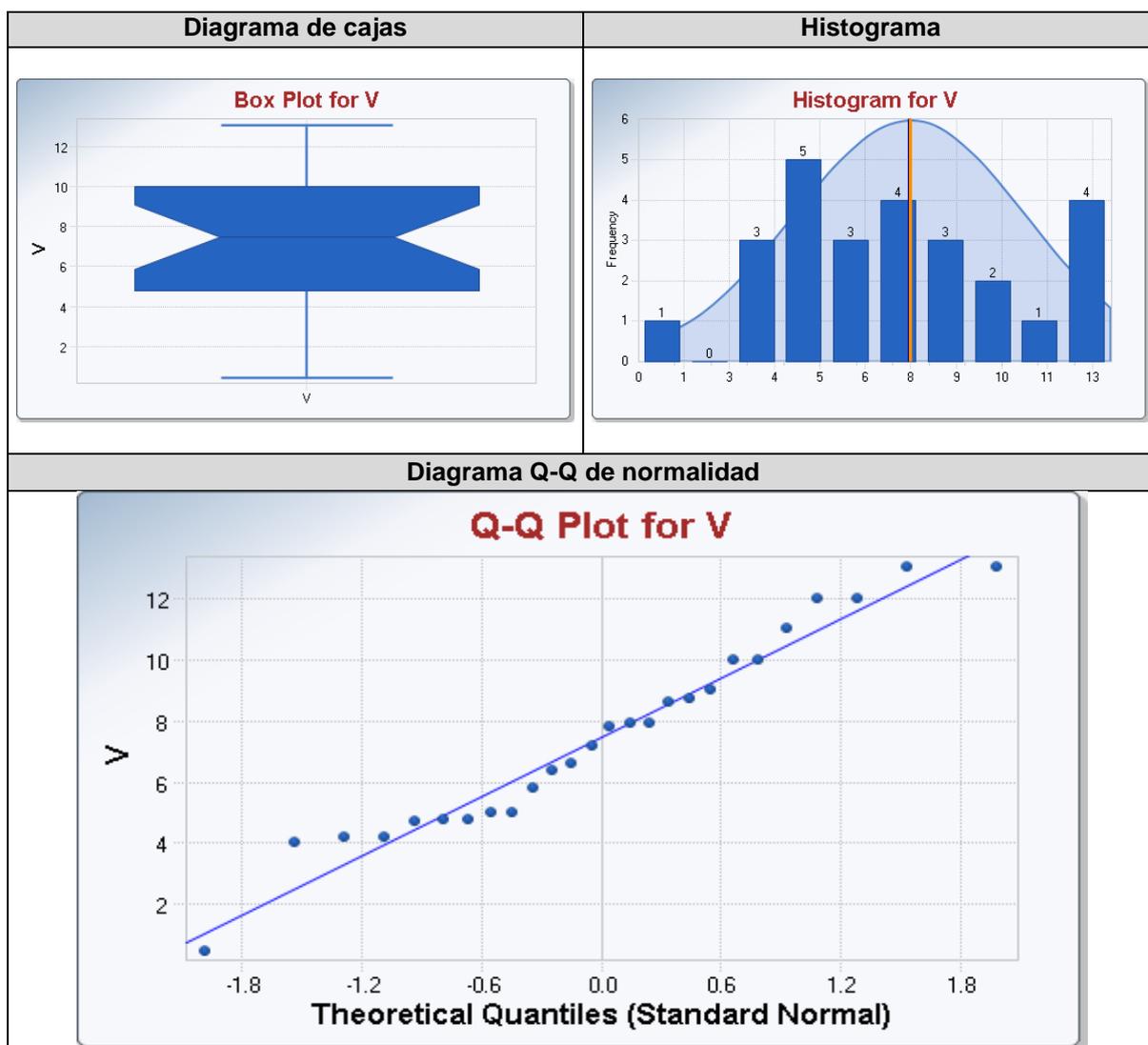
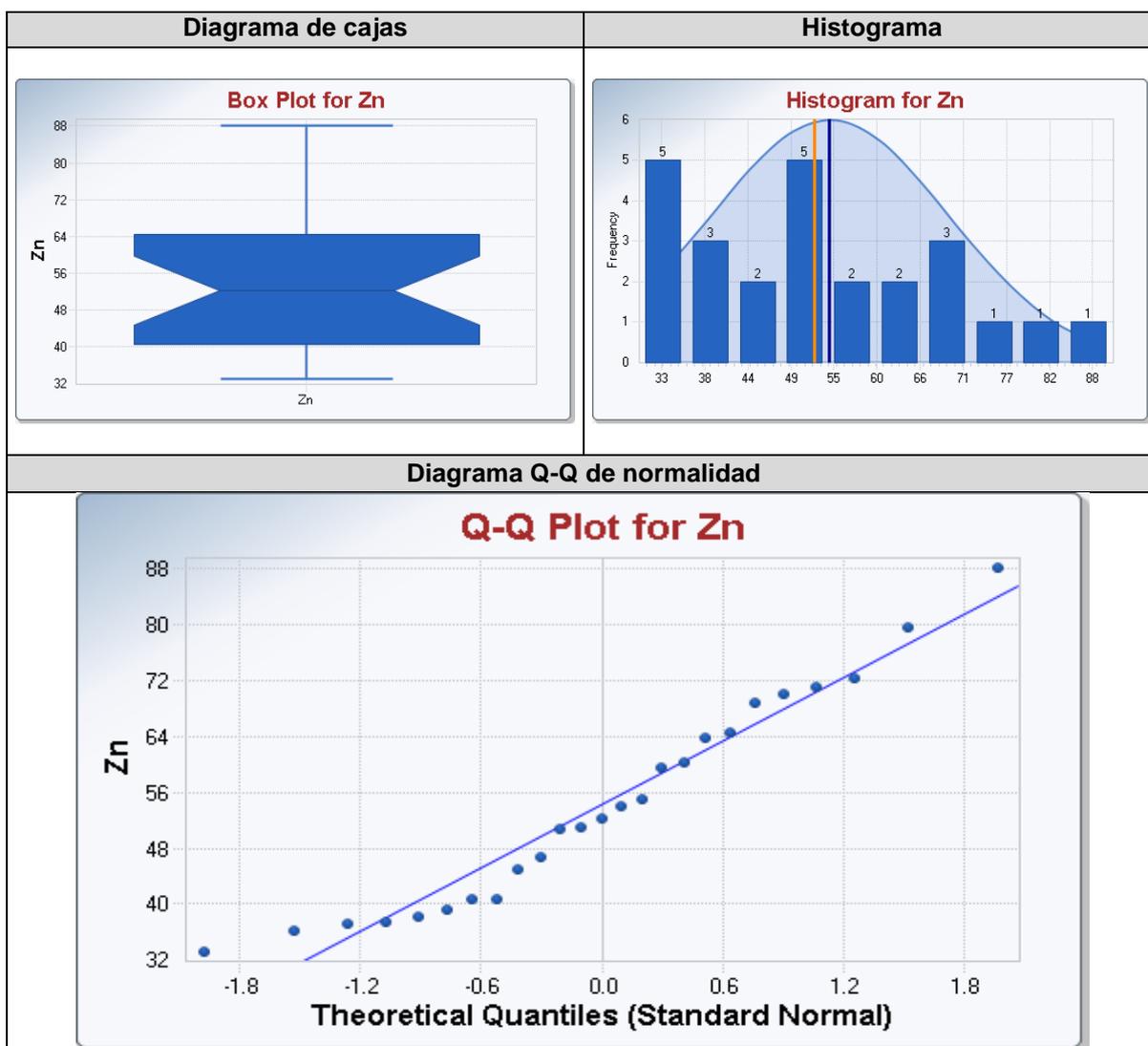


Tabla 5.10: Resultados del tratamiento estadístico de las concentraciones de zinc total para obtener los valores de nivel de fondo (NF) y valor de umbral de fondo

Estadísticos	Valores
Detección de valores anómalos	
Potencial valor anómalo	NFF-12
Estadística descriptiva	
N° de datos	25
Mínimo	33,2
Máximo	87,9
Media	54,12
Mediana	52,2
Desviación estándar	15,1
Asimetría	0,48
Curtosis	-0,65
Coefficiente de variación	0,279
Primer cuartil	40,5
Tercer cuartil	64,5
Tipo de distribución	Normal
Valor de nivel de fondo (cota superior de la media)	59,29
Valor de umbral de fondo	88,74



X. ASEGURAMIENTO

Como se indica en el cuerpo del TSP, no se tiene el permiso de la institución, porque el estudio involucra una tercera empresa.