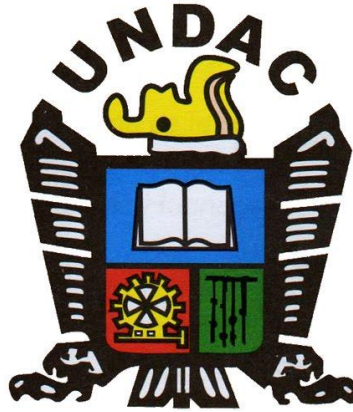


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Alteración litológica en sitios contaminados con metales pesados y su efecto en la salud del poblador de la ciudad de Cerro de Pasco**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

**Bach. Yamely Nayary ZARATE ARANCIAGA**

**Asesor:**

**Mg. Josue Hermilio DIAZ LAZO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Alteración litológica en sitios contaminados con metales  
pesados y su efecto en la salud del poblador de la ciudad de  
Cerro de Pasco**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Lucio ROJAS VITOR**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 119-2023-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Alteración litológica en sitios contaminados con metales pesados y su efecto en la salud del poblador de la ciudad de Cerro de Pasco**

Apellidos y nombres de los tesistas:

**Bach. ZARATE ARANCIAGA, Yamely Nayary**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. DIAZ LAZO, JOSUE HERMILIO**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Ambiental**

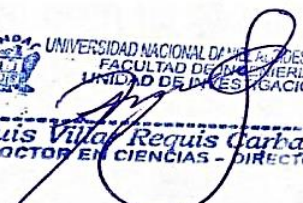
Índice de Similitud

**27%**

**APROBADO**

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 18 de setiembre del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
**Luis Villar Requís Carbajal**  
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

A mi venerable y adorada madre Nely Aranciaga y a mi respetable padre Huber Zarate, a ellos como agradecimiento a su amor y apoyo incondicional, a mis hermanos Calems y Samir, espero que sigan la misma senda del éxito, culminen sus estudios y ser grandes para la sociedad, del mismo modo a mi hermana Yuleysi por estar conmigo siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento a mis docentes: Dr. Héctor Oscanoa Salazar, Rommel Luis López Alvarado, Mg. Rosario Vásquez García, Mg. Julio Antonio Asto Liñán, y a mis demás docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de esta gran alma mater Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por la formación académica de excelencia y el apoyo recibido.

## RESUMEN

La ciudad de Cerro de Pasco, está ubicada en una zona mineralizada, lugar donde se asentaron los pobladores por varios cientos de años, informaciones históricas nos señala que durante el coloniaje y recientemente en la época republicana hubo migrantes de diferentes latitudes, inclusive hubo en cierta época diecisiete representaciones comerciales de diferentes países en la muy conocida Ciudad Opulenta y actual Capital Minera del Perú.

El yacimiento minero de Cerro de Pasco, es un yacimiento del tipo hidrotermal, donde la mineralización se formó por la lava volcánica que salió por la falla longitudinal de Cerro de Pasco, que tiene como rumbo de NW a SE, donde los minerales se depositaron formando vetas y un cuerpo mineralizado, formando un yacimiento hidrotermal polimetálico, destacando los siguientes minerales; Argentita(SAg), galena(SPb), blenda(SZn), pirita(SFe), calcopirita(SFeCu), etc., estos minerales al ser alterados por el agua se lixiviación y al ser desplazados originan contaminación del suelo.

Es una investigación aplicativa, evaluativa y experimental. Asimismo, se utilizó la recolección de datos y entrevistas personalizadas, utilizando hojas de cálculo para procesamiento de datos y de preguntas. Como hipótesis señalamos que la contaminación del suelo con metales influye significativamente. Los procesos lisogénicos influyen significativamente en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco.

Concluimos identificando insitu los minerales contaminantes del yacimiento minero hidrotermal de Cerro de Pasco.

**Palabras Claves:** Litogenia e hidrotermal, contaminación minera.

## ABSTRACT

The city of Cerro de Pasco is located in a mineralized area, a place where people settled for several hundred years. Historical information indicates that during the colonial period and recently in the republican era there were migrants from different latitudes, including seventeen commercial representations from different countries in the well-known Opulent City and current Mining Capital of Peru.

The mining deposit of Cerro de Pasco is a hydrothermal deposit, where the mineralization was formed by the volcanic lava that came out of the longitudinal fault of Cerro de Pasco, which runs NW to SE, where the minerals were deposited forming veins and a mineralized body, forming a polymetallic hydrothermal deposit, highlighting the following minerals; Argentite(SAg), galena(SPb), blende(SZn), pyrite(SFe), chalcopyrite(SFeCu), etc. , These minerals, when altered by water, leach and when displaced, cause soil contamination.

It is an applied, evaluative and experimental research. Likewise, data collection and personalized interviews were used, using spreadsheets for data processing and questions. As a hypothesis we point out that soil contamination with metals has a significant influence. Lysogenic processes significantly influence the soil of the city of Cerro de Pasco.

We conclude by identifying in situ the contaminating minerals in the hydrothermal mining deposit of Cerro de Pasco.

Key words: Lithogeny and hydrothermal, mining contamination. traducir.

## INTRODUCCIÓN

Los yacimientos ubicados en la ciudad de Cerro de Pasco, es de naturaleza de origen hidrotermal, los suelos son el resultado de la descomposición mineralógica de los minerales como la galena, anglesita, argentita, blenda, calcopirita, etc. En estos suelos influyeron la lixiviación y la descomposición química y física como agente de meteorización de los minerales y rocas ínsito. A consecuencia de la lixiviación y las descomposiciones química y física de los minerales el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco, está contaminado con diferentes metales pesados y el impacto al suelo es directo, especialmente al suelo de alrededores de la actividad minera.

El origen de esta contaminación del suelo por los metales es desde un punto de vista metalogénico del yacimiento epitermal que por la descomposición de los minerales y rocas en el lugar dan a la formación de estos suelos con alto índice de contaminación de metales, a partir de estos suelos contaminados se generan las partículas en suspensión con alto contenido de metales; y asimismo la lixiviación a los minerales y rocas, por el agua meteórica y subterránea también contamina todo los componentes ambientales de la ciudad de Cerro de Pasco. El estudio se ha estructurado en cuatro capítulos:

El capítulo I, la introducción donde se refiere al origen de la contaminación del suelo por la alteración litogénicos.

El capítulo II, el marco teórico donde se considera el antecedente del estudio, bases teóricas científicas, definición de términos conceptuales y enfoque filosófico – epistémico.

En el capítulo III, se consideró el tipo de investigación, nivel de investigación, característica de la Investigación, método de investigación, diseño de investigación, procedimiento del muestreo, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procedimiento y análisis de datos y orientación ética.



En el capítulo IV, se consideró la Presentación, análisis e interpretación de resultados y discusión de resultados. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones con anexos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general .....	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación .....	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio .....	6
2.2. Bases teóricas – científicas.....	9
2.2.1. Origen Litológico de los Minerales en los Suelos.....	11
2.2.2. Procedencia Litológicos de los Minerales en los Suelos .....	14
2.2.3. Condiciones Físico-Químicas De Formación .....	27
2.2.4. Geoquímica del Yacimiento de Cerro de Pasco.....	27
2.3. Definición de términos básicos .....	29
2.4. Formulación de hipótesis .....	32

2.4.1. Hipótesis general .....	32
2.4.2. Hipótesis específicas .....	32
2.5. Identificación de las variables .....	32
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	32

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de Investigación .....	34
3.2. Nivel de Investigación .....	34
3.3. Métodos de investigación .....	35
3.4. Diseño de investigación .....	35
3.5. Población y muestra .....	35
3.5.1. Población.....	35
3.5.2. Muestra .....	36
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación. ....	37
3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos .....	37
3.9. Tratamiento Estadístico .....	38
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	40

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	42
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	43
4.3. Prueba de Hipótesis.....	48
4.4. Discusión de resultados.....	48

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición en elementos de diferentes entes naturales.....	15
Tabla 2 Matriz de operacionalización de las variables .....	32
Tabla 3. Datos descriptivos de la muestra .....	39
Tabla 4. Prueba estadística de normalidad de la muestra.....	39
Tabla 5. Muestras de laboratorio.....	46
Tabla 6. Datos descriptivos de la muestra .....	47
Tabla 7. Prueba de hipótesis de la muestra .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Actividad biológica vs concentración.....	12
Figura 2. Contaminación por metales pesados. ....	14
Figura 3. Variación en la concentración de metales en suelos.....	16
Figura 4 Prueba t Student para una muestra .....	40
Figura 5. Tajo abierto Raúl Rojas de Cerro de Pasco .....	44
Figura 6. Porcentaje de atención por regiones de la ERC.....	46
Figura 7. Estándar de la calidad ambiental para suelo.....	47
Figura 8. Atenciones externas por enfermedades renales .....	50

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La Ciudad de Cerro de Pasco, conocido como la “Capital Minera del Perú”, es considerada como una de las ciudades más contaminada del Perú, tanto históricamente y en la actualidad.

La riqueza que produce no se ve reflejado en un crecimiento económico, social y ambiental de la zona, más bien cada día se agudiza el problema por una serie de pasivos ambientales, aunados al conflicto social que se generaron en el tiempo. Los habitantes en su mayor parte son de afuera y vienen solamente por el trabajo que genera el sector minero, luego se desplazan o retornan a sus lugares de origen, como así se muestran a ex trabajadores de las minas mayormente en las ciudades de Huancayo y Huánuco, en menor proporción en Lima, es por ello que la ciudad de Cerro de Pasco no tiene un plan estratégico de desarrollo urbano al futuro, sino son cortoplacistas y eventuales en el tiempo.

Actualmente, la ciudad antigua esta destruida por el avance de las operaciones mineras, no queda casi nada esto es debido al avance que se produjo con el tajo abierto “Raúl Rojas”, este tajo desapareció gran parte la ciudad antigua de Cerro de Pasco, el distrito de Yanacancha y una de las lagunas de Patarcocha. Paralelo a la extracción del mineral económicamente

rentable, se generaron los desmontes (material sin valor económico) y mineral sin valor económico (relavera), ambos componentes se depositaron casi en la misma ciudad que con la acción del aire, el viento y las lluvias, impactaron directamente las zonas pobladas. Estas zonas pobladas como Ayapoto, Paragsha y Chaupimarca, además de otros poblados aledaños como Buenos Aires, Champamarca, La Docena, entre otros, fueron y son impactadas directamente por las partículas de mineral con contenido de minerales y otros elementos pesados a los componentes ambientales, especialmente al suelo.

Esta situación caótica ambiental, hizo que los lugareños absorban metales en sus diferentes modalidades de actividades, en sus organismos. Por lo que es necesario tomar medidas de estudios, control y aportar a una solución, que de por si es caótica y no es evaluado realmente el daño que se ocasiona al poblador en esta zona. Ello servirá también para ser aplicado en lugares donde se ejerce la actividad minera cercano a poblaciones especialmente vulnerables.

Actualmente continúa la actividad minera, ejercida por la Planta de Óxidos de Volcan, Activos Mineros S.A.C. y Cerro de Pasco Resources, así como también continúa la contaminación ambiental que ocasionan los pasivos ambientales generados por la Cerro de Pasco Corporation y Centromin Perú, daños que repercuten en la salud de los lugareños.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

El estudio de la alteración de la litología se realizó en los sitios contaminados de los suelos en ciudad de Cerro de Pasco, por las condicionantes principales de la composición y organización espacial de los componentes de la fracción sólida del suelo, aspecto especialmente determinante de la respuesta hidrológica superficial.

La contaminación del suelo por la alteración de la litología se refiere a la presencia de sustancias tóxicas y contaminantes en el suelo, provenientes de fuentes naturales como minerales y rocas. Estos contaminantes pueden incluir

metales pesados, como plomo, mercurio y cadmio, así como otros compuestos químicos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. El efecto de la contaminación en el suelo puede ser devastador, ya que puede afectar la calidad del suelo, reducir la fertilidad y la capacidad de retención de agua, así como contaminar las aguas subterráneas y los ecosistemas cercanos. Es fundamental realizar estudios exhaustivos para comprender mejor los efectos de la contaminación del suelo y desarrollar estrategias de mitigación y remediación adecuadas, por lo que investigamos el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco en forma horizontal y vertical para delimitar la distribución espacial de los minerales y/o metales pesados.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Porque es importante determinar la alteración litológica en sitios contaminados con metales pesados como el plomo y zinc, su efecto en la salud del poblador de la ciudad de Cerro de Pasco?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las concentraciones de metales pesados como el plomo y zinc en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco en comparación a los ECAs de suelo?
- ¿Cuál es su efecto en la salud de los metales pesados de la ciudad de Cerro de Pasco?

### **1.4. Formulación de Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar a través de un estudio los sitios contaminados con metales pesados como el plomo y zinc, por la alteración litológica de la ciudad de Cerro de Pasco



#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar las concentraciones de metales pesados en el suelo como el plomo y zinc de la ciudad de Cerro de Pasco y comparar con los ECAs del suelo.
- Determinar el efecto en la salud de los metales pesados de la ciudad de Cerro de Pasco

#### **1.5. Justificación de la investigación**

Debido a los graves impactos al suelo que este tipo de contaminación puede tener en el medio ambiente y en la salud humana. La contaminación del suelo se refiere a la presencia de sustancias tóxicas y contaminantes en el suelo, provenientes principalmente de actividades industriales y mineras. Estas sustancias pueden afectar la calidad del suelo, disminuyendo su fertilidad y capacidad de retención de agua, lo que a su vez puede afectar la producción agrícola y la biodiversidad. Además, la contaminación del suelo puede generar la liberación de sustancias tóxicas al agua subterránea, lo que representa un riesgo para la salud humana al consumir agua contaminada. Por lo tanto, es fundamental investigar y comprender los efectos producidos por la alteración litológica en el suelo, con el fin de implementar medidas de prevención y mitigación adecuadas, así como promover prácticas sostenibles que minimicen la generación de contaminantes y protejan la salud del ecosistema y de las personas.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones de la investigación sobre la contaminación del suelo por alteración litológica y su efecto pueden incluir la falta de acceso a datos precisos y actualizados sobre los niveles de contaminantes en diferentes áreas geográficas, lo que dificulta la generalización de los resultados obtenidos. Además, la variabilidad natural del suelo y la presencia de otros factores ambientales pueden influir en los efectos de la contaminación del suelo lo que

dificulta la atribución directa de los cambios observados únicamente a esta forma de contaminación. Asimismo, la duración y el alcance de la investigación pueden ser limitados debido a restricciones de tiempo y recursos, lo que puede afectar la representatividad de los resultados obtenidos.

Asimismo. En el análisis vertical del suelo se tuvo limitaciones ya que la mineralización del yacimiento de Cerro de Pasco, proviene de profundidades por más de 1000 m, donde la mineralización vino acompañada de un magma volcánico, depositándose en la gran falla longitudinal de Cerro de Pasco. Esta mineralización origina la contaminación del suelo.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

**Criado, Alonso Rojo, & Santos Francés (2018)** “El papel de la geología en la determinación de los niveles de referencia para la evaluación de la contaminación del suelo”. Debido a la intensa actividad industrial en ciertas zonas, multitud de suelos han sufrido grandes acumulaciones de compuestos contaminantes, como es el caso de los metales pesados. No obstante, la génesis y composición química natural de los suelos está íntimamente relacionada con la litología subyacente, de tal manera que los suelos contienen una concentración natural de metales pesados (nivel de fondo) variable según la geología del lugar. Es necesario un análisis de estas concentraciones naturales para, a partir de ellas, determinar un nivel de concentración máximo admisible (nivel de referencia) que establece el límite a partir del cual un suelo puede considerarse como contaminado. En este estudio se analiza la concentración natural de arsénico, cromo, cobre, níquel y zinc en suelos representativos de la provincia de Salamanca y se establecen sus estándares de fondo y de referencia. Por último, mediante tratamiento estadístico de datos, se demuestra el papel fundamental de la litología en la caracterización química de los suelos, lo que sugiere realizar la determinación de los estándares o niveles

diferenciando distintos valores para cada metal según las litologías existentes, en detrimento de una estimación genérica que no contemple el papel de la geología.

**Millán, Prato, García,, Díaz, & Sánchez Molina (2013)** “Adsorción de iones  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  por materiales litológicos de carga variable provenientes de suelos del estado Mérida, Venezuela”. En el presente trabajo se prepararon lechos adsorbentes utilizando material oxídico de carga variable proveniente de suelos del estado Mérida, Venezuela, por medio de un tratamiento térmico a  $800^{\circ}\text{C}$ . Los difracto gramas de rayos X confirman la presencia de óxidos anfóteros de hierro y aluminio y muestran poca o ninguna variación de la composición de los mismos debido al tratamiento térmico. Las superficies específicas de los materiales calcinados obtenidas por adsorción de  $\text{N}_2$  son relativamente pequeñas y están en el rango de 6 a  $15 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , volúmenes de poro promedio en el rango de 70 a  $140 \mu\text{L g}^{-1}$ . Se estudió la adsorción de iones  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  en cada uno de los materiales en función del pH, el primero muestra un máximo de adsorción entre pH6y8, mientras que el segundo no muestra variaciones importantes en las cantidades adsorbidas. El experimento de columnas mostró comportamiento diferencial con adsorciones promedio de  $175,31 \mu\text{moles g}^{-1}$  para el caso de los iones  $\text{Cu}^{2+}$  y de  $334,75 \mu\text{moles g}^{-1}$  para el caso de iones  $\text{Zn}^{2+}$ . Estos materiales así preparados podrían servir al tratamiento de residuales como en la preparación de catalizadores para la conversión de  $\text{NO}_x$  en  $\text{N}_2$ .

**Pastor Berasategui (2016)** “Influencia de la litología en el comportamiento hidrofóbico en suelos de baja pendiente con cultivo de *Eucalyptus globulus*. Costa Asturiana”. La hidrofobicidad de los suelos es un factor con creciente interés científico. Las consecuencias de la hidrofobicidad o repelencia al agua en los suelos son múltiples ya que deriva en una mayor escorrentía superficial y en la creación de zonas de flujo preferente. Esto hace

que la erosión de los suelos aumente pudiendo llegar a una pérdida de volumen de suelo crítica. Por supuesto, las plantas se ven afectadas ya que el agua disponible para crecer adecuadamente disminuye. El objetivo de este trabajo ha sido determinar el grado de hidrofobicidad en suelos tomados bajo plantaciones de *Eucalyptus globulus* y ver si guarda alguna relación con la litología del substrato en el litoral del Principado de Asturias. Para ello se tomaron muestras sobre dos sustratos litológicos diferenciados: A) Arenisca y B) Caliza. Para ello, la hidrofobicidad se midió mediante el Water Drop Penetration Time test (WDPT) tanto en el horizonte mineral como en el horizonte orgánico. El horizonte mineral además se tamizó para posteriormente analizar la relación entre cada fracción de suelo (>2mm, 2 mm-400  $\mu$ , 400  $\mu$ -63  $\mu$ m y <63  $\mu$ m).

**Vázquez Bernal & Mora López (2012)** “Construcción de un modelo de distribución de facies litológicas utilizando una correlación litoestratigráfica de alta resolución”. El objeto de este trabajo consiste en desarrollar una metodología para estimar la distribución espacial de la permeabilidad (K) en el entorno de un pozo de inyección/extracción, para procesos de recuperación de hidrocarburos en un suelo contaminado. La variación espacial de la permeabilidad es una variable que gobierna diferentes procesos. La metodología propuesta se consideró realizarla en un campo experimental, donde se perforaron cinco pozos y se consideraron dos niveles de muestreo en cada sondeo, se construyó su columna litoestratigráfica; ya que a través de ella podemos evaluar el grado de heterogeneidad y anisotropía del sitio. Posteriormente se estimó la permeabilidad utilizando el software RETC; el cual pronostica un valor aproximado de permeabilidad. Después se muestra la representación gráfica de las variaciones existentes de la permeabilidad al entorno del pozo. La integración de la información de la distribución de las permeabilidades, tanto en el plano horizontal como vertical, nos definirá un modelo de distribución de permeabilidades del sitio.

**Fernando (1982)** "Contaminación química, ligada a la litología, en los acuíferos situados al S. del casco urbano de Madrid". La litología incide siempre, de modo más o menos decisivo, en la localización y posibles explotaciones de acuíferos, como se pone de manifiesto en la región que nos ocupa. Los tres ámbitos sedimentarios que se pueden apreciar en ella, de W. a E., desde el Término Municipal de Leganés al de Rivas-Vaciamadrid, atravesando por completo el de Getafe son el detrítico de borde de cuenca, el químico de centro de cuenca, y los aportes fluviales cuaternarios localizados casi exclusivamente en la margen derecha del Manzanares (IGME, 1975). La diversidad de los materiales nos va a permitir caracterizar dos tipos básicos de aguas subterráneas: las pertenecientes al acuífero terciario, por estar contenidas en materiales de esa edad; y las del acuífero cuaternario, en relación con los aluviones del Manzanares. No obstante, no se trata de la existencia de unos mecanismos funcionales independientes para ambos, ya que se encuentran conectados en un amplio margen. Para su estudio, se ha hecho una división de la región en zonas hidrogeológicas con la que sólo se pretende un mayor acercamiento en función de las variaciones locales en el comportamiento de esas aguas subterráneas.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

En la ciudad de Cerro de Pasco, la actividad minera para la extracción de sulfuros con contenido de plomo, zinc, cobre, plata, etc., se ha realizado desde la época de la colonia, posteriormente en la época republicana se explotó este yacimiento con la Cerro de Pasco Cooper Corporation de Norte América la extracción de estos minerales con esta empresa fue a tajo abierto llamado Mac Cume y con el método de minado a través de galerías, piques y chimeneas, luego paso a manos de la empresa del estado Centromin Perú, donde el tajo abierto cambio el nombre a Raúl Rojas con la consiguiente exposición a cielo abierto de estos minerales, donde estos minerales por estar expuestos al medio

ambiente con las altas precipitaciones de lluvia sobre todo en las épocas de invierno generan lixiviación de los minerales, sus iones y cationes de los minerales son dispersados originando dispersiones primarias y secundarias con anomalías primarias y secundarias.

Luego la empresa Centromin Perú es vendida a la empresa Cía. Minera Volcán el cual es dueño actualmente.

La contaminación del suelo se origina naturalmente desde los orígenes del yacimiento hidrotermal en el terciario ya que, en este periodo, hubo gran actividad volcánica en el planeta tierra, donde el magma del volcán Rumiallana al querer salir a la parte externa rompió las rocas preexistentes, originando la gran falla longitudinal de Cerro de Pasco, a través de esta salió el magma mineralizado para formar el cuerpo mineralizado y vetas de origen hidrotermal.

Los minerales como la; galena, arsenopirita, blenda, argentita, etc., tienen efectos tóxicos en los seres humanos, especialmente cuando hay exposiciones agudas a altos niveles de los mismos, a exposiciones crónicas y a bajos niveles durante periodos prolongados de tiempo.

El 2005 las Municipalidad de Paragsha, contrata los servicios de la consultora JHDL EIRL., para realizar la evaluación ambiental de Paragsha y luego la Municipalidad del distrito de Simón Bolívar también contrata los servicios de mencionada consultora para realizar la evaluación ambiental de todo el distrito. Donde como resultado de esta evaluación ambiental se identificó que la contaminación por minerales en la ciudad de Cerro de Pasco, tiene como origen el yacimiento hidrotermal de Cerro de Pasco, donde se identificó que su suelo está altamente contaminado por diferentes metales. En vista de esto se alerta a todas las autoridades de la ciudad de esta contaminación generalizada de alto riesgo, las autoridades políticas y de salud toman diferentes acciones.

### 2.2.1. Origen Litológico de los Minerales en los Suelos

En el suelo existen unos elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones y al evolucionar la vida adaptándose a estas disponibilidades, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para la biodiversidad de especies existente. Dentro de este grupo de elementos son muy abundantes los denominados metales pesados

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a  $5 \text{ gr.cm}^{-3}$  cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; es este el caso del Arsénico (Ar), Boro (B), Bario (Ba) y Selenio (Se).

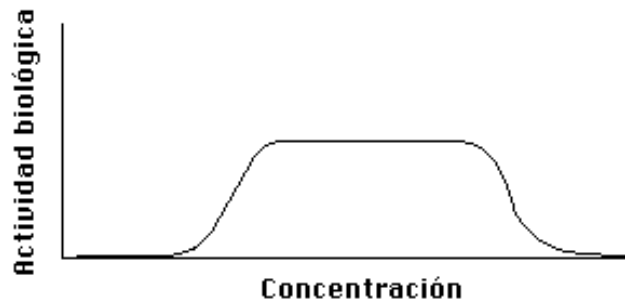
Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

**A. Oligoelementos o Micronutrientes.** Que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: Arsénico (As), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn).



**Figura 1.**

Actividad biológica vs concentración.



**B. Metales Pesados.** Sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Antimonio (Sb) y Bismuto (Bi).

Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinas, con altos contenidos en elementos como Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu) y Manganeso (Mn); los metales pesados son muy estables en el suelo y en el proceso natural de transformación de las rocas para originar a los suelos suelen concentrarse, pero, en general, sin rebasar los umbrales de toxicidad y además los metales pesados presentes en las rocas se encuentran bajo formas muy poco asimilables para los organismos.

Las rocas ígneas ultra básicas (como las peridotitas y las serpentinas) presentan los más altos contenidos en metales pesados, seguidas de las

ígneas básicas (como los gabros y basaltos). Las menores concentraciones se encuentran en las rocas ígneas ácidas (como el granito) y en las sedimentarias (como las areniscas y las calizas). Los porcentajes más altos se dan para el Cromo (Cr), Manganeseo (Mn) y Níquel (Ni), mientras que el Cobalto (Co), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) se presentan en menores cantidades, siendo mínimos los contenidos para el Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg).

En los suelos, los más abundantes son el Manganeseo (Mn), Cromo (Cr), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Plomo (Pb) (1-1.500 mg/kg; el Mn puede llegar a 10.000 mg/kg). En menores concentraciones se encuentran el Cobalto (Co), Cobre (Cu) y Arsénico (As) (0,1-250 mg/kg) y con mínimos porcentajes el Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) (0,01-2 mg/kg), según Bowen 1979.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo.

En un balance realizado a finales de la década de los años 80, se estimó que la cantidad anual de vertidos de metales en suelos ascendía a unos 5 mil billones de Kg. El 74% de esta cantidad corresponde a las cenizas procedentes de la combustión de carburantes, principalmente carbón.

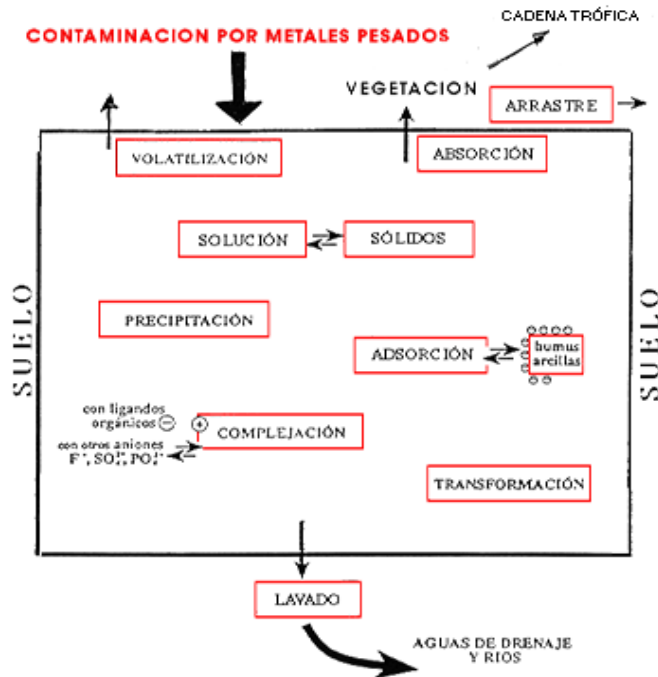
Los metales pesados incorporados al suelo siguen cuatro diferentes vías:

- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Como se esquematiza en el siguiente cuadro (adaptado de Calvo Anta, 1996).

**Figura 2.**

Contaminación por metales pesados.



Pero por la dificultad de extracción, es por lo que las normativas prefieren evaluar la cantidad total de elemento tóxico presente. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente (Lindsay, 1979, calcula que el 10% del total se encuentra en fase soluble). Pero en esta correspondencia intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí como de las características del propio suelo (conceptos ya expuestos anteriormente). Por ejemplo, para una misma concentración de elementos tóxicos en un suelo, la concentración de la fase asimilable será mucho más elevada para un suelo ácido que para uno neutro o alcalino.

### 2.2.2. Procedencia Litológicos de los Minerales en los Suelos

Los minerales contenidos en el material original, al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de minerales pueden

llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas, así, por ejemplo, el níquel puede aparecer en concentraciones tóxicas en suelos derivados de rocas ultra básicas.

Concentraciones naturales muy altas en los suelos pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los animales que las consumen. También hemos de considerar las actividades volcánicas, que emiten metales pesados tales como: Arsénico (As), Mercurio (Hg), Selenio (Se).

En la siguiente tabla se resume la composición en elementos químicos de diferentes entes naturales (concentraciones en mg/Kg):

**Tabla 1**

Composición en elementos de diferentes entes naturales.

<b>Elementos</b>	<b>Granitos</b>	<b>Basalto</b>	<b>Esquisto</b>	<b>Caliza</b>	<b>Arenisca</b>	<b>Suelos</b>
Ag	0.04	0.1	0.07	0.12	0.25	0.05
Al(*)	7.7	8.8	8.8	9	4.3	7.1
As	1.5	1.5	13	1	1	6
Cd	0.09	0.13	0.22	0.028	0.05	0.35
Co	1.0	35	19	0.1	0.3	8
Cr	4	90	90	11	35	70
Cu	13	90	39	5.5	30	30
Fe(*)	2.7	5.6	4.8	1.7	2.9	4
Hg	0.08	0.012	0.012	0.18	0.29	0.06
Mn	400	1500	850	620	460	1000
Mo	2	1	2.6	0.16	0.2	1.2
Ni	0.5	150	68	7	9	50
Pb	24	3	23	5.7	10	35
Se	0.05	0.05	0.5	0.03	0.01	0.4
Sn	3.5	1	6	0.5	0.5	4
Zn	52	100	120	20	30	90

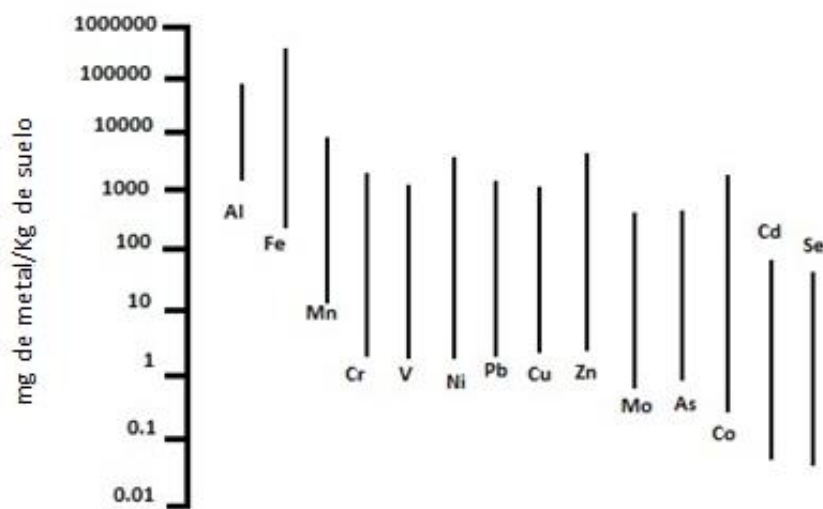
<b>Elementos</b>	<b>Plantas terrestres (mg/kg)</b>	<b>Mamíferos (mg/kg)</b>	<b>Peces marinos (mg/kg)</b>	<b>Aire (Polo Sur) (ng/kg)</b>	<b>Agua marina (µg/l)</b>	<b>Agua continental (µg/l)</b>	<b>Lluvia (µg/l)</b>
Ag	0.01 – 0.8	0.01-0.44	0.04-0.1	-	0.040	0.3	0.006
Al(*)	90 – 530	0.7-28	20	0.67	2.0	300	2.1-105
As	0.2 – 7	<1.6	0.2-10	0.006	1.3-2.5	0.5	-
Cd	0.01 – 2.4	0.1-3.2	0.1-3	<0.4	<0.025	0.1	0.02-0.06
Co	<1	<1	0.02	<0.03	0.020	0.2	0.17-0.95

Cr	0.03-10	0.01-33	0.03-2	<0.03	0.09-0.55	1.0	-
Cu	5-15	1-26	0.7-15	0.51	0.01	3.0	0.01-15
Fe(*)	70-700	3-380	1-15	<29	2.0	500	0.4-84
Hg	<0.02	0.02-0.7	0.4	<0.01	<0.012	0.1	-
Mn	20-700	0.2-14	0.3-4.6	1.2	0.2	8.0	-
Mo	0.06-3	0.02-0.7	1	<0.2	10.0	0.5	0.01-12
Ni	1-5	0.7-1.2	0.1-4	<2	0.02-0.7	0.5	-
Pb	1-13	0.2-30	0.01-2	3.6	<0.02	3.0	-
Se	0.03	0.4-9	0.2	0.005	0.06-0.12	0.2	0.01-0.77
Sn	0.02-2	0.01-2	-	-	0.004	<0.01	<0.01
Zn	20-400	75-240	10	0.027	<0.6	10.0	0.05-100

Los contenidos medios de metales en suelos se reproducen en la siguiente gráfica, pero hemos de destacar que la concentración de los metales en los suelos varía considerablemente con la profundidad (como ocurre generalmente con todas las propiedades de los suelos).

**Figura 3.**

Variación en la concentración de metales en suelos.



Variación en la concentración de metales en suelos

### **2.2.2.1. Geología Local**

#### **La Columna Estratigráfica**

La estratigrafía de la zona se puede apreciar el Anexo 02: Plano A-6.

Silúrico-Devónico

#### **A. Grupo Excélsior:**

Las rocas más antiguas que afloran en la zona corresponden al grupo Excélsior. En Cerro de Pasco, este grupo está compuesto por filitas grises, cuarcitas de grano fino y lutitas carbonáceas. Estas rocas tienen rumbo con dirección Norte, han sido fuertemente plegadas. La edad de dichas rocas no está bien determinada, para D.H: Mc Laughlin (1924) son silúricas, para otros investigadores, devónica.

#### **B. Pérmico: Grupo Mitú:**

El Paleozoico Superior, el cual ha sido fuertemente erosionado en la localidad, está representado por el grupo Mitú. En Cerro de Pasco, el grupo Mitú yace discordante sobre el Excélsior y se encuentra solamente como lentes delgados de areniscas cuarcitas y conglomerados rojos. Hacia el Norte y Sur de Cerro de Pasco, la potencia del Mitú se incrementa. A 5 km al Norte, el espesor alcanza 50 m, a 7 km al Sur, la potencia es de 60 a 80 m; la facie volcánica extrusiva, característica del Paleozoico Superior encontrado en otras regiones del Perú, no ha sido reconocido en el área de estudio.

#### **C. Triásico-Jurásico: Grupo Pucará-Caliza Uliachin:**

El final del periodo Triásico y el comienzo del Jurásico están representados por el complejo calcáreo de Uliachin – Paria del grupo Pucará. Las calizas jurásicas de Paria localizadas en la parte Norte de Cerro de Pasco, yacen en concordancia sobre las calizas Triásicas de Uliachin de la parte Sureste del distrito. Según F. Jenks

(1951) la facies oriental (al Este del distrito) del grupo Pucará tiene una potencia de 2945 m (en la localidad) y la facies occidental sólo algunas decenas de metros. En la parte central y sur del distrito el grupo Pucará ha sido erosionado.

En la zona oriental del distrito, el grupo Pucará yace en discordancia angular suave sobre la del grupo Mitú. La facies oriental está compuesta de capas delgadas, y de capas potentes de caliza de color gris oscuro con intercalaciones delgadas, y de capas potentes de caliza de color gris oscuro con intercalaciones delgadas, y de capas potentes de caliza de color gris oscuro con intercalaciones delgadas de sedimentos lutíticos negros. Entre esta secuencia se encuentran horizontes bituminosos, dolomíticos, fosilíferos y de nódulos de chert. También se observan zonas de brechas tectónicas, con matriz calcárea y zonas de brechas de probable origen sedimentario. La facies oriental ha sido de gran importancia en la localización de los grupos mineralizados de plomo y zinc en Cerro de Pasco, Atacocha, Milpo y Machcán.

En la zona occidental (6 km al Oeste de Cerro de Pasco), el grupo Pucará aflora formando el núcleo del anticlinal de Rancas. En esta localidad dicha formación presenta dos tipos de litología: la superior compuesta de 25 m de caliza arenosas pardos-amarillentas las que son de color amarillento claro con intercalaciones de lutitas y areniscas verdosas; y la inferior formada por 60 m de caliza pardo-rojizas claras con algunas capas delgadas de lutitas calcáreas en la parte inferior de la secuencia.

#### **D. Terciario:**

Un periodo de emersión, acción erosiva y depositación discordante sobre formaciones pre-terciarias caracteriza al ambiente deposicional terciario.

Formación Pocobamba: Según N.F. Jenks (1951) quien estudió las rocas terciarias de los alrededores de Cerro de Pasco, la formación Pocobamba presenta tres unidades litológicas: el miembro inferior, el conglomerado shuco y el miembro calera.

##### **a. Miembro Inferior:**

La litología del miembro inferior de la formación Pocobamba está bien expuesta en la parte terminal Norte del sinclinal de Cacuán, a 5 km al Noroeste de Cerro de Pasco. La secuencia está compuesta de lutitas y areniscas inconsistentes, de color verde grisáceo con intercalaciones de capas de margas rosáceas y lutitas rojas, en un espesor de 300 a 330 m. Estos sedimentos parecen haber sido depositados en un ambiente lacustre.

##### **b. Conglomerado Shuco:**

El conglomerado calcáreo Shuco aflora en la localidad a lo largo de una faja orientada de Sur a Norte. En el lado Este y en las cercanías de las calizas Pucará, el conglomerado está compuesto de bloques angulares hasta de 4 m de diámetro, dentro de una matriz formada por fragmentos calcáreos subangulares, de diferentes tamaños. Hacia el Oeste el conglomerado es estratigráfico y los tamaños de los fragmentos de caliza decrecen, se muestran más redondeados, aparecen elementos de otra litología (cuarcita, "chert" y areniscas) y finalmente, en partes más alejadas pasan a calcarenitas y



lutitas. El conglomerado Shuco entre Cerro de Pasco y Colquijirca tiene una potencia de 170 m y tiende a disminuir hacia el Oeste. A 1,5 km al Oeste de Colquijirca llega a 100 m de potencia.

**c. Miembro Calera**

Mc Kinstry (1936), en Jenks (1951) la llamó Formación Calera. La mejor exposición de la parte inferior de la Formación Calera se halla en la localidad de La Calera (WSW de Laguna Cuchis Grande). Allí predominan los sedimentos detríticos, en su mayor parte finos, de procedencia volcánica; y en parte como delgados niveles de conglomerados de guijarros. Hay también algo de tobas riolíticas. El intervalo termina con alternancias de argilitas y calizas margosas. El espesor de estas facies es de 64 m. Más al Norte (cerca al Este de Laguna Cuchis Chico), en la parte inferior del Calera hay muchos intervalos cubiertos, pero afloran algunos conglomerados similares a los anteriores, y sobre todo, bancos de caliza "*limestone*" y margas, con estructura concrecionada.

La parte media de la formación Calera contiene las facies de calizas gris muy claras, en bancos prominentes, que más características son de la unidad. En la Calera, la parte baja del intervalo es casi enteramente calcárea, la parte alta contiene además calizas margosas e intercalaciones de limo arcillitas gris verdosas y verdes, probablemente derivadas de piroclásticos. Este intervalo supera los 55 m.

La parte superior de la formación Calera parece existir solamente al Sur de la Laguna Cuchis Grande, bajo un terreno casi totalmente cubierto por acarreo glaciares y fluvioglaciares.

Su mejor exposición se halla en Colquijirca, en donde se compone de delgadas alternancias de limo arcillitas, areniscas dolomías margosas, dolomías y chert. Su grosor supera los 150 m.

#### **d. Volcánico Terciario**

Presenta afloramientos de rocas volcánicas del terciario (Mioceno); en partes cubiertas por depósitos aluviales o glaciares.

Paragsha se encuentra en lo que debió haber sido el cráter de un volcán extinto. Las rocas de esta zona son de tipo ígneo, la mayor parte de estas rocas pertenecen al aglomerado Rumiallana, cuyo origen es volcánico.

Se puede observar una abertura volcánica cerca de la falla longitudinal, cuya circunferencia pasa a escasos metros al Oeste del pique Lourdes y luego se desvía en dirección al cerro de Paragsha. El cuello del cráter está lleno de un aglomerado de rocas volcánicas de color verduzco en forma redonda o en fragmentos. A este depósito se le llama el aglomerado Rumiallana.

Mucho tiempo después de las erupciones volcánicas, rocas ígneas ácidas conocidas con el nombre de monzonita de cerro, forzó su salida hacia arriba por la muralla occidental de la abertura, extendiéndose a través de ella hasta el lado oriental. Al ver la superficie es casi imposible darse cuenta que existía un volcán, el cerro Paragsha y la alta colina al Oeste de la pampa de San Judas son de monzonita el cerro que ha podido resistir la erosión por efecto del agua y el hielo con más éxito que el aglomerado Rumiallana.

Después que la lava atravesó por las grietas de las rocas más blandas, soluciones con contenido de mineral ascendían por la parte oriental de la abertura. Bajo condiciones favorables de presión y temperatura, el sulfuro de hierro (pirita) se formó entre la abertura y la falla longitudinal reemplazando a la roca. Los numerosos afloramientos de rocas ferruginosas que se observan por los alrededores de la ciudad de Cerro de Pasco, en general, son indicios sobre la superficie de la gran masa de pirita que tiene más de 1600 m de largo y una profundidad de 300 m (Dr.H.W. Kobe 1980).

Luego de haber formado esta gran masa, que los hundimientos lo han resquebrajado, así como el sector al Sur de la abertura volcánica. En estas aberturas se formaron los depósitos de mineral de polimetálicos. Exceptuando las vetas que se encuentran en las pizarras del Excelsior, el mineral en las vetas se halla por lo general dentro o junto a la pirita, debido a que la roca fue buen metalotecto para la formación de los depósitos minerales.

#### **2.2.2.2. La Carta Geológica Estructural**

En la ciudad de Cerro de Pasco, se tiene la falla longitudinal Cerro de Pasco y el anticlinal Cacuan, como estructuras principales (Ver Anexo Plano A-5).

Paragsha y Chaupimarca pertenece según el mapa de regionalización sismotectónica I a la zona 4, que corresponde a un punto activo con probable fallamiento superficial; y un tipo de sismo de escasa profundidad.

### **2.2.2.3. Las Explotaciones Mineras**

El yacimiento minero de Cerro de Pasco ha sido explotado a tajo abierto y minado subterráneo, el primero es aplicado para los cuerpos mineralizados y el segundo para vetas, filones y vetillas mineralizadas.

### **2.2.2.4. Clases de Suelo**

El suelo presente en la ciudad de Cerro de Pasco es el Regosol dístico - Afloramiento lítico (Ver Anexo Plano A-4), que se encuentran conformando los depósitos aluviales, coluviales y glaciares que consisten en general de gravas arcillosas o gravas limosas (GC, GM), con intercalaciones de suelos limosos o arcillosos.

La textura predominante de esta zona es la Grava Limosa (GM). Este suelo es bastante compacto, el cual presenta una densidad aproximada de 2,07 TM/m<sup>3</sup>. El límite de consistencia de estos suelos es de tipo compacto, ya que se requiere de un pico para poder desprenderlo. Este tipo de suelo es infértil, por la ausencia de materia orgánica, y exceso de material mineralizado.

Edafológicamente, el área en estudio presenta un suelo formado por partículas gruesas, donde destacan en primer orden los silicatos (feldespatos de Potasio (K), Calcio (Ca) y Sodio (Na); micas, óxidos, cuyos principales exponentes son:

Cuarzo (SiO<sub>2</sub>), Limonita (FeO.OH), Calcita (CaCO<sub>3</sub>), Magnetita (FeO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Dolomita (CO<sub>3</sub>Mg.CaCO<sub>3</sub>), etc.

Las arcillas (que aparecen en un porcentaje menor al 10 %) están compuestas mayormente por silicatos de aluminio hidratado, además silicato de Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb).

La mina de Cerro de Pasco es explotada por los métodos subterráneos y a cielo abierto. El suelo también se halla ocupado por la

expansión del tajo, por los desmontes producidos por la actividad minera, además el incremento de estos “stock piles” (desmontes).

Las fuentes principales de contaminación del agua son las aguas ácidas y metales en dilución productos de la reacción de las aguas de lluvias con los suelos piritosos de esta zona.

En segundo orden los depósitos de escombreras son los principales contaminantes de los suelos afectando los pastos naturales y en general la flora y fauna silvestre, y en menor grado los residuos sólidos generados agravan este serio problema. La contaminación física se da bajo la forma de deterioro de los espacios y afectación paisajística del entorno del área de estudio, caracterizada por el relieve abrupto y fuertemente disectado, son litosoles, paramosoles, histosoles, etc.

El suelo de estas zonas se caracteriza por ser, en su mayoría, un relleno producto de la actividad minera, donde los antiguos pobladores asentaron sus viviendas con el fin de establecerse.

#### **2.2.2.5. Yacimiento Hidrotermal**

Los yacimientos hidrotermales son creados por soluciones gaseoso-líquidas mineralizadas calientes que circulan bajo la superficie de la tierra. Las acumulaciones minerales de origen hidrotermal se forman a consecuencia de los depósitos de masas minerales en las oquedades de las rocas, como a causa de la sustitución de éstas. La forma de los yacimientos hidrotermales depende, por un lado, de la morfología de las cavidades acumuladoras de mineral de mineral, y por otro lado de los contornos de las rocas que son sustituidas. Para los yacimientos hidrotermales la forma más típica es la filoneana. Entre ellos también están difundidos los stocks, las bolsas, las vetas entrelazadas, los lentes, los depósitos estratificados, los lentes, los depósitos estratificados, y los cuerpos combinados complejos,

Los cuerpos minerales de génesis hidrotermal suelen localizarse entre las rocas que experimentaron alteración hidrotermal en el proceso de formación de menas. Los mismos, como regla, se hallan rodeados de aureolas de mineralización diseminada que disminuye poco a poco en su periferia. Debido a esto los cuerpos minerales de los yacimientos hidrotermales a menudo no tienen límites evidentes y se contornean según los datos del muestreo a base del contenido mínimo de componentes valiosos, establecido en la mena.

Las dimensiones de los cuerpos minerales de origen hidrotermal varían dentro de unos límites muy amplios.

Las oquedades de las rocas, utilizadas para la formación hidrotermal de minerales, se dividen en singenéticas y epigenéticas. A las singenéticas pertenecen:

- a. Los intersticios entre los granos de minerales formadores de menas,
- b. Los planos de estratificación,
- c. Las oquedades de miariolíticas y las burbujas de los cuerpos efusivos.

Las oquedades epigenéticas se dividen en no tectónicas pueden citarse:

- a. Las oquedades de disolución,
- b. Las que surgen al aumentar o disminuir el volumen de las rocas,
- c. Las debidas a la cristalización y recristalización de las masas minerales,
- d. Las de las brechas de asentamiento,
- e. Las de las brechas volcánicas.

A las oquedades tectónicas pertenecen:

- a. Las de exfoliación entre y dentro de los estratos,
- b. La fisuración tectónica general de las rocas encajonantes,
- c. Las fallas.

Las oquedades tectónicas representan la máxima importancia para la localización de la mineralización hidrotermal.

La porosidad de las rocas la determinan distintos grupos de oquedades. La porosidad total, o teórica, es la relación entre el volumen de la roca, y se expresa en tanto por ciento. La porosidad total depende de la forma de los granos, su posición mutua y el grado de clasificación Según el tamaño.

Para la circulación de las soluciones hidrotermales a través de las rocas tiene importancia no la porosidad total, si no la porosidad efectiva. Esta se determina como la relación entre el volumen de los poros comunicantes que garantizan el flujo del líquido, y el volumen total de la roca. Para la porosidad efectiva tiene mucha importancia el tamaño absoluto de los poros.

La permeabilidad se determina como la propiedad de la roca de dejar pasar el líquido o el gas a través de los poros al existir diferente presión.

La permeabilidad depende de una serie de causas, tales como: el tamaño de los granos (aumenta al crecer éste), la configuración de los poros, su disposición mutua y la dirección del movimiento de las soluciones respecto a la estructura de la roca.

Los yacimientos hidrotermales tienen una gran importancia para la obtención de muchos minerales importantes, sobre todo, para la extracción de metales no ferrosos, raros, nobles, y radiactivos. La inmensa mayoría del cobre, el plomo, cinc, antimonio, molibdeno,

mercurio, plata, cadmio y litio, así como una parte considerable de oro, cobalto, uranio, estaño y tungsteno se extrae de las menas de origen hidrotermal.

### **2.2.3. Condiciones Físico-Químicas De Formación**

Los yacimientos hidrotermales se forman de las soluciones gaseosas y líquidas calientes. Se considera que el solvente es el agua con las sales minerales y los gases disueltos en ella.

Las soluciones formadoras de menas pueden pertenecer a las suspensiones, a los coloides y a las soluciones moleculares.

Las suspensiones, a las cuales pertenecen, por lo general, las soluciones cuyo tamaño de las partículas de la fase dispersa es superior a 1 microgramo, no tienen mucha importancia en la formación hidrotermal de menas, aunque, al atravesar las zonas de trituración pre mineral e intramineral, las soluciones hidrotermales pueden ser enturbiadas por los finos productos de la trituración tectónica, arrastrándolos y depositándolos a lo largo de su trayecto.

### **2.2.4. Geoquímica del Yacimiento de Cerro de Pasco**

Con la geoquímica observamos la distribución y migración de minerales en el suelo del yacimiento minero de Cerro de Pasco, que constituye a una acumulación extraordinaria de partículas mineralizadas, es decir una acumulación anormal de minerales, este yacimiento minero constituye una anomalía geoquímica en otras áreas cercanas, como en otras alejadas del mismo. Se observan dispersiones geoquímicas primarias como secundarias en el suelo, en algunos casos ambos tipos de dispersiones están superpuestos constituyendo una anomalía geoquímica primaria y secundaria.

Las dispersiones primarias se dieron desde la formación misma del yacimiento minero de Cerro de Pasco. Y las dispersiones secundarias se presentan después de la formación del yacimiento minero, es el caso de los



sulfuros. Estos son en los ambientes más superficiales en donde circulan las aguas meteóricas. En este tipo de ambiente se produjeron los fenómenos de intemperismo o meteorización, erosión, transporte y sedimentación, todos estos procesos tuvieron una íntima relación en las dispersiones secundarias, estas dispersiones secundarias se caracterizan por tener bajas temperaturas, baja presión, no tienen o es muy incipiente los movimientos de fluidos o soluciones hidrotermales, además tuvieron una abundancia ; agua, oxígeno, y anhídrido carbónico, por lo tanto son ambientes aerobios y altamente oxidados como el sombrero de hierro del yacimiento de Cerro de Pasco. La meteorización fue la primera fase del ciclo geoquímico secundario.

Las anomalías primarias estarían consideradas entre la relación de las dispersiones primarias de los minerales y el área que los contiene. Y las anomalías secundarias sería la relación de las dispersiones secundarias con la superficie de la Ciudad de Cerro de Pasco, donde afloran los sulfuros y óxidos del tajo.

- A. Dispersiones Primarias.** Los iones y cationes de los minerales ínsito, tienen gran movimiento por la lixiviación originado por las aguas superficiales y subterráneas, este desplazamiento de iones y cationes desde su origen del yacimiento generan las dispersiones primarias.
- B. Dispersiones Secundarias.** Los iones y cationes de los minerales ínsito, tienen gran movimiento por la lixiviación originado por las aguas superficiales y subterráneas, este desplazamiento de iones y cationes después del origen del yacimiento generan las dispersiones secundarias.
- C. Anomalías Primarias.** La relación de las dispersiones primarias y el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco originan las anomalías primarias, presentándose como sulfuros, sulfosales, carbonatos, silicatos, etc.

**D. Anomalías Secundarias.** La relación de las dispersiones secundarias y el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco originan las anomalías secundarias, presentándose como como óxidos y sulfatos.

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **A. Contaminación del suelo por procesos de la Litogénica**

Cuando la contaminación por minerales tiene un origen ínsito.

#### **B. Yacimiento Hidrotermal**

Son los depósitos minerales formados por la precipitación de metales que viajan a través de la corteza terrestre, disueltos en fluidos acuosos calientes, que son calentados por su asociación cercana a magmas.

#### **C. Estratigrafía**

Parte de la geología que se ocupa de la disposición de los estratos y de los fósiles que contiene, así como de las rocas depositadas.

#### **D. Geología Estructural**

Estudia la corteza terrestre, sus estructuras y su relación en las rocas que los contienen. Falla Geológica Longitudinal, rotura de una estructura geológica a nivel regional.

#### **E. Geoquímica**

Ciencia de la constitución química de la tierra. Estudia entre otras cuestiones, los elementos que la constituyen. Dispersiones Primarias que involucra todos los procesos de emplazamiento de minerales durante la formación del depósito. También las dispersiones secundarias es cuando los iones y cationes de los minerales son desplazados del lugar insitu.

#### **F. Anomalías Geoquímica Primarias**

Es la relación del área y las dispersiones primarias.

#### **G. Anomalías Geoquímicas Secundarias**

Es la relación del área y las dispersiones secundarias.

## **H. Aspecto Ambiental**

Un aspecto ambiental se refiere a un elemento de la actividad, producto o servicio de una organización que puede tener un impacto beneficioso o adverso en el ambiente.

## **I. Mitigación Ambiental**

El control y la mitigación del impacto negativo, identifica especialmente las tecnologías y procesos que se implementan para prevenir o mitigar impactos adversos. Las medidas de mitigación que comúnmente se evalúan son: Evitar áreas sensibles de recursos (si fuera práctico). Programar actividades para evitar impactos. Reubicación de las instalaciones para evitar impactos innecesarios a los recursos. Control del desarrollo o expansión de actividades para limitar los impactos socio-económicos. Desarrollar recursos especiales o programas comunitarios para ayudar a la educación y toma de conciencia de la comunidad sobre el grado de impacto a mitigar.

## **J. Ambiente**

Entorno en el cual una organización opera, incluyendo el aire, el agua, la tierra, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones.

## **K. Contaminación**

Es la alteración por exceso o defecto de la calidad ambiental y/o presencia de agentes ya sea de manera directa o indirecta, que causan efectos adversos sobre el medio ambiente y los seres vivos de acuerdo a la concentración del agente, el periodo de exposición y la sensibilidad del agente expuesto.

**L. Impacto Ambiental**

Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

**M. Monitoreo**

Proceso de observación repetitiva, con objetivos bien definidos relacionado con uno o más elementos del ambiente, de acuerdo con un plan temporal.

**N. Protección Ambiental**

Toda acción personal o comunitaria, pública o privada, que tienda a defender, mejorar o potenciar la calidad de los recursos naturales, los términos de los usos beneficiosos directos o indirectos para la comunidad actual y con justicia prospectiva.

**O. Unidad Minera**

Lugar y conjunto de instalaciones, incluidas las obras de ingeniería civil y edificaciones necesarias, directa o indirectamente utilizadas para la extracción de mineral.

**P. Parte Interesada**

Individuo o grupo interesado o afectado por el desempeño ambiental de una organización.

**Q. Organización**

Compañía, corporación, firma, empresa, autoridad o institución, o parte o combinación de ellas, organizada en forma societaria o no, pública o privada, la cual tiene sus funciones.

**R. Prevención de la Contaminación**

Utilización de procesos, prácticas, materiales o productos que evitan, reducen o controlan la contaminación, pudiendo incluir el reciclaje, tratamiento, cambios de procesos, mecanismos de control, uso eficiente de los recursos y sustitución de materiales.

## 2.4. Formulación de hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

Al evaluar a través de un estudio la alteración litológica de los sitios contaminados con metales pesados: plomo y zinc; y su efecto en la salud de la ciudad de Cerro de Pasco

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- Las concentraciones de metales pesados en el suelo: Plomo y Zinc, de la ciudad de Cerro de Pasco superan con relación a los límites ECAs del suelo.
- El efecto en la salud de las personas por los metales pesados de la ciudad de Cerro de Pasco, son altas.

## 2.5. Identificación de las variables

### A. Variable independiente

Contaminación con metales pesados por alteración litológica.

### B. Variable dependiente

Efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco.

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.

En la Tabla 2, se operacionalizó las variables de estudio, con el fin de hallar los objetivos de la presente investigación.

**Tabla 2**

Matriz de operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Contaminación de metales pesados por la alteración litológica	La contaminación del suelo por alteración litológica refiere a la contaminación causada por materiales de origen rocoso o	Contaminación por metales pesados	Concentración de metales	Ficha de observación
		Contaminación por radón	Concentración	Ficha de observación
		Contaminación por afloramientos de petróleo y gas	Concentración	Ficha de observación

	geológico. Aunque este término no es ampliamente utilizado, puede incluir varios tipos de contaminación relacionada con la interacción entre materiales geológicos y actividades humanas.	Contaminación por aguas subterráneas	Concentración	Ficha de observación
Efecto en el suelo de la ciudad	Los contaminantes en el suelo pueden tener diversos efectos negativos en el medio ambiente, la salud humana y los ecosistemas	Disminución de la calidad del suelo	ECA	Ficha de observación
		Contaminación de alimentos	Textura	Ficha de observación
		Toxicidad para los organismos	Reportes	Ficha de observación
		Disminución de la biodiversidad:	Textura	Ficha de observación
		Erosión del suelo	Textura	Ficha de observación

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación para el estudio de la contaminación del suelo por alteración litológica y su efecto en el suelo es de tipo aplicada. En este tipo de investigación, se llevó a cabo análisis de concentración de metales pesados del suelo a diferentes niveles de contaminación, por lo que se miden los efectos de esta contaminación en la composición y calidad del suelo. Los resultados obtenidos permiten establecer conclusiones sobre el impacto de la contaminación en el suelo y proponer medidas de mitigación y prevención.

#### **3.2. Nivel de Investigación**

El nivel de investigación para el estudio de la contaminación del suelo por alteración litológica y su efecto en el suelo es de tipo descriptivo. En este tipo de investigación, se busca describir y analizar las características y efectos de la contaminación en el suelo, así como identificar los factores que contribuyen a su aparición y propagación. Se recopilarán datos y muestras de suelo en diferentes áreas afectadas por la contaminación, y se realizan análisis químicos y físicos para determinar la concentración de contaminantes.

### **3.3. Métodos de investigación**

Para el estudio se pueden utilizar diferentes métodos de investigación. Uno de ellos es el muestreo de suelos, donde se recolectan muestras de diferentes áreas afectadas por la contaminación y se analizan en laboratorio para determinar la presencia y concentración de contaminantes, este método es el hipotético deductivo porque permite obtener información sobre la contaminación del suelo y su efecto, partiendo de la hipótesis conllevando a generar conclusiones.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de investigación propuesto es experimental transaccional por que consiste en realizar un estudio para investigar la contaminación y su efecto en el suelo en un solo momento, Para ello, se llevó a cabo un muestreo de suelos en diferentes áreas geográficas a lo largo de la ciudad, que presenten distintos niveles de contaminación. También se recolecto muestras de suelo en cada área y se analizarán en laboratorio para determinar la presencia y concentración de contaminantes. Posteriormente, se comparan con los estándares de calidad ambiental para suelos y se realizarán análisis estadísticos para determinar la relación entre la contaminación del suelo y los efectos en el suelo.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población o universo se define como el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones lo menciona (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Para el estudio de la contaminación del suelo por la alteración litológica y su efecto en el ambiente en la ciudad de Cerro de Pasco, es necesario seleccionar una población representativa que permita obtener resultados



confiables, es por ello que la población objetivo son las áreas urbanas y rurales que presenten una alta actividad minera.

### **3.5.2. Muestra**

Según (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018) define como un subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de esta, si se desean generalizar los resultados.

La muestra está constituida de 7 muestras de suelo superficial ubicadas en geográficamente, alrededor de la actividad minera, como la zona de la Esperanza, Paragsha y Yanacancha antigua, con ello poder analizar los diferentes efectos, además mencionar que no considera la diversidad de actividades humanas que influye en la contaminación del suelo.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica empleada para recoger información fue la observación directa, objetiva y sistemática.

Esta investigación, inicia con la recolección de datos desde la identificación de la problemática, luego realiza los trabajos de campo con la toma de muestras para su respectivo análisis y por último el trabajo de gabinete para elaborar el informe final.

Para el estudio de la contaminación del suelo por alteración litológica y su efecto en el suelo, se pueden utilizar diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos. Una de las técnicas más comunes es la toma de muestras de suelo en diferentes puntos de estudio, utilizando instrumentos como barrenas o sondas de muestreo. Estas muestras pueden ser analizadas en laboratorio para determinar la presencia y concentración de contaminantes en el suelo.

Además, se pueden realizar encuestas a los habitantes de la zona para recopilar información sobre posibles fuentes de contaminación y su impacto en el suelo. Estas técnicas e instrumentos de recolección de datos son

fundamentales para comprender y abordar el problema de la contaminación y su efecto en el suelo.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.**

En el estudio realizado la confiabilidad del instrumento se basa en el juicio de expertos dado que no es una encuesta para emplear El Alfa de crombach, dado que es el coeficiente de confiabilidad, se define como un coeficiente de correlación según (Santos Sanche, 2017) Asimismo la validación también se detalla en el anexo N° 10.

Para el estudio de la contaminación del suelo y su efecto en el ambiente, es necesario realizar una selección de los instrumentos de investigación. En primer lugar, se deben elegir el instrumento que permita medir los parámetros relacionados con la contaminación, como la concentración de metales pesados en el suelo. Además, es importante validar los instrumentos seleccionados, lo cual implica realizar pruebas de calibración y comparación con estándares reconocidos. Esto garantizará la exactitud y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

### **3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos**

Una vez obtenido los datos en el cuaderno de campo, se efectuó la revisión y consistencia de la información, evitando así cualquier tipo de riesgo.

Este proceso consistió, básicamente, en depurar la información revisando los datos contenidos en el cuaderno de campo para la recolección de datos. La consistencia se efectuó con el propósito de ajustar los datos primarios.

Luego de clasificar la información de los datos adquiridos se realizó la digitación

Para el estudio de la contaminación del suelo y sus efectos en el ambiente, se pueden utilizar diversas técnicas de procesamiento y análisis de datos. También es importante realizar un muestreo adecuado del suelo,

tomando muestras representativas de diferentes áreas afectadas por la contaminación. Posteriormente, se pueden emplear técnicas de análisis químico para determinar la concentración de diferentes contaminantes en el suelo, como metales pesados o compuestos orgánicos. Además, se pueden utilizar técnicas de análisis físico, como la granulometría, para evaluar la textura y estructura del suelo. Asimismo, se pueden emplear técnicas de análisis biológico, como la determinación de la actividad microbiana, para evaluar el impacto de la contaminación en la vida del suelo.

### **3.9. Tratamiento Estadístico**

El estudio de la contaminación del suelo y sus efectos sobre el ambiente, se puede realizar un tratamiento estadístico que incluya la recopilación de datos sobre los niveles de contaminantes presentes en diferentes muestras de suelo. Estos datos pueden ser analizados utilizando técnicas estadísticas como el cálculo de medidas de tendencia central, como la media y la mediana, para determinar la concentración promedio de contaminantes en el suelo. Además, se pueden utilizar técnicas de análisis de varianza para comparar los niveles de contaminación entre diferentes áreas geográficas o tipos de suelo. También se pueden realizar pruebas de correlación para evaluar la relación entre la contaminación del suelo y otros factores ambientales, como la actividad industrial o la densidad de población en la zona de estudio.

La tabla "Descriptivos" muestra los diferentes estadísticos descriptivos calculados para la variable "Pb mg/kg". Interpretando los más importantes como la media de la variable "Pb mg/kg" es 1558,71. Desv. Error: El error estándar de la media es 445,889. El 95% de intervalo de confianza para la media: Este intervalo proporciona un rango de valores dentro del cual se espera que se encuentre la verdadera media poblacional con un 95% de confianza. El límite inferior del intervalo es 467,66 y el límite superior es 2649,77.

**Tabla 3.**

Datos descriptivos de la muestra

		Descriptivos		
		Estadístico	Desv. Error	
Pb mg/kg	Media	1558,71	445,889	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	467,66	
		Límite superior	2649,77	
	Media recortada al 5%	1491,13		
	Mediana	1000,00		
	Varianza	1391718,238		
	Desv. Desviación	1179,711		
	Mínimo	480		
	Máximo	3854		
	Rango	3374		
	Rango intercuartil	1543		
	Asimetría	1,520	,794	
	Curtosis	1,849	1,587	

La tabla proporciona los resultados de las pruebas de normalidad realizadas utilizando el estadístico de Kolmogorov-Smirnov y el estadístico de Shapiro-Wilk en relación a los datos de una variable denominada Plomo Pb mg/kg

En el caso de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, el valor del estadístico es 0.281, con 7 grados de libertad, y un p-valor de 0.100. Esto indica que, en base a este test, no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de normalidad de los datos, ya que el p-valor (0.100) es mayor que un nivel de significancia típico de 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis nula, evidenciando que los datos de la muestra siguen una distribución normal, y el estadígrafo para la validación de la hipótesis es la t student.

**Tabla 4.**

Prueba estadística de normalidad de la muestra

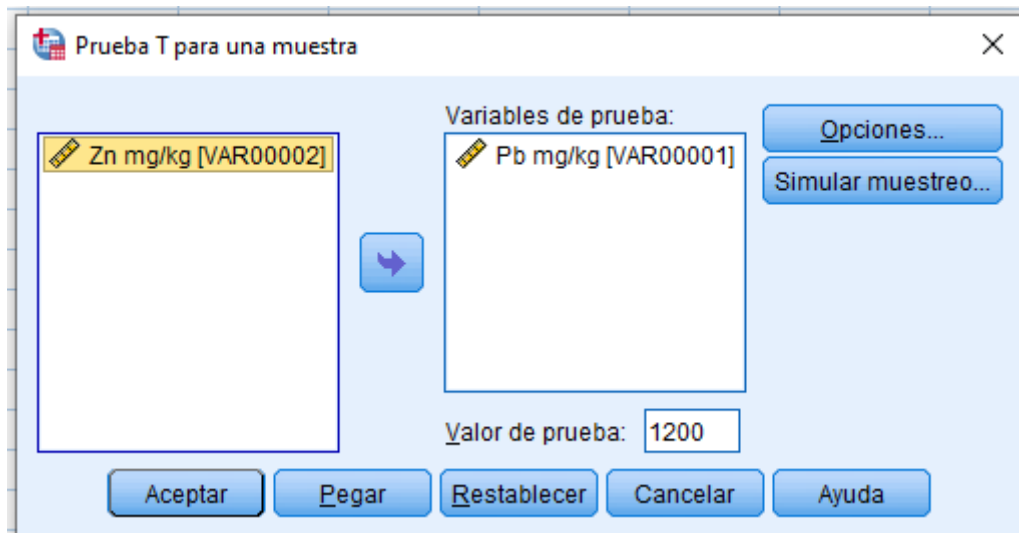
	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pb mg/kg	,281	7	,100	,827	7	,074

a. Corrección de significación de Lilliefors

La figura muestra la manera de trabajo en el programa estadístico SPSS, que permitió realizar la prueba de hipótesis estadísticamente, empleando la prueba t de student para una muestra.

**Figura 4**

**Prueba t Student para una muestra**



**3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

La orientación ética filosófica y epistémica para el estudio de la contaminación del suelo debido a la alteración litológica y su efecto en el ambiente implica una reflexión profunda sobre los valores y principios que guían nuestras acciones en relación con el medio ambiente. Desde una perspectiva ética, es fundamental considerar el respeto y la responsabilidad hacia la naturaleza y las generaciones futuras, reconociendo que la contaminación del suelo tiene consecuencias negativas para la salud humana y el equilibrio ecológico. Desde una perspectiva filosófica, se requiere un análisis crítico de los fundamentos conceptuales y teóricos que sustentan la investigación en este campo, así como una reflexión sobre las implicaciones éticas de los métodos utilizados y los resultados obtenidos. En cuanto a la orientación epistémica, se

debe promover una investigación rigurosa y objetiva, basada en evidencia científica sólida, que permita comprender de manera precisa los procesos de contaminación litogénica y sus efectos en el suelo, con el fin de desarrollar estrategias efectivas de prevención y mitigación.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

Se describe el procedimiento para extraer los resultados de la investigación sobre la relación entre la presencia de minerales pesados debido a la alteración litológica que se viene generando en la contaminación del suelo de la ciudad de Cerro de Pasco, sigue los siguientes pasos:

- A. Se reviso los datos recopilados durante la investigación. Esto puede incluir mediciones de la presencia de minerales pesados como es el caso de la concentración de plomo y zinc, en las muestras de suelo.
- B. Se analiza los datos utilizando métodos estadísticos apropiados. Esto puede incluir el cálculo de correlaciones entre la presencia de minerales pesados y la contaminación del suelo, así como la realización de pruebas de significancia estadística.
- C. Se organiza los resultados en un formato claro y comprensible. Puedes utilizar tablas, gráficos o diagramas para presentar los hallazgos de manera visual.
- D. Se interpreta los resultados. Examina las correlaciones encontradas y determina si son significativas. También analiza la dirección de la relación

entre la presencia de minerales pesados y la contaminación del suelo (por ejemplo, si hay una relación positiva o negativa).

- E. Por último, se resume los resultados en un informe o presentación. Incluye una introducción que describa el objetivo de la investigación, los métodos utilizados y los datos recopilados. Luego, presenta los resultados de manera clara y concisa, respaldados por los análisis estadísticos realizados.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.**

El tajo abierto es una forma de minería a cielo abierto que implica la alteración del suelo y los diferentes estratos de la formación de la corteza terrestre para la extracción de minerales o materiales de la tierra mediante la creación de una gran excavación en la superficie. Este método de minería puede generar diversas fuentes de contaminación que afectan tanto al medio ambiente como a la salud humana. Algunas fuentes significativas de contaminación asociadas a un tajo abierto es la contaminación del aire: Durante la operación de un tajo abierto, se generan grandes cantidades de polvo y partículas finas que pueden ser transportadas por el viento. Estas partículas pueden contener sustancias tóxicas como metales pesados, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y otros contaminantes, lo que resulta en la contaminación del aire en los alrededores. La exposición prolongada a estas partículas puede tener efectos negativos en la salud respiratoria de las personas y la calidad del aire en general.

La minería a cielo abierto implica la remoción de grandes cantidades de suelo y roca, lo que afecta los cuerpos de agua cercanos. Durante el proceso de excavación en presencia de lluvias, se puede generar drenajes ácidos de mina, donde los minerales expuestos reaccionan con el agua y el aire, produciendo aguas ácidas con altas concentraciones de metales pesados. Estas aguas ácidas pueden filtrarse en los acuíferos subterráneos y los cuerpos de agua cercanos, contaminando el agua potable y los ecosistemas acuáticos.



También se puede Alteraciones del paisaje: Un tajo abierto crea una gran cicatriz en el paisaje, modificando permanentemente la topografía y el relieve de zona, lo que se percibe con cambio de la apariencia visual del área. Esto puede tener un impacto negativo en el ambiente, el turismo, la recreación y el valor estético de la zona, además de contribuir a la pérdida de identidad cultural y patrimonio (Intriago Pérez, 2022).

**Figura 5.**

Tajo abierto Raúl Rojas de Cerro de Pasco



La dispersión de sustancias geoquímicas generada por la alteración litológica da origen a la contaminación en el suelo debido a varias actividades, Huaranga Moreno et al. (2021) dice que las actividades industriales, mineras y agrícolas pueden liberar sustancias geoquímicas al medio ambiente, como metales pesados y compuestos tóxicos. Estas sustancias pueden dispersarse en el suelo a través de derrames, vertidos, emisiones atmosféricas, prácticas agrícolas inadecuadas, entre otros, lo que contribuye a la contaminación del suelo. Asimismo, la erosión del suelo puede llevar a la dispersión de sustancias geoquímicas presentes en él. Cuando el suelo es erosionado por las actividades

antropogénicas: Las operaciones mineras a tajo abierto y mina; y naturales como: el viento o el agua, las partículas contaminadas pueden transportarse a otras áreas y depositarse en suelos no contaminados, extendiendo así la contaminación.

También el transporte y deposición atmosférica, (Cueva Cruz & Urquiza Rojas, 2020) menciona que algunas sustancias geoquímicas pueden ser transportadas a largas distancias a través del aire y depositarse en el suelo. Esto puede ocurrir a través de procesos naturales, como la dispersión de partículas volcánicas, o debido a la emisión de contaminantes atmosféricos por actividades antropogénicas, como la quema de combustibles fósiles. Estas sustancias, una vez depositadas en el suelo, contribuyen un efecto a la contaminación y la acumulación a largo plazo: La dispersión continua de sustancias geoquímicas en el suelo, sin una adecuada gestión y remediación, puede llevar a su acumulación a largo plazo. Con el tiempo, estas sustancias pueden alcanzar niveles de toxicidad en el suelo, lo que afecta negativamente a la calidad y la fertilidad del suelo, así como la salud de los organismos que dependen de él.

En la figura se evidencia las dispersiones secundarias originados por la lixiviación, originaron anomalías geoquímicas.

**Figura 6.**

Porcentaje de atención por regiones de la ERC



Algunas muestras se tomaron cerca de las operaciones de la minera de Cerro SAC, una de las razones que se puede explicar por qué las concentraciones son elevadas en cuanto al contenido de plomo y zinc (Cala & Kunimine, 2003).

**Tabla 5.**

Muestras de laboratorio

<b>Suelo</b>	<b>Pb mg/kg</b>	<b>Zn mg/kg</b>
1	480	145
2	860	420
3	3854	247
4	2403	120
5	1360	180
6	1000	265
7	954	300
<b>Prom</b>	<b>1558.7</b>	<b>239.6</b>

Los estándares de calidad ambiental de suelo son criterios establecidos para determinar la calidad o el estado de un suelo en relación con sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estos estándares se utilizan para evaluar la presencia y concentración de contaminantes en el suelo y para

establecer límites aceptables de contaminantes que no deben ser superados para proteger la salud humana y el medio ambiente.

La aplicación de los estándares de calidad ambiental de suelo implica la realización de muestreos y análisis de suelos para determinar la presencia y concentración de contaminantes. Si los resultados de las pruebas revelan que los niveles de contaminantes exceden los estándares establecidos, se considera que el suelo está contaminado y pueden ser necesarias medidas de remediación para reducir los riesgos para la salud y el medio ambiente (Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Para Suelo, 2013)

**Figura 7.**

Estándar de la calidad ambiental para suelo

N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	
<b>II Inorgánicos</b>					
15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
16	Arsénico total (mg/kg MS) <sub>(2)</sub>	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS) <sub>(2)</sub>	750	500	2 000	EPA 3050-B EPA 3051
18	Cádmio total (mg/kg MS) <sub>(2)</sub>	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
19	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
20	Mercurio total (mg/kg MS) <sub>(2)</sub>	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
21	Plomo total (mg/kg MS) <sub>(2)</sub>	70	140	<b>1/200</b>	EPA 3050-B EPA 3051

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

Análisis estadístico de la normalidad al conjunto de datos de la muestra

**Tabla 6.**

Datos descriptivos de la muestra

	Estadísticas para una muestra			
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Pb mg/kg	7	1558,71	1179,711	445,889

Prueba de la hipótesis genera de la investigación empleando el estadígrafo t student

**Tabla 7.**

Prueba de hipótesis de la muestra

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 1200						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Pb mg/kg	,804	6	,452	358,714	-732,34	1449,77

De acuerdo a los estándares de calidad ambiental para suelo decreto supremo N° 002-2013-MINAM no establece los límites para el zinc, ver figura 8.

#### 4.3. Prueba de Hipótesis

$H_0$ : ( $\mu=1200$ ) La contaminación suelo por metales pesados el efecto litológico en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco es significativo.

$H_0$ : ( $\mu\neq 1200$ ) La alteración litológica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco no es significativo.

**Interpretación:** De la tabla el pValor 0.452 es mayor a 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis. Si el valor p es menor que un nivel de significancia se menciona que existe una diferencia significativa entre la media de la muestra y el valor de referencia, en nuestro caso no hay una diferencia significativa, validando que la alteración litológica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco es significativo.

#### 4.4. Discusión de resultados

En la investigación sobre los efectos de la erosión del suelo causada por la actividad minera, la autora Aldana Lizarazo (2023), ha demostrado que la actividad minera intensiva puede tener un impacto significativo en la erosión del suelo. La remoción de la capa superior del suelo durante el proceso de extracción de minerales expone el sustrato subyacente a la acción de los

agentes erosivos, como el agua y el viento. Además, menciona que la erosión del suelo causada por la actividad minera trae consecuencias negativas para el medio ambiente y la biodiversidad. La pérdida de suelo fértil y la degradación de los ecosistemas locales pueden afectar la capacidad de la tierra para sustentar la vida vegetal y animal. Esto puede tener un impacto directo en la seguridad alimentaria y la salud de las comunidades locales que dependen de la agricultura y la ganadería. Asimismo, refiere que la erosión del suelo causada por la actividad minera tiene efectos a largo plazo. La degradación del suelo puede persistir durante décadas e incluso siglos, lo que dificulta la recuperación de los ecosistemas afectados. Además, la erosión del suelo puede contribuir a la contaminación del agua y la pérdida de hábitats acuáticos, lo que afecta aún más la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

El plomo es conocido por tener efectos tóxicos en varios sistemas del cuerpo humano, incluido el sistema nervioso, pero también afecta a los riñones. El efecto nefrotóxico del plomo se refiere a su capacidad para dañar los riñones y afectar su función normal. Esto puede ocurrir cuando una persona está expuesta a niveles altos de plomo durante un período prolongado. Esta sustancia ingresa al cuerpo principalmente a través de la ingestión de alimentos o agua contaminados, o por inhalación de polvo o vapores que contienen plomo. Una vez en el cuerpo, el plomo se distribuye ampliamente en los tejidos, incluidos los riñones y se entienda a estos órganos responsables de filtrar y eliminar los desechos y toxinas del cuerpo a través de la producción de orina. Cuando el plomo se acumula en los riñones, puede dañar las células renales y afectar su capacidad para funcionar correctamente (Brien, 2022).

Respecto a los efectos nefrotóxicos del plomo el estudio de Brien (2022), dice sobre el daño a los glomérulos ver figura 8, lo que puede llevar a la disminución de la capacidad de filtración de los riñones, además de contribuir a la formación de cálculos renales al interferir con la capacidad de los riñones para

eliminar sustancias de desecho. Estos cálculos pueden obstruir el flujo de orina y causar dolor y otros problemas, generando una enfermedad renal crónica por la exposición a esta sustancia, una condición en la que los riñones pierden gradualmente su capacidad para funcionar correctamente, por eso es importante tener en cuenta que la gravedad del efecto nefrotóxico del plomo puede variar según la duración y la cantidad de exposición, así como la edad y la salud general de la persona afectada. La prevención de la exposición al plomo es fundamental para evitar estos efectos adversos en los riñones y otros órganos del cuerpo.

**Figura 8.**

Atenciones externas por enfermedades renales



*Nota.* Análisis de la enfermedad renal crónica en el Perú año 2015

## CONCLUSIONES

Los estándares para usos del suelo, en los parámetros inorgánicos se menciona al cianuro, Arsénico, bario, cadmio, Cromo, mercurio y plomo, no se considera al zinc, cobre y níquel cuyos elementos son más comunes cuando se realiza una actividad minera, además se categoriza en suelo agrícola (40), residencial (140) y comercial industrial (1200) para plomo, se compara con el valor máximo dado que la media es 1558.7, validando la hipótesis de la investigación.

Se ha observado que la presencia de minerales pesados en el suelo está directamente relacionada con la contaminación por la actividad minera en la ciudad. Además, se ha encontrado que la concentración de estos minerales pesados en el suelo afecta negativamente la calidad del suelo y la salud de los ecosistemas, por su naturaleza que son tóxicos para la salud y las plantas

Mediante la revisión bibliográfica se ha demostrado que la actividad minera intensiva puede tener un impacto significativo en la erosión del suelo. La remoción de la capa superior del suelo durante el proceso de extracción de minerales expone el sustrato subyacente a la acción de los agentes erosivos, como el agua y el viento.

Las emisiones de gases y residuos de las industrias pueden contener altas concentraciones de metales pesados como plomo, mercurio, cadmio y arsénico, los cuales pueden acumularse en el suelo a lo largo del tiempo, corroborando que la remediación de la contaminación del suelo por metales pesados es un desafío complejo y costoso. Los métodos tradicionales de remediación, como la excavación y el tratamiento químico, pueden ser efectivos, pero también pueden causar daños adicionales al medio ambiente.



## **RECOMENDACIONES**

Es necesario tomar medidas para controlar y reducir la presencia de minerales pesados en el suelo, a fin de prevenir la contaminación y proteger el medio ambiente.

Es importante tomar medidas para minimizar y mitigar estos efectos, como implementar prácticas de restauración del suelo y promover la minería responsable y sostenible.

Es necesario desarrollar y aplicar técnicas de remediación más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, como la fitoextracción y la bioestabilización, que utilizan plantas y microorganismos para eliminar o reducir la concentración de metales pesados en el suelo.

Es necesario implementar medidas de mitigación y restauración para minimizar los efectos negativos de la explotación de canteras en la calidad del suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana Lizarazo, K. G. (2023). *Análisis multitemporal de la erosión producida por la explotación minera a cielo abierto en Soacha, Cundinamarca*. Universidad Antonio Nariño.
- Brien, F. (2022). *Nefropatía por metales pesados*. Manual MSD. <https://www.msmanuals.com/es/professional/trastornos-urogenitales/enfermedades-tubulointersticiales/nefropat%C3%ADa-por-metales-pesados>
- Cala, V., & Kunimine, Y. (2003). DISTRIBUCIÓN DE PLOMO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL ENTORNO DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE BATERÍAS ÁCIDAS. *Contaminación Ambiental*, 3. Criado, M., Alonso Rojo, P., & Santos Francés, F. (2018). El papel de la geología en la determinación de los niveles de referencia para la evaluación de la contaminación del suelo. *GEOGACETA*, 131-134. Obtenido de [https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo64/geo64\\_33.pdf](https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo64/geo64_33.pdf)
- Cueva Cruz, J., & Urquiza Rojas, N. (2020). Presencia de Metales Pesados (Cadmio y Mercurio) bajo distintos usos del Suelo en la Comunidad Boayacu Perteneciente a la Parroquia Teniente Hugo Ortiz. Universidad Estatal Amazónica.
- Fernando, M. S. (1982). Contaminación química, ligada a la litología, en los acuíferos situados al S. del casco urbano de Madrid. En *Anales de Geografía de la Univ. complutense* (págs. 207-215). Madrid: Ed. tiniv. complutense.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In *Mc Graw Hill* (Vol. 1, Issue México).
- Huaranga Moreno, F., Rodríguez Rodríguez, E., Méndez García, E., & Bernuí Paredes, F. (2021). Especies bioindicadores de contaminación por relaves mineros en el Sector Samne, La Libertad-Perú, 2021. *Arnaldoa*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28310>

Intriago Pérez, K. (2022). Diagnostico Sedimentario Actual, En Relación A La Presencia De Metales Pesados En Los Sedimentos Del Bosque De Manglar De La Reserva Ecológica Manglares Cayapas – Mataje (Remacam). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, El peruano (2013).

Millán, F., Prato, J. G., G. M., Díaz, I., & Sánchez Molina, J. (2013). Adsorción de iones  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  por materiales litológicos de carga variable provenientes de suelos del estado Mérida, Venezuela. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zuli*, 195-201.

Pastor Berasategui, N. (2016). *Influencia de la litología en el comportamiento hidrofóbico en suelos de baja pendiente con cultivo de Eucalyptus globulus. Costa Asturiana*. Asturias: Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo.

Santos Sanche, G. (2017). Validez y confiabilidad del cuestionario de calidad de vida SF-36 en mujeres con LUPUS, Puebla. In *Benemérita Universad Autónoma de Puebla*.

Criado, M., Alonso Rojo, P., & Santos Francés, F. (2018). El papel de la geología en la determinación de los niveles de referencia para la evaluación de la contaminación del suelo. *GEOGACETA*, 131-134. Obtenido de [https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo64/geo64\\_33.pdf](https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo64/geo64_33.pdf)

Fernando, M. S. (1982). Contaminación química, ligada a la litología, en los acufferos situados al S. del casco urbano de Madrid. En *Anales de Geografía de la Univ. complutense* (págs. 207-215). Madrid: Ed. tiniv. complutense.

Millán, F., Prato, J. G., G. M., Díaz, I., & Sánchez Molina, J. (2013). Adsorción de iones  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  por materiales litológicos de carga variable provenientes de suelos del estado Mérida, Venezuela. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zuli*, 195-201.

Pastor Berasategui, N. (2016). Influencia de la litología en el comportamiento hidrofóbico en suelos de baja pendiente con cultivo de *Eucalyptus globulus*. Costa Asturiana. Asturias: Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo.

Vázquez Bernal, C. L., & Mora López, H. J. (2012). Construcción de un modelo de distribución de facies litológicas utilizando una correlación litoestratigráfica de alta resolución. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C., 1-4.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Validación del instrumento por juicio de expertos



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

### FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

#### I. DATOS GENERALES

**1.1. Apellidos y Nombres del informante:**

Jose Luis SOSA SANCHEZ

**1.2. Grado Académico:**

Maestro en Gestión del Sistema Ambiental

**1.3. Cargo e institución donde labora:**

Docente de la Facultad de Ingeniería de la UNDAC

**1.4. Título de Investigación:** "Contaminación litogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco"

**1.5. Autor del Instrumento:**

**1.6. Nombre del Instrumento:** Ficha de Observación

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 - 20 %	Regular 21 - 40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61 - 80%	Excelente 81 - 100%
CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado y formulas exactas					X
OBJETIVIDAD	Cumple su fin de determinar la calidad del Agua					X
ACTUALIDAD	Usa instrumentos y métodos actuales					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					X
INTENCIONALIDAD	Es adecuado para poder determinar los aspectos del estudio					X
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos científicos				X	
COHERENCIA	Lleva relación cada aspecto la tabla				X	
METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito de la investigación				X	
OPORTUNIDAD	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías.					X

**II. PROMEDIO DE VALIDACIÓN:**

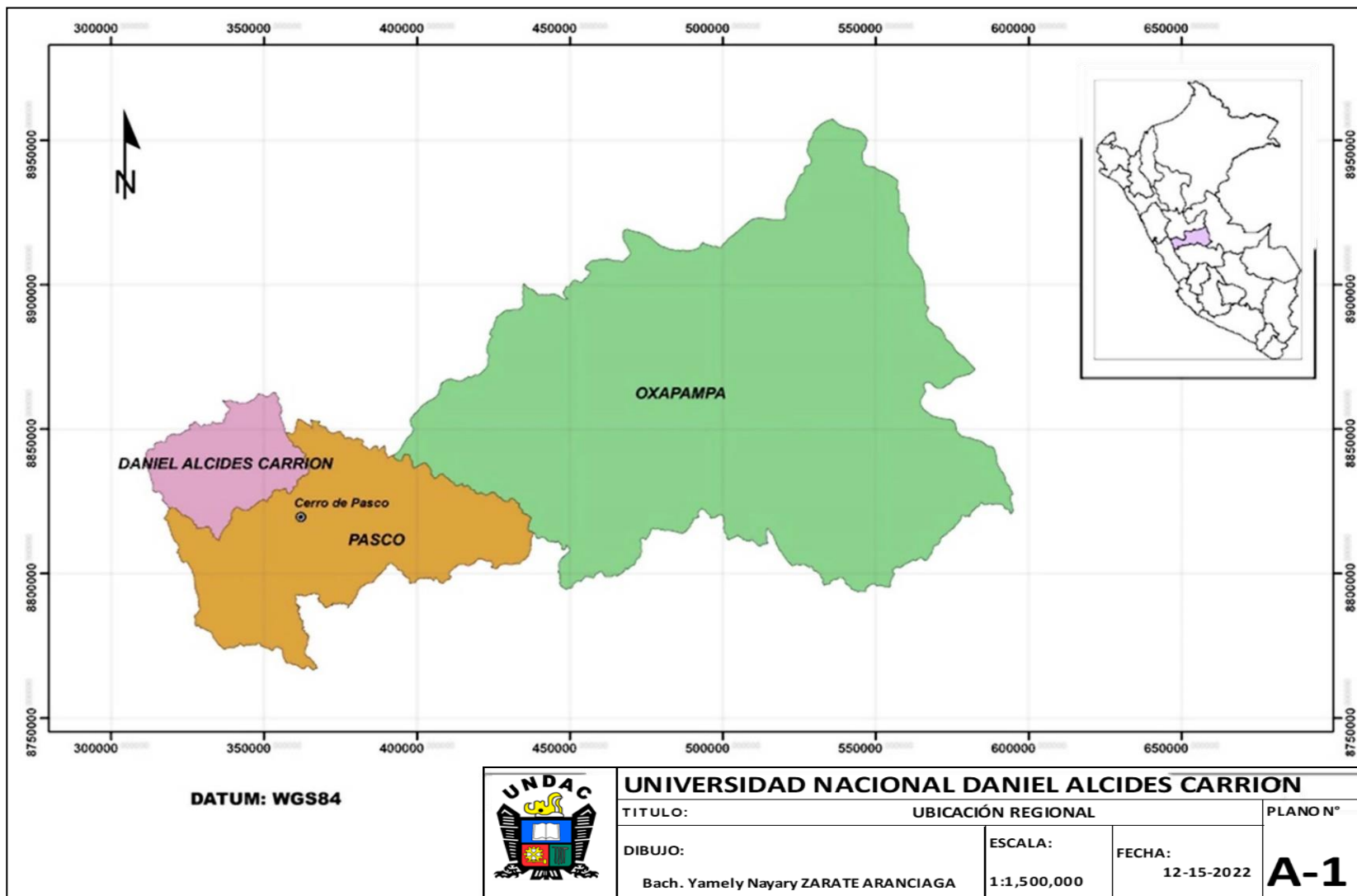
**92% CON UNA CALIFICACIÓN EXCELENTE**

**V. OPINION DE APLICACIÓN:**

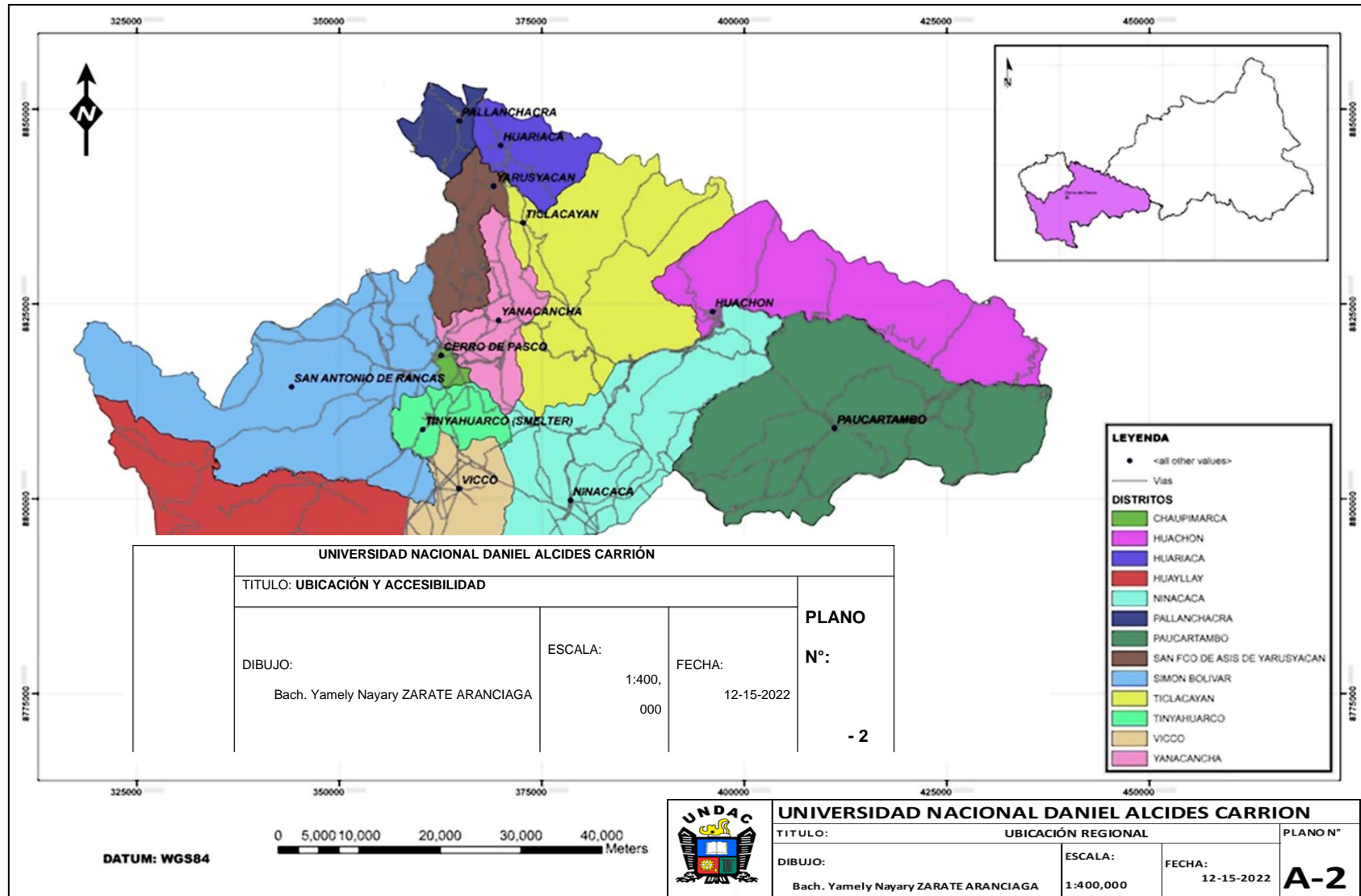
**NINGUNA**

Cerro de Pasco, julio del 2023	41433659	 Mg. Jose Luis Sosa Sanchez INGENIERO DIP. 137462	929915267
Lugar y Fecha	N° DNI	Firma de Experto	N° Celular

## Anexo 2. Plano de ubicación

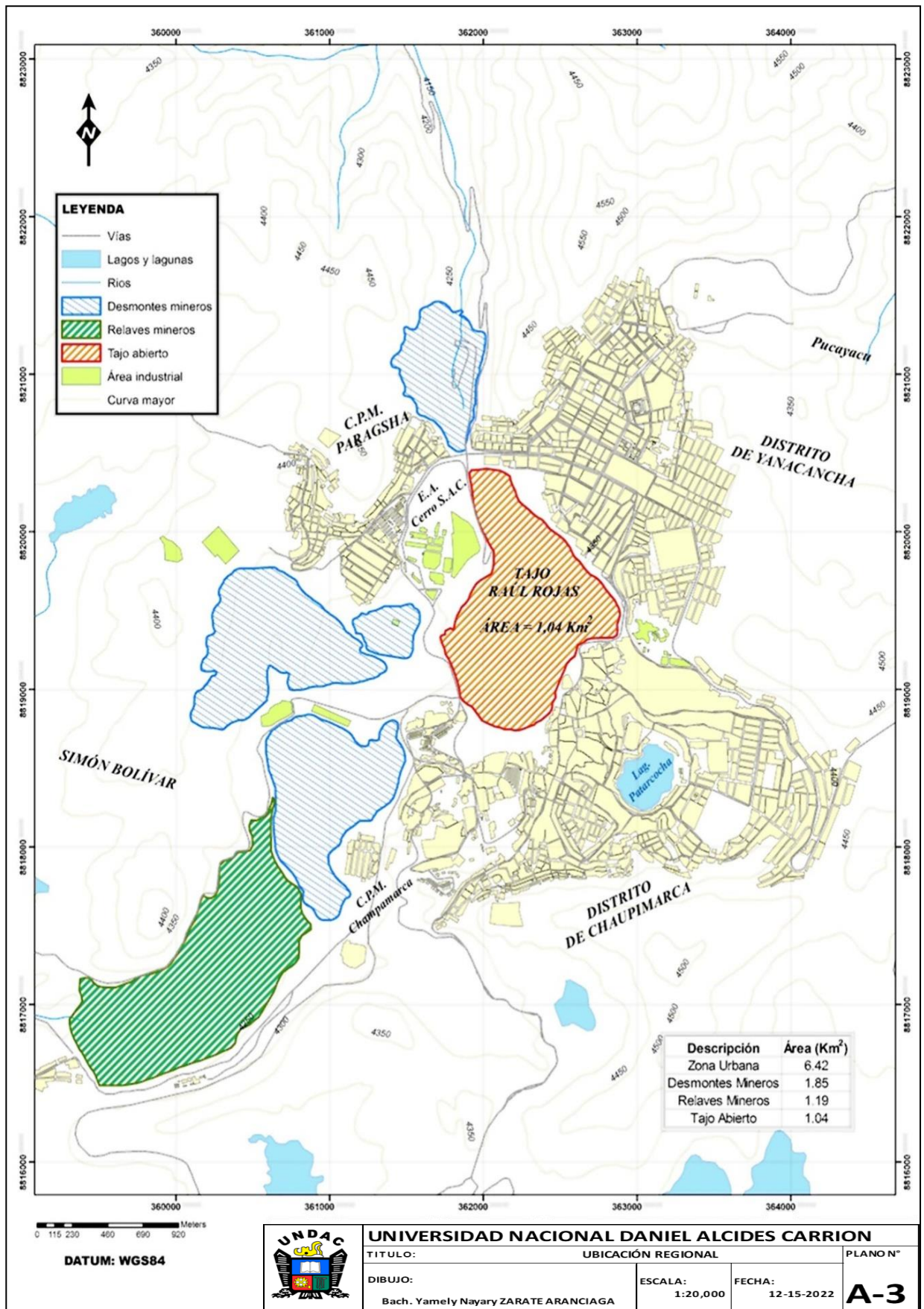


### Anexo 3. Plano de accesibilidad

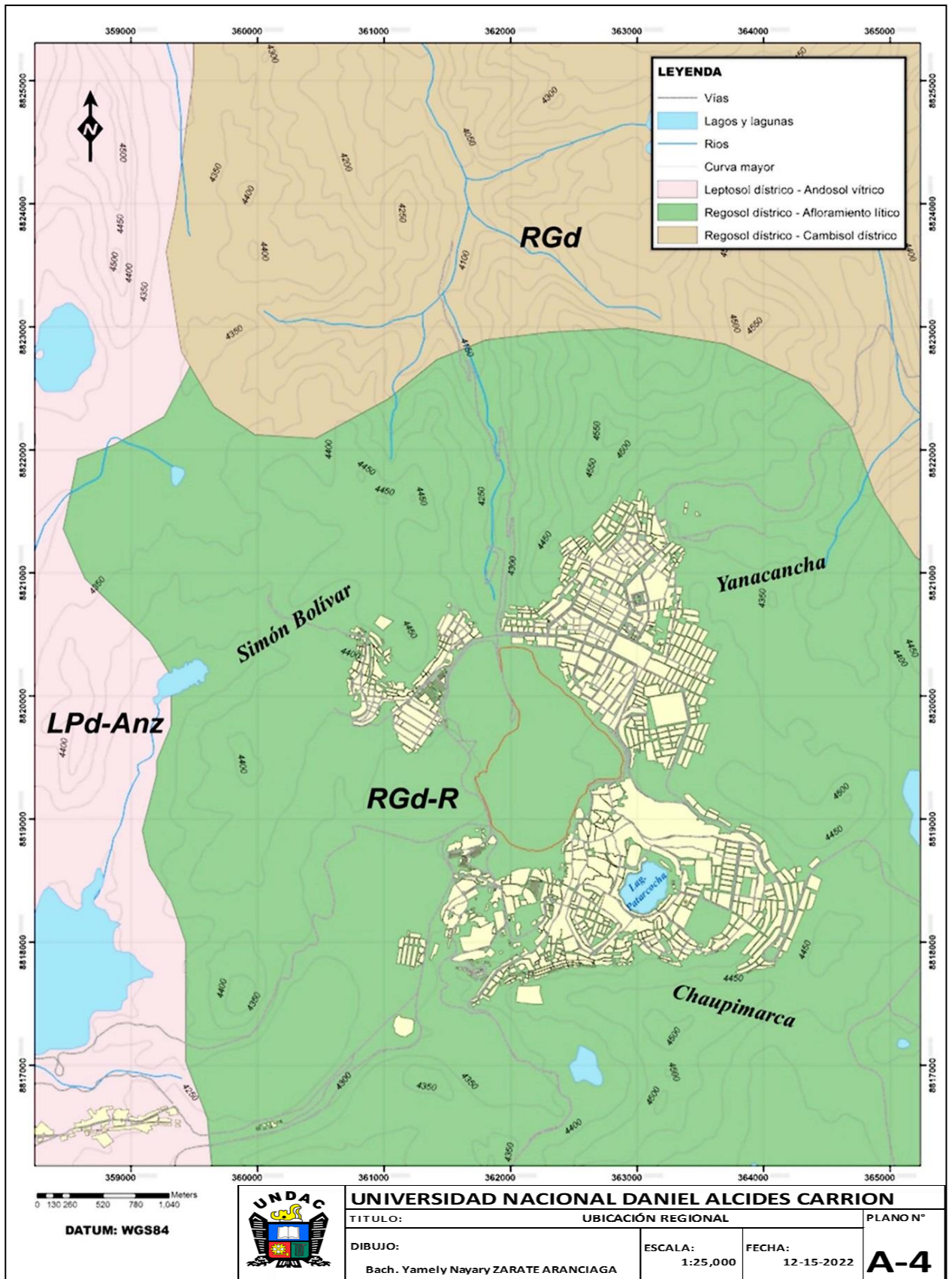




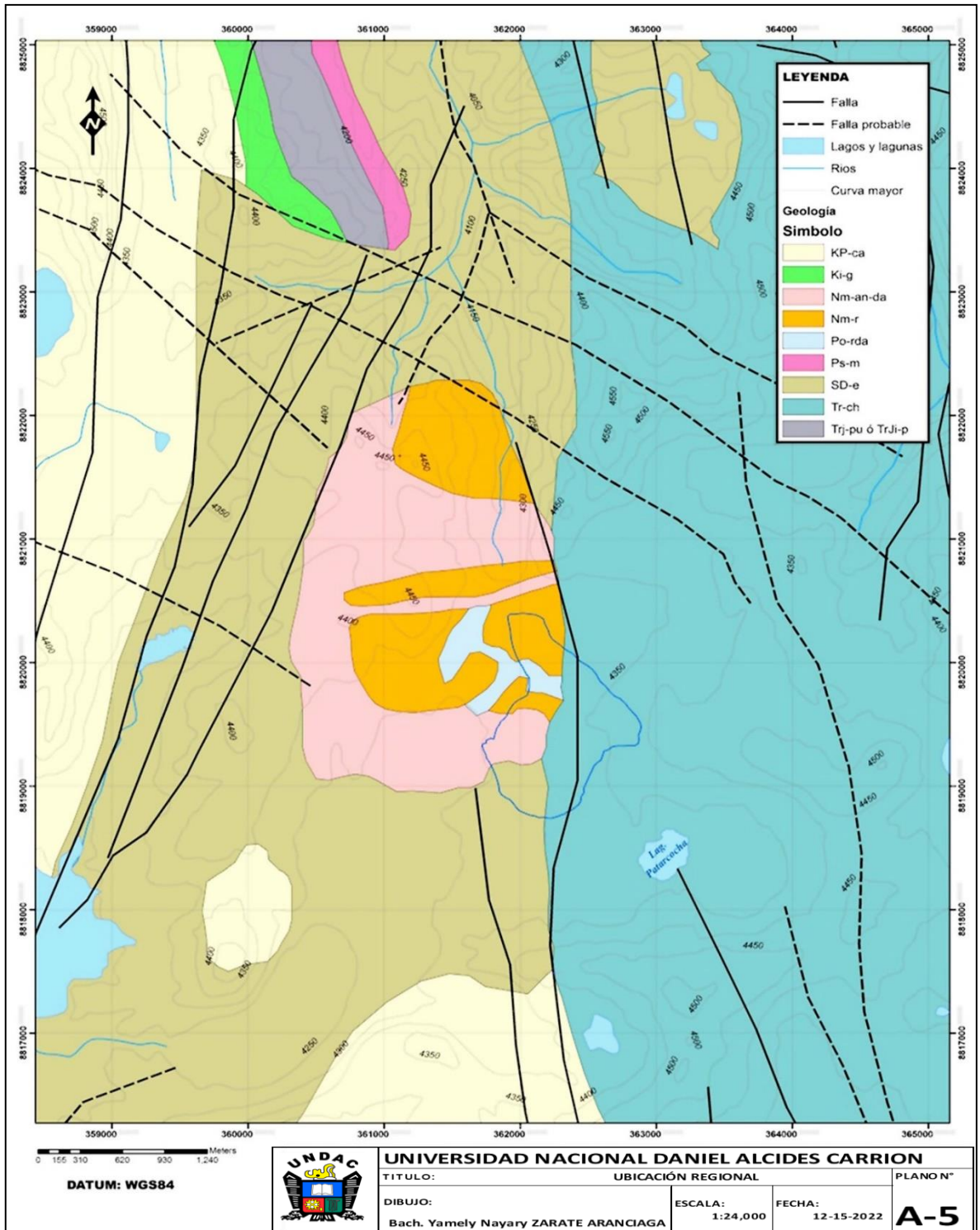
## Anexo 4. Plano de ubicación de la ciudad



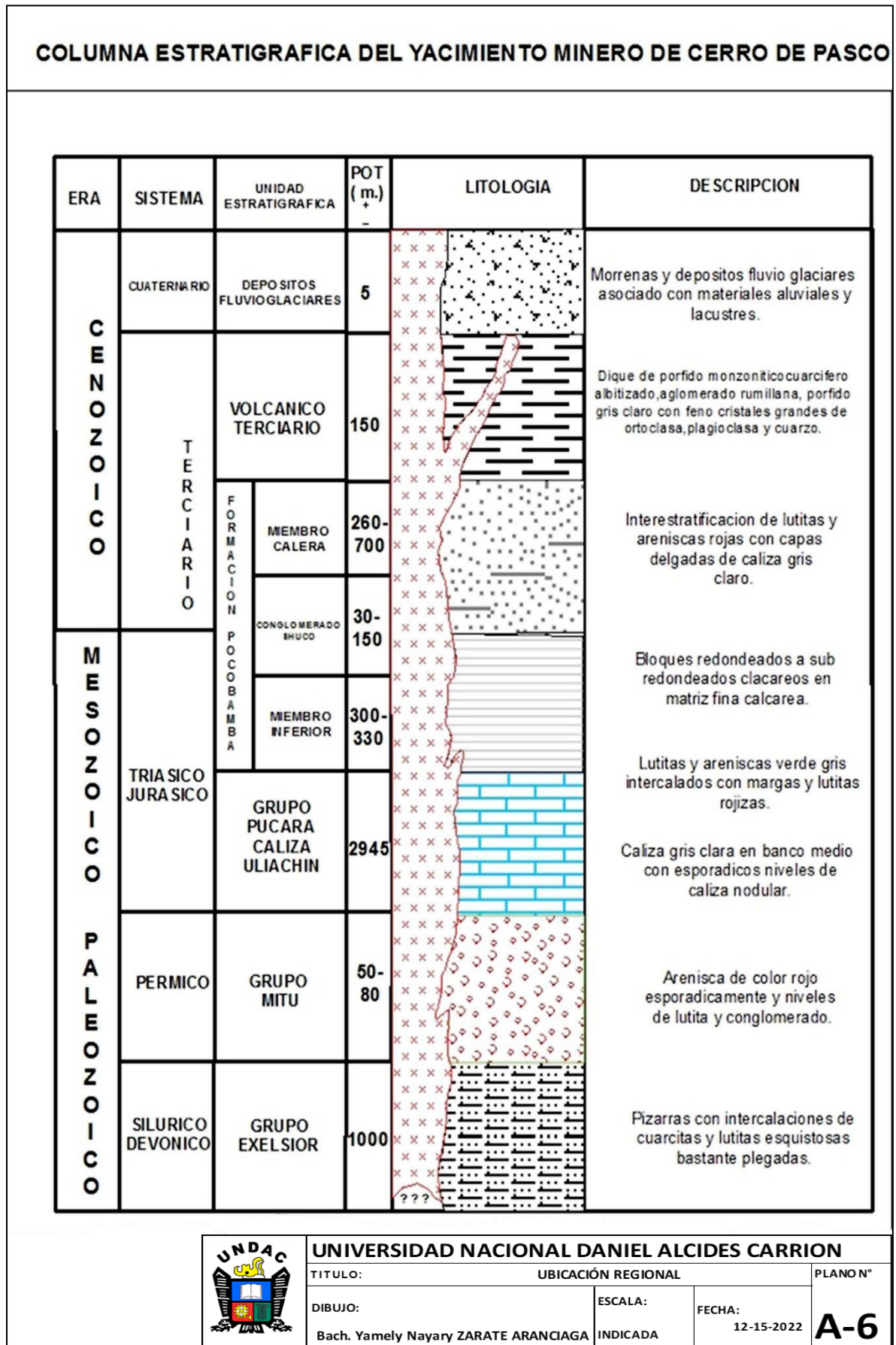
## Anexo 5 Plano de la clasificación natural de los suelos



## Anexo 6. Segundo plano de la clasificación de los suelos



Anexo 7. Plano de estratificación de suelos de la ciudad



**Anexo 8. Toma de muestras de suelo**



**Anexo 9. Segunda toma de muestra de suelo**



## Anexo 10 Matriz de consistencia

**Título:** Contaminación litogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADISTICA
<b>Problema General</b> ¿Como es la contaminación litogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco?	<b>Objetivo General</b> Evaluar la contaminación litogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco	<b>Hipótesis General</b> La contaminación litogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco, es significativa	<b>V.I</b> Contaminación litogénica	<b>Población</b> Concentraciones de metales pesados en el suelo	<b>Método</b> Hipotético - deductivo	Estadística Inferencial
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>V.D</b>	<b>Muestra</b>	<b>Nivel de investigación</b>	<b>Validación de hipótesis</b>
¿Cuáles son las concentraciones de metales pesados en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco?	Determinar las concentraciones de metales pesados en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco	Las concentraciones de metales pesados en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco son significativas			Explicativo	Pruebas paramétricas
¿Cuál es el estándar de la calidad ambiental para el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco?	Determinar el estándar de la calidad ambiental para el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco	El estándar de la calidad ambiental para el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco cumple la normativa	Efecto en el suelo de la ciudad	Muestreo intencionado no probabilístico	<b>Diseño</b>	T student
¿Cómo comparar las concentraciones de los metales pesados con el estándar de la calidad de suelo de la ciudad de Cerro de Pasco?	Comparar las concentraciones de los metales pesados con el estándar de la calidad de suelo de la ciudad de Cerro de Pasco	La comparación de las concentraciones de los metales pesados con el estándar de la calidad de suelo de la ciudad de Cerro de Pasco, es significativo			No experimental	

**Título:** Contaminación litogénica y su efecto en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco