

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA,
AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“INFLUENCIA DEL COMPLEJO METALÚRGICO LA OROYA EN
LA CALIDAD DEL SUELO POR METALES PESADOS, CIANURO
LIBRE Y CROMO HEXAVALENTE EN LA ZONA DE
HUAYNACANCHA, DISTRITO DE LA OROYA, PROVINCIA DE
YAULI, DEPARTAMENTO DE JUNÍN”**

TESIS PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

PONCE BRAVO DIANTHONY LUIS

ASESOR

DR. VALVERDE TORRES ELÍAS ALFONSO

JURADOS

DR. ZAMORA TALAVERANO NOE SABINO

MG. GUILLEN LEÓN ROGELIA

MG. ZUÑIGA DÍAZ WALTER BENJAMÍN

ING. ROJAS LEÓN GLADYS

LIMA – PERÚ

2018

PENSAMIENTOS

El conocimiento no es una vasija que se llena, sino un fuego que se enciende.

Plutarco.

Cada día sabemos más y entendemos menos.

Albert Einstein.

En algún lugar, algo increíble está esperando ser conocido

Carl Sagan

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de vida y fortaleza.

A mi padre el Ing. Jorge Ponce Pio, quien me enseñó que la perseverancia y el enfocarse en lo más alto te hacen mejor ser humano y profesional.

A mi madre Bertha Bravo Quintana, por ser mi inspiración para alcanzar mis sueños, por darme fortaleza en los momentos difíciles de la vida y por brindarme su infinito amor siempre.

A mis hermanas Nadia, Diana y Patricia, quien me enseñaron que la familia es lo primero antes que todo.

A mi hija Luciana Ponce Valdivia por ser la luz de mis ojos y mi motivo de vivir.

Y a mi mejor amiga Celeste del Pilar Valdivia Huillca, que con su paciencia y apoyo incondicional hizo de mí una gran persona.

AGRADECIMIENTO

A la alta dirección de los Ministerios del Ambiente y de Energía y Minas por las facilidades brindadas para recabar la información necesaria reflejada en el presente trabajo de investigación.

Al Dr. Elías Alfonso Valverde, quien fue mi asesor de tesis, por compartir su valiosa experiencia y guiarme a lo largo de este importante proceso de investigación; este trabajo de investigación no hubiera llegado a su culminación sin el valioso apoyo y la confianza que me han prestado de forma gentil y desinteresada tantos profesores, familiares y colegas a quienes quiero expresar mi gratitud.

También una gran gratitud por su apoyo incondicional a mi hermana Diana Ponce Bravo que siempre está ahí colaborándome en todo para así poder culminar con mis metas.

A todos ellos mi reconocimiento e infinita gratitud.

Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la calidad del suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha; ubicado en el Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín. Así como también, determinar las concentraciones de los parámetros inorgánicos, parámetros fisicoquímicos, tipo de distribución espacial y el impacto ambiental causados en el suelo.

Este estudio ha sido diseñado bajo un sistema no experimental – transeccional descriptivo y un nivel de investigación descriptivo – correlacional basado en la metodología descrita por la Guía para el Muestreo de Suelos, Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos, Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, Soil Survey Manual y Soil Taxonomy.

Los resultados nos revelaron que existen concentraciones excesivas de As, Cd, Cu, CN Libre, Pb, Se y Zn en el área de estudio; con valores máximos de 1192 mg/kg, 48 mg/kg, 737 mg/kg, 11.8 mg/kg, 7834 mg/kg, 129 mg/kg, 8.9 mg/kg y 8409 mg/kg respectivamente. Asimismo se determinó que el suelo es extremadamente ácido presentando un pH medio de 3.48, baja cantidad de sales minerales de entre 0.22 a 0.76 mS/cm, un contenido ligero de CaCO₃ con un valor medio de 0.45 %, textura franco arenosa, una CIC baja con una media de 10.65 cmol/kg, además contenían bajas cantidades de MO y P así como cantidades medias de K, con valores medios de 1.51 %, 6.52 mg/kg y 195.52 mg/kg respectivamente. Los mapas de distribución espacial indicaron puntos con alta concentración de metales pesados, adyacentes a los Centros Poblados de Curipata y Huaynacancha y en la parte alta del área de estudio. El I_{geo} indicó que el suelo del área de estudio se encuentra de moderado a fuertemente contaminado por Cd, Cr, Hg, Pb y Zn; y que se encuentran severamente enriquecidos por Cd, Hg, Pb y Zn según el FE; además, el S_oQI determinó que estos suelos tienen un nivel de preocupación alto a muy alto por la salud pública y el ecosistema, por lo que la calidad del suelo es muy mala.

Por lo anterior; se concluyó que la mala calidad del suelo en el área de estudio (zona Huaynacancha) influenciado por el Complejo Metalúrgico de la Oroya, son el resultado de la acumulación de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo, por causa de la deposición atmosférica continua de material particulado rico en estos elementos y la precipitación de lluvia acida en el suelo; hecho que ha influenciado drásticamente en los cambios fisicoquímicos del suelo.

Palabras Clave: metales pesados, contaminación del suelo, contaminación del aire, fundición y refinería.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the influence of the La Oroya Metallurgical Complex on the quality of the soil by heavy metals, free cyanide and hexavalent chromium in the Huaynacancha area; located in the District of La Oroya, Province of Yauli, and Department of Junín. As well as, determine the concentrations of the inorganic parameters, physicochemical parameters, type of spatial distribution and the environmental impact caused in the soil.

This study has been designed under a non - experimental descriptive - transectorial system and a level of descriptive - correlational research based on the methodology described by the Soil Sampling Guide, Regulation for the Execution of Soil Survey, Regulation of Land Classification by Its Greater Use Capacity, Soil Survey Manual and Soil Taxonomy.

The results revealed that there are excessive concentrations of As, Cd, Cu, Free CN, Pb, Se and Zn in the study area; with maximum values of 1192 mg / kg, 48 mg / kg, 737 mg / kg, 11.8 mg / kg, 7834 mg / kg, 129 mg / kg, 8.9 mg / kg and 8409 mg / kg respectively. Likewise, it was determined that the soil is extremely acid with an average pH of 3.48, a low amount of mineral salts between 0.22 and 0.76 mS / cm, a light content of CaCO₃ with an average value of 0.45%, a sandy loam texture, a low CEC with an average of 10.65 cmol / kg, they also contained low amounts of MO and P as well as average quantities of K, with mean values of 1.51%, 6.52 mg / kg and 195.52 mg / kg respectively. The maps of spatial distribution indicated points with a high concentration of heavy metals, adjacent to the Curipata and Huaynacancha Centers and in the upper part of the study area. The Igeo indicated that the soil of the study area is moderately to heavily contaminated by Cd, Cr, Hg, Pb and Zn; and that are severely enriched by Cd, Hg, Pb and Zn according to the FE; In addition, the SoQI determined that these soils have a high to very high level of concern for public health and the ecosystem, so the quality of the soil is very poor.

For the above; It was concluded that the poor quality of the soil in the study area (Huaynacancha zone) influenced by the La Oroya Metallurgical Complex, are the result of the accumulation of heavy metals, free cyanide and hexavalent chromium in the soil, due to deposition continuous atmospheric particulate material rich in these elements and the precipitation of acid rain on the ground; fact that has drastically influenced the physicochemical changes of the soil.

Keywords: heavy metals, soil contamination, air pollution, smelting and refining.

INTRODUCCIÓN

Las fundiciones de minerales son causantes del deterioro de los recursos existentes en las áreas vecinas (Buchauer, 1973; Pettersson, 1976; Miller & Mc-Fee, 1983). Pues, los elementos particulados, emitidos por estas industrias, aportan gran cantidad de metales pesados, los que, incorporándose al ambiente por diversos caminos, pueden disminuir la productividad de un área y la calidad de vida (Pettersson, 1976).

Asimismo, las industrias especializadas en el proceso de metales (siderurgias y metalurgias) pueden emitir partículas de dimensiones micrométricas, que son fácilmente transportables por el viento a grandes distancias y causar problemas en la salud de los pobladores (Csuros & Csuros, 2002), ya que existe preocupación a nivel mundial con relación a la contaminación por transporte atmosférico de metales pesados a gran escala, debido a su capacidad de asociación a masas de aire por efectos de la recirculación de los vientos, dichos metales tienden a depositarse en áreas alejadas a su fuente de origen (Imperato et al. 2003).

Estos metales, generalmente se acumulan en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos (Baird, 1999). La persistencia de estos metales pesados en los suelos es mucho mayor que en cualquier otro medio de la biosfera y la contaminación que producen resulta permanente. Por otra parte, su carácter tóxico y acumulativo ocasiona graves daños en plantas, animales y en el hombre (Morgan et al., 1993; Aoyama & Kuroyanagi, 1996). Ramos et al., (2001) mencionaron que, los metales acumulados en la superficie del suelo disminuyen lentamente, debido al consumo por las plantas y la erosión, entre otros procesos. Asimismo Grytsyuk et al., (2006), indicaron que en las plantas cultivadas, el proceso de acumulación de metales pesados es de especial interés debido a que podrían incorporar a la cadena alimenticia elementos potencialmente peligrosos para la salud del ser humano.

En general, la distribución de estos metales está influenciada por la naturaleza de los materiales originales, el clima y su movilidad relativa según los parámetros del suelo, como la mineralogía, la textura y la clasificación del suelo (Krishna & Govil 2007). Se encuentran aumentos significativos en el contenido de metales del suelo,

en áreas de alta actividad industrial, donde la acumulación puede ser varias veces mayor que el contenido promedio en áreas no contaminadas. Además, las áreas distantes de los centros industriales también muestran concentraciones mayores de metales debido al transporte atmosférico de largo alcance. Este hecho ha sido observado por numerosos autores (Jonathan et al., 2004, Wilson et al., 2005, Omar Al-Khashman, 2004).

Sabemos que, La Oroya es considerada la “Capital Metalúrgica de América del Sur”, y el Complejo Metalúrgico de La Oroya, ubicada a una altitud de 3740 m.s.n.m, es el centro metalúrgico de fundición y refinación más grande y antiguo del Perú, siendo el eje económico de la ciudad, posee principalmente tres circuitos metalúrgicos: el de Cobre, que opera desde 1922; el de plomo, que opera desde 1928; y el de zinc que opera desde 1952. Estos circuitos incluyen procesos de fundición y refinado de los metales de principal producción, como también algunos otros procesos para la producción de otros metales (Barrios, 2008).

Esta industria que funcionó aproximadamente 90 años ha contaminado el ecosistema a su alrededor, emitiendo a la atmósfera grandes cantidades de dióxido de azufre (SO₂) y elementos particulados ricos en metales pesados; por lo que es posible que estos contaminantes se hayan depositado en los suelos adyacentes a estas industrias, siendo arrastrados por el viento a grandes distancias y estos a su vez hayan sido asimilados por las especies vegetales y el suelo, según lo indicado anteriormente.

Debido a esto, la presente investigación consiste en determinar la influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la calidad del suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha, Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín. Asimismo, determinar las concentraciones de los parámetros inorgánicos y fisicoquímicos presentes en el suelo; el tipo de distribución espacial para cada elemento analizado; y evaluar el impacto ambiental según el Índice de Geoacumulación (I_{geo}), Factor de Enriquecimiento (FE) e Índice de la Calidad del Suelo (S_oQI).

El presente trabajo se estructura en (6 capítulos). En el Capítulo I, se desarrolla los aspectos metodológicos de la investigación, involucrando a los antecedentes

referidos al problema a investigar, así como la formulación y descripción del mismo, se indican los objetivos, hipótesis, variables, justificación e importancia. En el Capítulo II, se presenta el marco teórico sobre los conceptos de contaminación ambiental, del aire y del suelo, cada uno con sus descripciones; así como también las formas de análisis de la calidad del suelo y del aire; y por último, la base teórica del impacto ambiental en función de los niveles de contaminación. En el Capítulo III, se detalla los equipos y materiales utilizados, así como también el diseño, nivel de investigación y la metodología que se usó para tal fin. En el Capítulo IV, se desarrolla una descripción completa del área de estudio como la ubicación, localización geográfica, aspectos físicos, biológicos; así como también, aspectos generales del proceso industrial (minero – metalúrgico) del Complejo Metalúrgico de La Oroya y la gestión ambiental que se desarrolla en esta zona industrial. En el Capítulo V, se presenta los resultados de las concentraciones de los metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo; las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos como el potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, materia orgánica, fosforo, potasio, textura, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables y saturación de bases en el suelo; asimismo se presenta el tipo de distribución espacial mediante mapas temáticos de los parámetros analizados anteriormente y el impacto ambiental causado en el suelo por la actividad minero – metalúrgico del Complejo Metalúrgico de La Oroya; por último se presenta el análisis estadístico de correlación de variables entre los diferentes usos del suelo y la producción polimetálica del CMLO. En el capítulo VI, se desarrolla la discusión de resultados haciendo una comparación con otras investigaciones de la bibliografía encontrada, así mismo se realiza un análisis de rechazo y aceptación de las hipótesis proyectadas.

CAPÍTULO I

ASPECTOS METODOLÓGICOS

1. Antecedentes.

En el presente capítulo se expondrá una breve reseña de las más relevantes investigaciones realizadas que sustentan los planteamientos de esta tesis.

1.1 Antecedentes a nivel internacional.

Xiao Qing et al. (2015); en su artículo sobre: “Evaluación de la contaminación por metales pesados y el riesgo para la salud humana en los suelos urbanos de la ciudad industrial del acero (Anshan), Liaoning, Noreste de China”. Determinaron que la concentración media de Cr, Cd, Pb, Zn, Cu y Ni fue de 69.9, 0.86, 45.1, 213, 52.3 y 335 mg/kg, respectivamente. Los valores del Índice de Geoacumulación (I_{geo}) e Índice de Carga de Contaminación (PLI) de los metales pesados estaban en el orden descendente de Cd > Zn > Cu > Pb > Ni > Cr. Un mayor valor de I_{geo} para el cadmio en el suelo indicó que la contaminación por este metal fue moderada. El PLI indicó que los suelos urbanos estaban moderadamente a altamente contaminados por Cd, Zn, Cu y Pb. Los mapas de distribución espacial de metales pesados revelaron que los distritos industriales de acero eran los puntos calientes de contaminación. El Análisis de Componentes Principales (PCA) y el Análisis de Conglomerados Matriciales (MCA) clasificaron los metales pesados en dos grupos, indicando fuentes industriales comunes para Cu, Zn, Pb y Cd. Asimismo, los sitios de muestreo dentro del distrito industrial de acero mostraron concentraciones mucho más altas de metales pesados en comparación con el resto de sitios de muestreo, lo que indica una contaminación significativa introducida por la industria siderúrgica en los suelos.

Bohdan Kríbek et al. (2015); en su artículo sobre: “Contaminación del suelo y la hierba en la zona de fundición de Tsumeb, Namibia: Modelización de la dispersión de contaminantes y verificación geoquímica del terreno”. Determinaron que los resultados del modelado se verificaron mediante un estudio geoquímico en suelo de la tierra y el pasto en la zona. Asimismo, los resultados del modelado revelaron que las concentraciones de SO₂ en la ciudad de Tsumeb eran relativamente bajas, mientras que las concentraciones de polvo más altas se encontraron alrededor de la fundición de Tsumeb. Se concluyó que, el área residencial de la ciudad de

Tsumeb fue menos afectada debido a la morfología favorable del paisaje entre la fundición y la ciudad (las colinas de Tsumeb) y que los resultados del modelado de las precipitaciones de polvo y la prospección geoquímica coincidieron muy bien.

Peizhong Li et al. (2014); en su artículo sobre: “Contaminación y riesgos para la salud de los metales pesados en el suelo alrededor de una fundición de Pb/Zn en el suroeste de China”. Determinaron que aproximadamente 60 años de fundición de Pb/Zn han conducido a una contaminación significativa del suelo local por Zn, Pb, Cd, As, Sb y Hg, que exhibieron concentraciones máximas de 8078, 2485, 75.4, 71.7, 25.3 y 2.58 mg/kg respectivamente. Asimismo, se encontró que otros metales, incluyendo Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Sc y V, provenían de fuentes geogénicas y que las concentraciones de metales conducidos por la fundición en la capa superficial del suelo disminuyeron con el aumento de la distancia desde la fundición. Por último, la principal contaminación por Pb, Zn y Cd se encontró en los 40 cm superiores de suelo alrededor de la fundición Pb/Zn, pero se encontraron rastros de contaminación por Pb, Zn y Cd por debajo de 100 cm.

Waterlot C. et al. (2012); en su artículo sobre: “Contaminación, fraccionamiento y disponibilidad de metales en suelos urbanos en las inmediaciones de las antiguas fundiciones de plomo y zinc, Francia”. Determinaron que Cd y Zn se encontraban principalmente en las formas extraíbles y reductibles en los suelos urbanos estudiados. En contraste, el Pb e In estaban en gran parte en la fracción reducible. Sin embargo, en algunas muestras, la cantidad de In extraída en la fracción residual o intercambiable fue mayor que en la fracción reducible. El Cu se encontró principalmente en las fracciones reducibles y residuales. Asimismo los resultados mostraron transferencia de metales de los suelos contaminados a los brotes de centeno y la parte comestible de la lechuga. Se estableció que la toxicidad del metal estaba relacionada con los niveles de contaminación y las propiedades físico-químicas de los suelos, incluyendo pH, materia orgánica y, en menor medida, Ca, Mg y contenido de fósforo.

Vladislav Chrastny et al. (2011); en su artículo sobre: “Posición geoquímica de Pb, Zn y Cd en los suelos cercanos a la mina/fundición Olkusz, Polonia: efectos del uso de la tierra, tipo de contaminación y distancia de la fuente de contaminación”. Determinaron que los suelos forestales son mucho más afectados

por los procesos de fundición que los suelos agrícolas. Sin embargo, los suelos agrícolas sufren de la migración hacia abajo del metal más que los suelos forestales. Asimismo, las concentraciones máximas de Pb, Zn y Cd fueron detectadas en un perfil de suelo forestal cerca de la fundición y alcanzaron alrededor de 25000 mg/kg, 20000 mg/kg y 200 mg/kg para Pb, Zn y Cd, respectivamente. También se concluyó que la movilización de Pb, Zn y Cd en los suelos depende en gran medida de la transformación mineralógica de los materiales primarios y está directamente controlada por el pH del suelo y que en condiciones de pH relativamente comparables, las principales propiedades del suelo que influyen en la migración del metal son el carbono orgánico total y la capacidad de intercambio de cationes. Asimismo los rangos de movilidad del metal en los suelos forestales para un pH relativamente circumneutral del suelo (cerca de la fundición) fueron $Pb > Zn \approx Cd$ y Pb , y para los suelos ácidos (más allá de la fundición) fueron $Cd > Zn > Pb$.

Zhonggen Li et al. (2010); en su artículo sobre: “Contaminación del suelo con mercurio y otros metales y metaloides cerca de una fundición Pb/Zn en la provincia oriental de Hunan, China”. Determinaron que los suelos situados a 4 km de la fundición estaban gravemente contaminados con concentraciones máximas de Hg, Pb, Zn, Cd, Cu y As tan altas como 2.89, 1200, 3350, 41.1, 157 y 93 mg/kg, respectivamente. También determinaron que las concentraciones de estos contaminantes en el suelo disminuyeron con la distancia en la dirección predominante del viento (Sotavento) y que la evaluación del factor único indicó que los niveles de contaminación de Hg, Pb, Zn y Cd eran más severos, mientras que los niveles de contaminación para Cu y As eran menos severos. Los resultados de una evaluación de riesgo ecológico potencial indicaron alto riesgo asociado con el suelo dentro de un radio de 4 km. Asimismo, el suelo del bosque en el parque de la ciudad cercano también se vio afectado por las deposiciones atmosféricas de las actividades de fundición.

Junhui Li et al. (2008); en su artículo sobre: “Distribución de metales pesados en suelos agrícolas cerca de un complejo petroquímico en Guangzhou, China”. Determinaron que las concentraciones medias de estos metales pesados en las capas superiores no excedieron las concentraciones máximas permisibles en el suelo agrícola de China, con la excepción de Hg. Las diferencias significativas entre los tipos de uso de la tierra mostraron que las concentraciones de Cu, Pb, Cd, Hg y As en

las capas superiores del suelo estuvieron fuertemente influenciadas por las prácticas agrícolas y el manejo del suelo. Asimismo, dentro de un radio de 1.3 km no hubo tendencias decrecientes marcadas para estas concentraciones de elementos (excepto para Zn) con el aumento de la distancia del complejo, que reflejó poca influencia de emisión de aire de petróleo sobre la acumulación de metales pesados en el suelo. Las concentraciones de Zn, Cu, Pb, Cd, Hg y As en los cinco pedones, particularmente en huertos y huertos cultivados, disminuyeron con la profundidad del suelo, lo que indica que estos elementos provienen principalmente de fuentes antropogénicas. Los mapas de distribución espacial permitieron la identificación de áreas con puntos calientes con alta concentración de metales.

Krishna & Govil (2007); en su artículo sobre: “Evaluación de la contaminación por metales pesados en los suelos de la zona industrial de Manali, Chennai, India”. Determinaron concentraciones de cromo (149.8-418.0 mg/kg), cobre (22.4-372.0 mg/kg), níquel (11.8-78.8 mg/kg), zinc (63.5-213.6 mg/kg) y molibdeno (2.3-15.3 mg/kg) eran elevadas. Asimismo, las concentraciones de otros elementos fueron similares a los niveles en la corteza terrestre o señalaron el agotamiento del metal en el suelo ($FE < 1$). Por último, los altos Factores de Enriquecimiento (FE) para algunos metales pesados obtenidos en las muestras de suelo muestran que existe una considerable contaminación por metales pesados, que podría estar correlacionada con las industrias de la zona.

García Vargas et al. (2007); en su artículo sobre: “Contaminación por metales en suelos de la ciudad de Torreón, Coahuila, México”. Determinaron que los resultados obtenidos del estudio sobre la contaminación por metales y metaloides en suelos de las áreas habitacionales cercanas (Torreón 1 y 2) al complejo metalúrgico tienen altas concentraciones de los tres metales estudiados (Pb, As y Cd). Estas concentraciones de arsénico, cadmio y plomo superan en uno, dos y hasta órdenes de magnitud los niveles considerados como aceptables para sitios contaminados. El hecho de que el vecindario de referencia (Gómez Palacio) tenga niveles basales bajos, indica que las concentraciones de los metales en los suelos son por naturaleza bajos y que la contaminación observada es de origen derivado de las actividades industriales y humanas.

Krzysztof Loska et al. (2003); en su artículo sobre: “Contaminación por metales de los suelos agrícolas afectados por la industria en la comuna de Suszec – Polonia”. Determinaron que la aplicación del Índice de Geoacumulación (I_{geo}), Factor de Enriquecimiento (FE) y Factor de Contaminación (FC) permitió encontrar contenidos elevados de algunos metales tóxicos por Cd, Pb, As, Hg y Sb en los suelos de la comuna de Suszec. En total, esos elementos representaron hasta el 90% de la contaminación del suelo. Simultáneamente, se observó que los contenidos de los otros elementos eran similares a los niveles de la corteza terrestre o señalaban un agotamiento del metal en el suelo ($FE < 1$). Asimismo la mayoría de las muestras estaban compuestas de suelo ácido; solo el 8.1% era neutral.

González Sergio et al. (1984); en su artículo sobre: “Contaminación con metales pesados del área vecina a una fundición de cobre. Catemu, V Región – Chile”. Concluyó que la fundición ha influenciado grandemente el área vecina ya que los resultados obtenidos mostraron una concentración extremadamente elevada en los suelos, vegetales y elementos particulados, con un modelo de distribución relacionado inversamente a la distancia desde la industria. Asimismo indicaron que el mayor grado de acumulación ha ocurrido en dirección noreste, con respecto a la industria, por corresponder a la dirección dominante de los vientos. También se detectó contenido elevado de plomo molibdeno y cadmio en los suelos aunque sus niveles fueron inferiores a los del cobre.

Cartwright B. et al. (1976); en su artículo sobre: “Contaminación por metales pesados de los suelos alrededor de una fundición de plomo en Port Pirie, Australia”. Determinaron que la dispersión generalizada de plomo, zinc y cadmio desde la fundición de plomo Port Pirie y los patrones de contaminación del suelo dependen de la meteorología y la topografía de la región. Asimismo la contaminación disminuyó exponencialmente con la distancia cerca de la fundición, pero fue detectable hasta 40 – 65 km de la fuente dependiendo de la dirección. Las proporciones plomo/cadmio y zinc/cadmio para los suelos fueron altas cerca de la fundición, pero disminuyó con la distancia a valores constantes. Se concluyó que, a distancias cortas, la contaminación del suelo se debió a la aparición de emisiones de partículas de composición variable, pero más allá de unos 15 km los metales pesados probablemente se dispersan principalmente como aerosoles. Dado que los suelos locales son en su mayoría altamente alcalinos, ha habido una lixiviación

insignificante de estos metales desde el suelo superficial y su disponibilidad para las plantas fue baja.

Creelius Eric et al. (1974); en su artículo sobre: “Contaminación de suelos cerca de una fundición de cobre por arsénico, antimonio y plomo – EEUU”. Determinaron que el polvo apilado de una gran fundición de Cu cerca de Tacoma, Washington ha contaminado el suelo con As, Sb y Pb encontrándose concentraciones dentro de los 5 km a la fundición de 380 ppm, 200 ppm y 540 ppm respectivamente, medidos en el suelo superficial (0-3 cm). También se encontró que los altos niveles de As, Sb y Pb en los suelos de las islas meridionales de Vashon y Maury indican que el polvo acumulado se transporta al menos 10 km y se acumula en el suelo. Asimismo, se concluyó que la distribución de estos tres metales indica que los vientos dominantes provienen del suroeste.

1.2 Antecedentes a nivel nacional.

Ramírez M. & Corcuera V. (2014); en su tesis sobre: “Diagnóstico de la calidad del suelo del área de influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya (CMLO) – Perú”. Determinaron que las concentraciones de las fracciones de hidrocarburos F1, F2 y F3 en las muestras analizadas, se encuentran por debajo del valor establecido en el ECA de suelo, esto evidenciaría que el suelo no se encuentra afectado por hidrocarburos debido a las actividades antrópicas en esta zona. Asimismo, las concentraciones de los metales As, Pb, Cd, Ba y Hg para las estaciones TPF-04, TPF-05, TPF-07, TPF-07A, TPF-13, TPF-16 y TPF-17 tienen la tendencia a ser menores en la zona sub-superficial que la zona superficial, mientras que en las estaciones TPF-11 y TPF-12 es lo contrario, hay que tener en cuenta que estas estaciones están más cercanas a la fuente de emisión de estas partículas. La estación TPF-16 tiene las menores concentraciones de todos los puntos analizados, dicha estación se encuentra en la parte alta del relieve que rodea el CMLO y al sureste de la fuente de emisiones de dichas partículas. Por otro lado, del análisis en las estaciones PSOA 08, PSPAC 14, PSCASA 15, PSMAR 19, PSPTUPAC 20 y PSHUAY 24, se observó que en PSOA 08 tiene las concentraciones más altas para de Pb, As y Cd en la zona superficial, esto debe ser a que este punto se encuentra en el área de influencia directa; y la estación PSCASA 15 tiene las concentraciones más bajas en la zona superficial por encontrarse más alejada del CMLO. Por último, PSHINCA 10

es la estación con mayor concentración de As, Pb y Cd esto debido a que las partículas transportadas a través del aire sedimentan en la zona geográfica que se sobresale como una especie de muro, ya que la dirección del viento está dirigido desde el noreste arrastrando las emisiones de la chimenea y llegando a PSHINCA 10 donde el viento se re-direcciona por la zona geográfica.

Activos Mineros (2009); en su artículo sobre: “Calculan cantidad exacta de plomo, cadmio y arsénico en La Oroya – Perú”. Determinaron que, las emisiones de plomo, cadmio y arsénico ocasionados por la fundición de La Oroya durante sus 87 años de vida productiva han afectado alrededor de 2300 km² de suelos en la región central, la mayor concentración de metales que sobrepasan los límites permisibles está en los 10 primeros centímetros de profundidad. Al respecto, están afectadas áreas no solo de la Provincia de Yauli, donde se ubica la ciudad de la Oroya, sino también de Tarma, Jauja y Junín. El estudio abarco 3404 km², donde se buscó medir el impacto de las emisiones en los suelos. La zona más impactada se localiza a 2 km al sur del complejo metalúrgico, que comprende parte del área urbana conocida como la Oroya Antigua. Las emisiones han inutilizado totalmente 2049 ha, donde ya no se pueden desarrollar actividades agrícolas”. Asimismo, indicó que en base al desarrollo de estudios adicionales y de grandes esfuerzos solo se podrían rehabilitar 42000 hectáreas de las 62000 que tienen aptitudes para ser actividades agropecuarias. De otro lado, el estudio señala que para el caso residencial solo se debería permitir una concentración máxima de 140 mg/kg de plomo y de 50 mg/kg de arsénico; sin embargo, a solo tres kilómetros del complejo metalúrgico la concentración de plomo está entre 3000 a 16000 mg/kg en los suelos mientras que el del arsénico se sitúa entre 500 a 5710 mg/kg.

Cederstav A. & Barandiarán A. (2002); en su publicación llamada: “La Oroya no espera”. Determinaron que las concentraciones atmosféricas de arsénico y cadmio se han incrementado drásticamente desde 1995 y en el caso del plomo se ha producido un incremento significativo hasta el año 1999, seguido de una mejora importante aunque insuficiente en el año 2000. Considerando las elevadas concentraciones de metales pesados en el ambiente y la larga historia de contaminación no mitigada en la región, el riesgo a la salud de la población de La Oroya y sus alrededores debido a la contaminación por metales pesados es sumamente severo. Los niveles de dióxido de azufre en La Oroya también se han

incrementado significativamente desde la aprobación del PAMA original. Por el carácter gaseoso de la contaminación de dióxido de azufre, este tiende a expandirse a largas distancias, lo cual significa que no solo afecta La Oroya, sino también a otras comunidades alejadas que podrían sufrir niveles críticos de contaminación.

2. Planteamiento del problema.

2.1 Descripción del problema.

La contaminación del suelo es un proceso por el cual este recibe un aporte externo de un elemento o compuesto químico, lo que provoca en el suelo un aumento respecto a la concentración inicial del mismo (Casas, 2011).

Generalmente, las principales fuentes de contaminación del suelo por metales pesados son: los fertilizantes (2%), residuos de materia orgánica (3%), residuos de metalurgia (6%), turba (6%), residuos urbanos (9%) y cenizas de combustión (74%). Este tipo de actividades contaminantes aportan metales pesados a los suelos que alcanzan niveles que superan los propuestos, causando frecuentemente efectos tóxicos para los organismos. Se estima que el aporte de metales como Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Zn y de metaloide como Se derivado de actividades industriales, es aproximadamente de 10 a 20 veces mayor que la cantidad aportada por la meteorización natural de los materiales geológicos (Nriagu, 1990).

En particular, según la Food and Agriculture Organization (FAO) el 33 % de la tierra se encuentra de moderada a altamente degradada debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación y la contaminación química de los suelos.

Asimismo, la región de América Latina y el Caribe ocupa un nada honroso tercer lugar a nivel mundial en la degradación de suelos con un 26 % de sus tierras cultivables en mal estado, de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). A pesar de que esta región tiene la reserva de tierra cultivable más grande del mundo, calculada en 576 millones de hectáreas equivalentes a casi el 30% de su territorio, el problema de la degradación de suelos se ha agudizado en los últimos años (PNUMA, 2003).

En el continente americano, la contaminación del suelo afecta el ecosistema y la salud de las personas; y una de las fuentes de contaminación más importantes son las industrias minero-metalúrgicas tales como: la Fundición de Chagres en Valparaíso (Chile), Fundición y Refinería Ventanas (Chile), Fundición de Bradken en Tacoma (EEUU), Fundición de Copper Cliff en Sudbury (Canadá), Fundición de cobre en El Paso, Texas (EEUU) o la Fundición y Refinería de Ilo en Moquegua (Perú), asimismo otras fuentes importantes que generan contaminación en el suelo se encuentran en las zonas industrializadas tales como el Complejo Metalúrgico Altonorte Ltda. (ex Xstrata Copper) en Chile, Complejo Metalúrgico no ferroso (Met-Mex Peñoles) en México y el Complejo Metalúrgico de La Oroya en Perú; de las cuales estas operaciones y procesos que se desarrollan en estas industrias (fundición y refinería) son tecnologías que en algunos casos provienen del siglo pasado; con estas tecnologías se producen metales Premium, provenientes de los concentrados polimetálicos. Los efectos negativos de la contaminación causada por las fundiciones en la salud pública, han sido documentados a profundidad en estudios elaborados por instituciones de reconocido prestigio, las cuales constituyen fuentes objetivas de información. Algunos de estos estudios tratan casos como el de las fundiciones ubicadas en Torreón, México; Trail, Canadá; Herculaneum, Missouri; Smeltonville, Idaho; y en El Paso, Texas; entre otras.

Debemos tener en cuenta que, en las inmensas operaciones minero-metalúrgicas se emiten grandes cantidades de material particulado y gases a la atmósfera, luego son arrastradas por el viento predominante depositándose en los lugares cercanos a sotavento, contaminando así los suelos agrícolas o residenciales donde cosechan o habitan personas. Se sabe que las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos, y excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos (Puga et al., 2006).

Es conocido que, La Oroya ha sufrido la contaminación por la operación del Complejo Metalúrgico, la cual inició sus operaciones en el año 1922 con la Cía. Cerro de Pasco Cooper Corporation; en 1974 fue nacionalizado por el Gobierno

militar del General Velasco Alvarado a una empresa nacional llamada Centromin Perú y en el año 1997 fue vendido a la empresa Doe Run Perú (Doe Run Perú, 2015).

Según Cederstav y Barandiarán (2002), cualquier proceso de fundición en donde las emisiones no sean estrictamente controladas, producirá graves e inaceptables impactos a la salud de las personas que residen o trabajan cerca de estas instalaciones. Así por ejemplo, la fundiciones primarias son fuente importante de contaminación por Pb, As, Cd y Sb entre otros, y a su vez muchas de ellas pueden emitir cantidades considerables de SO₂. Estas sustancias tóxicas contaminan el aire y los suelos, sea a través de las llamadas emisiones fugitivas o las que provienen de las chimeneas formalmente instaladas. Por ello, el área de estudio (zona Huaynacancha) que se encuentra a 11.6 km de distancia del CMLO, probablemente ha sido contaminado a lo largo del tiempo, afectando así la calidad del suelo mediante la deposición seca y húmeda de material particulado conteniendo metales pesados.

Por tal motivo, en el presente trabajo de tesis estudiaremos la influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya (CMLO) en la calidad del suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente ya que son los causantes del deterioro del ecosistema y la salud de las personas, por ende son necesarias evaluarlas.

2.2 Formulación del problema.

2.2.1 Problema general.

- ¿Existe influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la calidad del suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha, Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín?

2.2.2 Problemas específicos.

- ¿Cuáles son las concentraciones de los metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo de la zona Huaynacancha?
- ¿Cuáles son las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en el suelo de la zona Huaynacancha?
- ¿Qué tipo de distribución espacial de parámetros inorgánicos y fisicoquímicos existe en el suelo de la zona Huaynacancha?

- ¿Cuál es el impacto ambiental en el suelo de la zona Huaynacancha de acuerdo al Índice de Geoacumulación (Igeo), Factor de Enriquecimiento (FE) e Índice de la Calidad del Suelo (SoQI)?

3 Objetivos.

3.1 Objetivo general.

- Determinar si existe influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la calidad del suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha, Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín.

3.2 Objetivos específicos.

- Determinar las concentraciones de los metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo de la zona Huaynacancha.
- Determinar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en el suelo de la zona Huaynacancha.
- Determinar qué tipo de distribución espacial de parámetros inorgánicos y fisicoquímicos existe en el suelo de la zona Huaynacancha.
- Evaluar el impacto ambiental en el suelo de la zona Huaynacancha de acuerdo al Índice de Geoacumulación (Igeo), Factor de Enriquecimiento (FE) e Índice de la Calidad del Suelo (SoQI).

4. Hipótesis.

4.1 Hipótesis general.

- Existe influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la calidad del suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha, Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín.

4.2 Hipótesis específicas.

- Existe concentraciones altas de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo de la zona Huaynacancha.
- Existe concentraciones anómalos de parámetros fisicoquímicos en el suelo de la zona Huaynacancha.
- Existe una distribución espacial de tipo heterogénea de parámetros inorgánicos y fisicoquímicos en el suelo de la zona Huaynacancha.
- Existe un impacto ambiental negativo en el suelo de la zona Huaynacancha de acuerdo al Índice de Geoacumulación (Igeo), Factor de Enriquecimiento (FE) e Índice de la Calidad del Suelo (SoQI).

5. Variables.

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Calidad del Suelo	Metales pesados (Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Se, Zn), Cianuro Libre y Cromo Hexavalente	Concentración de parámetros inorgánicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excede > ECA y CEQG ▪ No excede < ECA y CEQG 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo ▪ Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) for soil
		Concentración de parámetros fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Niveles de pH ▪ Niveles de salinidad ▪ Niveles de carbonato de calcio ▪ Niveles de materia orgánica ▪ Niveles de fósforo ▪ Niveles de potasio ▪ Clases texturales ▪ Niveles de capacidad de intercambio catiónico ▪ Niveles de bases intercambiables ▪ Niveles de saturación de bases ▪ Taxonomía de suelos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soil Survey Manual (United States Department of Agriculture) ▪ Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos ▪ Reglamento para la ejecución de Levantamiento de Suelos. ▪ Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor

Distribución espacial de los parámetros inorgánicos y fisicoquímicos en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Heterogénea ▪ Homogénea 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapas de Análisis Geoespacial
Impacto ambiental en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No contaminado ▪ Moderadamente contaminado ▪ Fuertemente contaminado ▪ Extremadamente contaminado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Índice de Geoacumulación
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiente o mínimo ▪ Moderado ▪ Severo ▪ Muy alto ▪ Extremadamente alto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Factor de Enriquecimiento
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy bajo ▪ Bajo ▪ Medio ▪ Alto ▪ Muy Alto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Índice de la Calidad del Suelo

Fuente: Elaboración propia, (2018).

6. Justificación e importancia.

6.1 Justificación.

La presente investigación se enfocará en estudiar la contaminación del suelo por la influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya; ya que según Callaba et al. (2005), la presencia de estos contaminantes tóxicos (metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente) en el suelo, supone la existencia de potenciales efectos nocivos para el hombre, la fauna y la flora. Estos efectos tóxicos dependerán de las características toxicológicas de cada contaminante y de la concentración del mismo. Cuando estas sustancias son bioacumulables, el riesgo se amplifica al incrementarse las concentraciones de contaminantes a medida que ascendemos en la cadena trófica, en cuya cima se encuentra el hombre.

Asimismo, Faisal y Hasnain (2004), indicaron que las fuentes antrópicas de metales pesados en el ambiente incluyen a los desechos de la industria metalúrgica, química, minera, industrias relacionadas con la fabricación de baterías y producción de fertilizantes entre otras.

En general, la presencia de contaminantes en el suelo se refleja de forma directa sobre la vegetación llevándola a su degradación, a la reducción de las especies presentes, y también a la acumulación de contaminantes en las plantas, sin que generen daños notables en estas. En el hombre, los efectos se restringen a la ingestión y contacto dérmico, que en algunos casos ha desembocado en intoxicaciones por metales pesados y más fácilmente por compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles (Grau R. & Grau S., 2006).

Por lo tanto, esta investigación permitirá mostrar cómo las industrias minero-metalúrgicas de procesos de fundición y refinación han contaminado los suelos por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente; mediante la deposición atmosférica seca y húmeda causadas por las emisiones atmosféricas de material particulado y gases tóxicos, influenciado negativamente en el área de estudio (zona Huaynacancha), siendo esta una zona rural, la cual se encuentra adyacente a dos centros poblados (Curipata y Huaynacancha); y es aquí donde se ven los efectos más desfavorables a un impacto ambiental y a la salud de las personas.

6.2 Importancia.

Es de vital importancia conocer el estado de la Calidad del Suelo, con relación a la deposición atmosférica seca y húmeda, causadas por las emisiones atmosféricas de material particulado y gases tóxicos, emitidos por el Complejo Metalúrgico La Oroya; ya que la degradación de los suelos afectan a la salud de las personas expuestas en comunidades y centros poblados que habitan, trabajan, cosechan y tienen su ganado circulando alrededor de estas zonas en busca de alimento.

Según Cederstav y Barandiarán (2002), las personas que habitan o trabajan cerca de las fundiciones de metales están expuestas a la contaminación que estas producen. La forma más directa de exposición es la producida al respirar el aire contaminado de su entorno. Otra manera de exposición es la producida a través de la ingestión de polvos y tierra contaminada por la acumulación de metales tóxicos que provienen a su vez del aire contaminado.

Por ende, el presente trabajo de investigación está dirigido principalmente a los habitantes de los Centros Poblados de Huaynacancha y Curipata, los cuales pueden estar siendo contaminados por elementos tóxicos adheridos al suelo, contribuyendo con información para el diagnóstico actual a la que se encuentran expuestas.

Asimismo, a partir de esta investigación, los entes públicos del estado así como las empresas privadas dedicadas al rubro de la industria minera – metalúrgica, puedan obtener una data confiable para desarrollar trabajos de remediación de suelos, donde utilicen estos resultados en la mejora de sus planes de manejo ambiental. Esto resultara útil para las instituciones estatales o privadas encargadas de la remediación de los suelos contaminados en el Distrito de La Oroya, y así tomen decisiones más precisas en la mejora de la calidad de los suelos con el objetivo de reducir los riesgos a la salud de la población y la conservación del medio ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas.

2.1.1 Contaminación ambiental.

En opinión de Miller (1994), ecologista de reconocida trayectoria en el mundo, por contaminación ambiental se entiende, todo cambio indeseable en las características del aire, el agua, el suelo, los alimentos que afectan nocivamente la salud, la sobrevivencia o las actividades de los humanos u otros organismos vivos; y que para mayor percepción es necesario identificar los efectos contaminantes de acuerdo a las características de factores que intervienen pudiendo clasificarse según:

- ***Su naturaleza química:*** Mediante la cual se puede indicar que tan activo y nocivo es para tipos específicos de organismo vivos.
- ***Su concentración:*** Por la cual se puede determinar la cantidad presente por unidad de volumen de aire, agua, suelo o peso del cuerpo.
- ***Su persistencia:*** Mediante la cual un contaminante mientras más tiempo permanece en el aire, agua, suelo o en nuestros organismos puede acarrear mayores efectos negativos.

Según Arellano (2002), existen diversas clasificaciones de la contaminación, pero sólo mencionaremos las dos principales: Por su origen y por el tipo.

2.1.1.1 Por su origen se clasifica en dos tipos:

- ***Contaminación natural:*** Se debe a fenómenos naturales como la erosión y las erupciones volcánicas y está relacionada con la composición de suelos, aguas y los componentes de algunos alimentos pero que no es tan grave como la antropogénica.
- ***Contaminación antropogénica:*** Es generada por las actividades que realiza el hombre como son las industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas y es más grave por su naturaleza y la gran variedad de contaminantes que genera.

2.1.1.2 Por el tipo de contaminante que generan se clasifica en:

- ***Contaminación biológica:*** Se presenta cuando un microorganismo (virus, hongo o bacteria) se encuentra en un ambiente que no le corresponde y causa daños a los demás organismos que lo habitan.
- ***Contaminación física:*** Es la provocada por agentes físicos como las radiaciones ionizantes, energía nuclear, ruido, presiones extremas, calor y vibraciones.
- ***Contaminación química:*** Es provocada por diferentes sustancias de uso industrial y doméstico que se encuentran dispersas en el ambiente.

2.1.2 Contaminación del aire.

2.1.2.1 Atmósfera.

De acuerdo a Spedding (1981), la atmósfera terrestre es una capa envolvente gaseosa de unos 2000 km de espesor, cuya densidad disminuye con la altura hasta el extremo de que la mitad de su masa total corresponde a los cinco primeros kilómetros. Asimismo Spedding (1981), indica que: “la temperatura varía también con la altura, hecho que se utiliza para dividir la atmósfera en capas. Las propiedades de cada capa guardan relación con la actividad química de sus contaminantes, si bien las de mayor importancia son las de la tropósfera, que contiene el aire que respira el hombre y en la que se desarrollan todos los procesos meteorológicos”.

2.1.2.2 Química atmosférica.

Según Kiely (1999), la región de la atmósfera de interés clave es aquella más próxima a la superficie del suelo, donde la composición química del aire es del 78% de nitrógeno y 21% de oxígeno, que son esenciales para la vida en la biosfera. Sin embargo, estos elementos reaccionan en la atmósfera y pueden producir características no deseables como las nieblas.

Asimismo Kiely (1999), indica que: “los contaminantes primarios, entre los cuales están las emisiones que proceden de fuentes antropogénicas, son principalmente los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de carbono, los hidrocarburos, los metales y las partículas. El efecto de concentración y combinación (sinérgico) de estos compuestos contaminantes da motivos de preocupación en la mayoría de las

ciudades grandes o pequeñas debido al incremento de las emisiones de los vehículos a motor”.

2.1.2.3 Fuentes de contaminación.

Según Orozco et al. (2003), las alteraciones de la composición del aire pueden tener un doble origen:

- ***Natural:*** Erupciones volcánicas, meteoritos, fuegos.
- ***Artificial o antropogénica:*** Provocada por actividades humanas, fundamentalmente el transporte, las combustiones y los procesos industriales.

2.1.2.4 Fuentes de contaminación antropogénica.

Según Grijalbo (2016), la contaminación antropogénica es la emisión de sustancias contaminantes como consecuencia de la actividad humana. Su origen es la quema de combustibles fósiles, los procesos industriales el tratamiento y eliminación de residuos, etc.

Las fuentes emisoras o focos de contaminación antropogénica se clasifican en:

- ***Fuentes estacionarias o focos fijos:*** Pueden ser focos industriales, donde la contaminación es producida por un punto fijo que emite contaminantes (chimeneas de diferentes procesos industriales, instalaciones fijas de combustión, tanques de almacenamiento, etc.) o los focos domésticos, donde la contaminación se emite por pequeñas fuentes que juntas pueden afectar a la calidad del medio ambiente de una región (por ejemplo, las instalaciones de calefacción).
- ***Fuente o focos móviles:*** Son los medios de transporte (automóviles, camiones, aviones, etc.).
- ***Fuentes compuestas:*** Originados por la combinación de fuentes fijas y móviles. Por ejemplo, las zonas industriales o las áreas urbanas con gran densidad del tráfico y población.

2.1.2.5 Fuentes aéreas.

La deposición atmosférica es una importante fuente de metales pesados en países industriales, especialmente para As, Cd, Hg y Pb (Navarro-Pedreño et al, 2008).

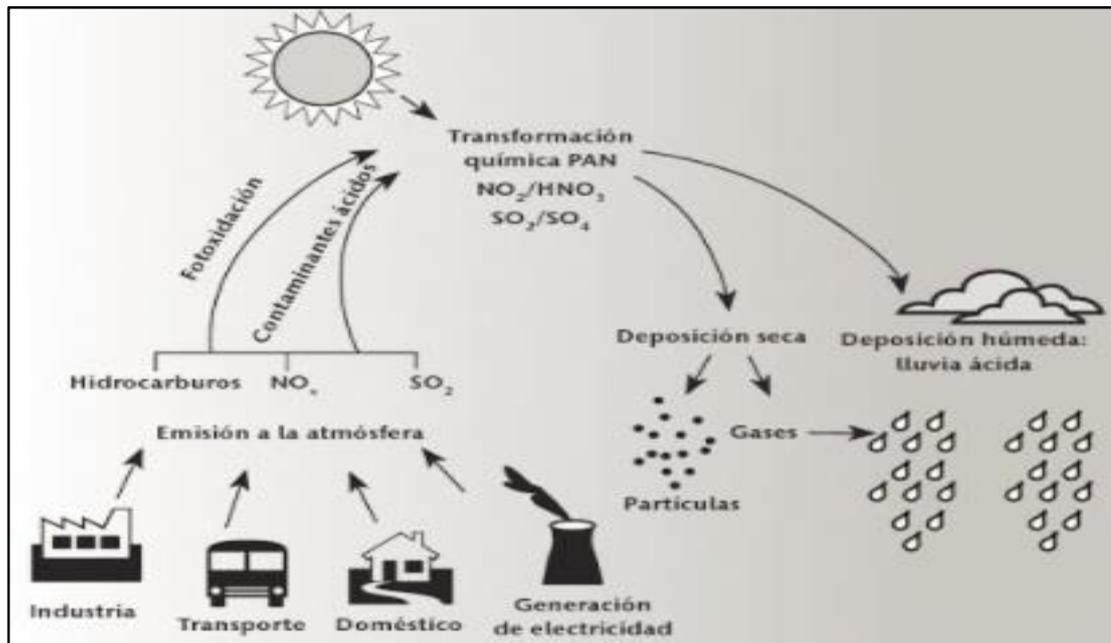
Según Alloway (2013), en las emisiones producidas en numerosas chimeneas, propias de actividades industriales diversas, se incluyen metales pesados. Un caso común son las cenizas y escorias de los procesos de combustión de carbón o derivados de petróleo, algunos metales como As, Cd y Pb también pueden volatilizarse durante el procesamiento a alta temperatura. Estos metales se convierten en óxidos y condensan como partículas finas a menos que se mantenga una atmósfera reductora. Obviamente el tipo y la concentración de los metales emitidos por estas fuentes dependerán de las condiciones específicas del tipo de industria. Otra fuente importante son las carreteras y autopistas, especialmente para Cu, Zn, Cd y Pb. Un ejemplo muy conocido son los entornos adyacentes a las carreteras, donde se deposita el plomo tras la combustión de la gasolina, así como Zn y Cd de partículas procedentes de aceites lubricantes y del desgaste de neumáticos y frenos. No hay que olvidar las emisiones procedentes de las calefacciones, tanto industrial como doméstica, así como los incendios y la corrosión de estructuras metálicas, como los tejados galvanizados (recubiertos de zinc).

2.1.2.6 Deposición ácida.

La Figura 1 muestra el mecanismo de la deposición ácida. Las emisiones de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos procedentes de las actividades en industria, transporte, vivienda y producción de energía se transforman en la atmósfera en partículas de sulfatos y nitratos. Cuando se combinan con la radiación solar y el vapor de agua se transforman en ácidos sulfúrico o nítrico suaves, mediante reacciones químicas complejas, a su vez estos ácidos retornan a la tierra bien en forma de rocío llovizna, niebla, aguanieve, nieve o lluvia (Kiely, 1999).

Figura 1

Principales compuestos contaminantes del aire y sus focos.



Fuente: Kiely, (1999).

Según Orozco et al. (2003), al hablar de concentraciones de contaminantes en la atmósfera es preciso distinguir los valores de emisión de los valores de inmisión. Veamos cómo se definen uno y otro:

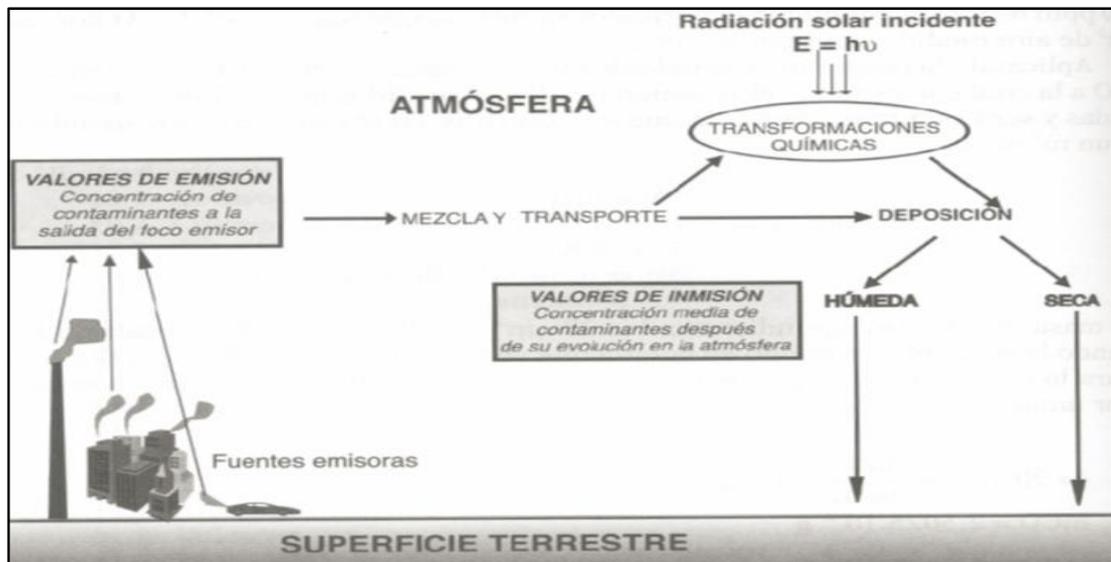
- **Emisión:** Es la concentración de contaminantes que vierte un foco determinado, se mide a la salida del foco emisor.
- **Inmisión:** Es la concentración de contaminantes presente en el seno de una atmósfera determinada y, por tanto, es a estos valores a los que están expuestos los seres vivos y los materiales cuya actividad se desarrolla en esa atmósfera concreta.

Asimismo Orozco et al. (2003), sostiene: “Que los valores correspondientes a unas y otras concentraciones suelen ser totalmente distintos. Los valores de inmisión son consecuencia no sólo de los valores de emisión, sino también de todos los fenómenos de mezcla, transporte, deposición y transformaciones químicas que experimentan los contaminantes una vez emitidos a la atmósfera. Este hecho manifiesta la importancia que van a tener, por un lado los fenómenos meteorológicos, pues son ellos los que contribuyen a la mezcla y transporte de contaminantes, y por otro, las posibles transformaciones químicas que pueden sufrir las sustancias una vez emitidas en el seno de la atmósfera. En la Figura 2 se

esquematizan estos procesos y se señala expresamente cuáles serían los valores de emisión e inmisión”.

Figura 2

Representación esquemática de los valores de emisión e inmisión.



Fuente: Orozco et al., (2003).

2.1.2.7 Procesos de deposición.

Figueruelo & Marino (2004), indican que: “Los contaminantes atmosféricos pueden llegar a la superficie terrestre de dos maneras: deposición seca y deposición húmeda, según sea la fase en que se encuentren al incidir sobre la superficie”.

Debe hacerse notar que la superficie misma puede ser seca o húmeda, aunque el termino deposición seca o húmeda se refiere al mecanismo de transporte y no a la naturaleza de la superficie según Figueruelo & Marino (2004).

- **Deposición húmeda:** Es cuando los contaminantes en general (incluidos los aerosoles) pueden estar dentro de las “gotas” de nubes, niebla, lluvia, nieve y cuando estos hidrometeoros impactan sobre el suelo (edificios, césped, vías públicas, lagos, etc.).
- **Deposición seca:** Es cuando los contaminantes en fase gas (incluidos aerosoles) pueden llegar al suelo debido a la turbulencia atmosférica y/o acción de la gravedad y ser absorbidos o adsorbidos por los diversos compartimientos sobre los que inciden: suelo/agua/biota (vegetación), sin haberse disuelto (o suspendido) en gotas de agua atmosférica.

Según Morales (2006), indica que: “la deposición seca o sedimentación, tiene lugar como resultado de impactación o difusión. La impactación se produce cuando las partículas transportadas por el viento inciden sobre un obstáculo, depositándose en él. En tanto que en la difusión, las partículas migran hacia una superficie y chocan con ella permaneciendo allí. Sin embargo, este proceso es menos eficiente que el correspondiente a la deposición húmeda, que a su vez se subdivide en dos categorías, según sea su agente dinámico: nubes o lluvia. En el primer caso de salida, las partículas sirven como núcleos de condensación de nubes sobre las que se acumula agua o hielo, en tanto que en el segundo caso, la lluvia o la nieve que caen recogen partículas de la atmósfera y las transportan hasta la superficie terrestre”.

2.1.2.8 La acidificación de los ecosistemas.

Gallego et al. (2012), indica que: “Los contaminantes presentes en el aire son atrapados por las gotas de lluvia que forman las nubes y pueden ser transportados a gran distancia antes de depositarse arrastrados por las precipitaciones (en forma de lluvia, nieve o granizo). Una vez depositada sobre la superficie, la acidez de la lluvia no permanece constante y que los procesos de evaporación desde la superficie pueden traducirse en incrementos en la concentración de los solutos disueltos en el agua y en descensos del pH de hasta una unidad”.

Asimismo Gallego et al. (2012), indica que: “Cuando el aporte atmosférico es excesivo para el potencial de neutralización del suelo, se produce una acidificación del mismo, en donde el exceso de acidez es parcialmente neutralizado por la entrada en la solución de aluminio iónico (Al^{3+}) y otros metales pesados como plomo (Pb), cinc (Zn) o cadmio (Cd). De esta forma, como resultado de una acidificación del suelo, se produce un aumento de Al^{3+} y otras especies de aluminio así como otros metales pesados en la solución del suelo, que normalmente se encuentran inmovilizados en arcillas y la materia orgánica del suelo de forma que no puedan afectar a los seres vivos. En cambio los metales pesados en la solución del suelo están en forma biodisponible y resultan tóxicos para los seres vivos”.

2.1.2.9 Meteorología.

Según Kiely (1999), sostiene que: “Cuando los gases o partículas son emitidos a la atmósfera, bien desde un vehículo, una industria u otra fuente resulta casi imposible predecir su evolución dentro de la misma. Esto es debido a los complejos factores que gobiernan su ruta subsiguiente”.

Estos factores son principalmente:

- Meteorológicos.
- Origen de emisión.
- Proceso.

Los factores meteorológicos son:

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura y humedad.
- Turbulencia.
- Estabilidad atmosférica.
- Efectos topográficos en la meteorología.

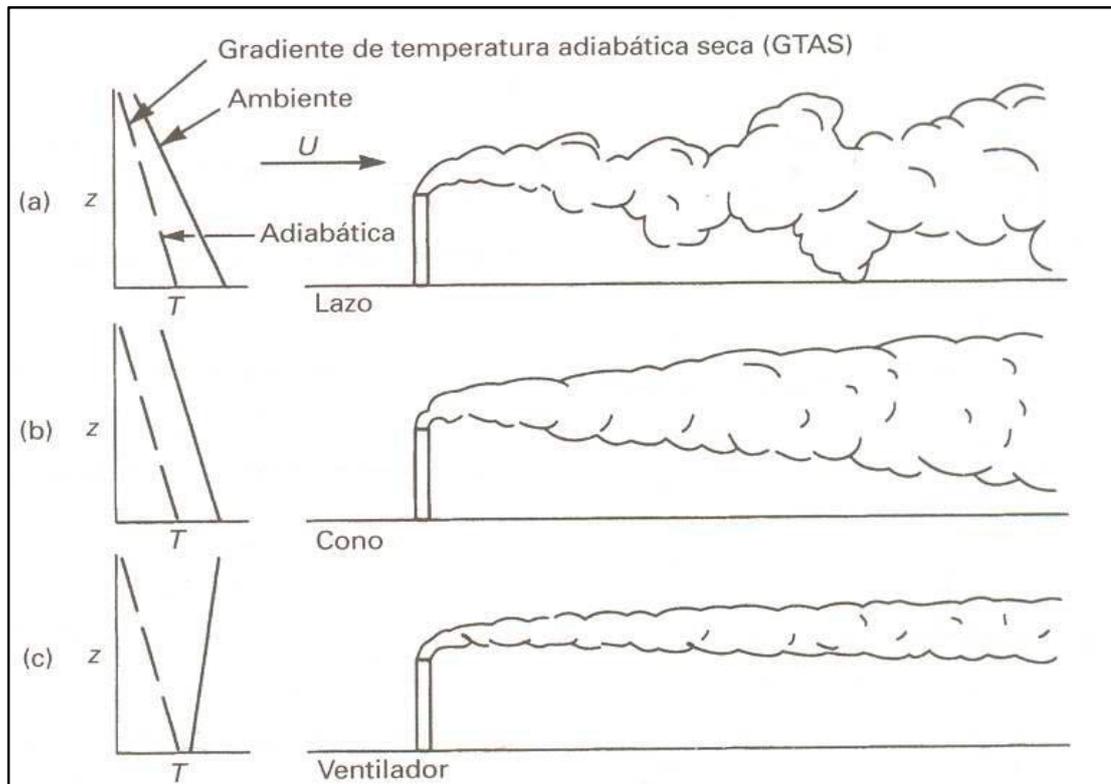
Las emisiones de contaminantes de la atmósfera son de interés a tres escalas:

- **Microescala:** Del orden de 1 km (por ejemplo penachos de chimenea).
- **Mesoescala:** Del orden de 100 km (por ejemplo vientos montaña valle).
- **Macroescala:** Del orden de miles de km (por ejemplo altas/bajas sobre océanos o continentes).

2.1.2.10 Gradientes de temperatura.

Si el perfil de la temperatura ambiente es conocido (o lo que es lo mismo el gradiente de temperatura ambiente) y se compara con el gradiente de temperatura adiabática, es posible estimar la evolución de la emisión del contaminante atmosférico. Las emisiones de chimenea producen penachos que pueden variar con la clase de estabilidad atmosférica según la Figura 3 (Kiely, 1999).

Figura 3
Penachos de chimenea para diferentes clases de estabilidad.



Fuente: Kiely, (1999).

Nota: (a) Inestable, (b) Neutra y (c) Estable.

2.1.2.11 Estabilidad atmosférica.

Asimismo Guevara (2008), indica que: “Para determinar la clase de estabilidad atmosférica: estable, inestable o neutra, de una capa dada de la atmósfera, se determina el gradiente altotérmico, y con las temperaturas y alturas de los niveles inferior y superior de la capa, se compara el gradiente obtenido con el gradiente adiabáticos seco (γ_s) y húmedo (γ_h). Si el gradiente altotérmico es mayor que el adiabático seco o húmedo, se considera que existe equilibrio inestable en esa zona de la atmósfera, si es menor, equilibrio estable y si es igual, equilibrio neutro o indiferente”.

- Si $\gamma > \gamma_s$ Inestable.
- Si $\gamma < \gamma_s$ Estable.
- Si $\gamma = \gamma_s$ Neutro o Indiferente.

2.1.2.12 Viento (dirección y velocidad).

Según Martínez (2006), en superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la velocidad. El viento se genera por la existencia de gradientes de presión atmosférica, es decir diferencias de presión entre áreas contiguas. Las masas de aire se desplazan siempre desde las zonas de mayor presión a las de menor presión. Por ello la determinación de la dirección y velocidad del viento se realiza a partir del estudio de la distribución de la presión atmosférica en la geográfica terrestre, es decir a partir de los mapas isobáricos.

De igual modo Martínez (2006), indica que: “La dirección del viento viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa dividida de 360° en vez de la antigua rosa de 32 cuartas. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj. La velocidad del viento se mide preferentemente en nudos y mediante la Escala de Beaufort”.

2.1.2.13 Dispersión de los contaminantes.

Grijalbo (2016), sostiene que: “Debido a las características de los propios contaminantes y a la atmósfera como medio difusor, los contaminantes pueden ser dispersados, mezclados, transportados e incluso pueden experimentar reacciones químicas y transformaciones físicas. Las emisiones de los contaminantes y sus fenómenos de transporte y dispersión se producen en la capa más baja de la troposfera, que tiene un espesor de entre cientos de metros hasta 1km y está directamente influenciada por las características de la superficie terrestre”.

2.1.2.14 Factores que condicionan las dispersiones de los contaminantes.

Según Grijalbo (2016), indica que la dispersión atmosférica es el proceso que transporta y mezcla los contaminantes en el aire. Depende de los siguientes factores:

A. Factores naturales físico-químicos de los contaminantes: El humo liberado por las chimeneas puede estar formado por un único gas o por una mezcla de gases y partículas. El comportamiento de las partículas varía significativamente en función de su tamaño:

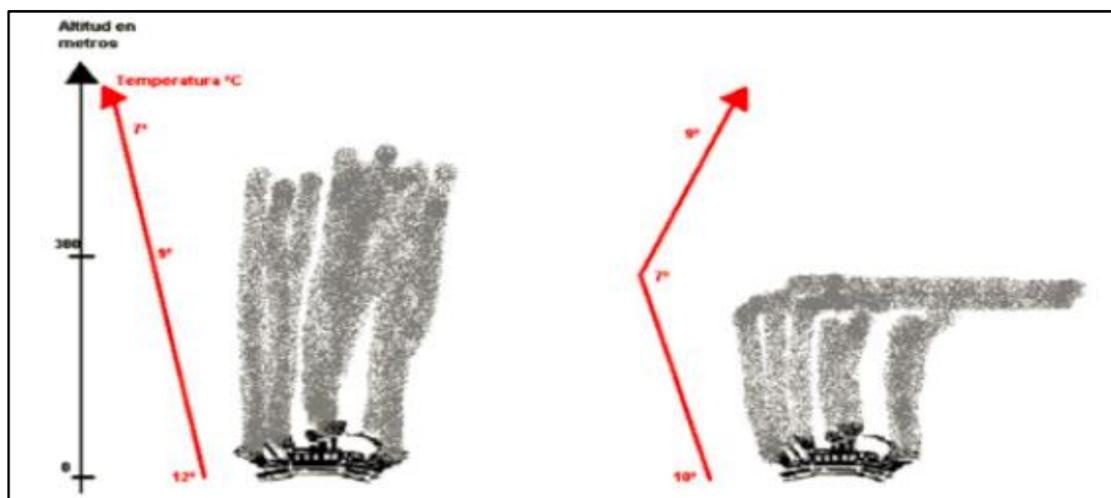
- Las partículas con tamaños menor de $1\mu\text{m}$ tiene un comportamiento similar al de las moléculas y se caracterizan por movimientos aleatorios causados por colisiones con las moléculas de gas.
- Las partículas con tamaño entre 1 y 20 micrómetros tienden a seguir el movimiento del gas portador.
- Las partículas mayores de 20 micrómetros poseen velocidades de sedimentación significativas y, por tanto, el aire las arrastra durante cortos periodos de tiempo.

B. Factores de las condiciones meteorológicas: Determinan la estabilidad o inestabilidad atmosférica. Están determinadas por:

- **El gradiente vertical de temperatura:** Condiciona el movimiento ascendente y descendente de una capa de aire.
- **El viento:** Diluye la contaminación emitida en un lugar de emisión.
- **La turbulencia:** Determina la irregularidad del movimiento del viento.
- **Las precipitaciones:** Permite que se laven las partículas contaminantes del aire.

En la siguiente figura (Figura 4) se pueden observar el comportamiento del penacho (humo emitido por los focos de contaminación) en condiciones de estabilidad atmosférica, es decir cuando hay un gradiente de temperatura, y en condiciones de inestabilidad atmosférica, cuando se produce una inversión térmica.

Figura 4
Dispersión de penacho de contaminantes.



Fuente: Grijalbo, (2016).

C. Factores físicos: Las zonas que tienen una topografía compleja, como valles o cadenas montañosas, suelen experimentar altas concentraciones de contaminantes. En la dispersión de los contaminantes también influyen los edificios, que modifican el régimen de los vientos.

D. La localización de la chimenea respecto al movimiento del aire: Cuando más alta sea la chimenea mayor será la probabilidad de que los contaminantes se dispersen y diluyan sin afectar a las poblaciones cercanas. La altura de la pluma (emanación visible de una chimenea) está determinada por la velocidad y el empuje de los gases que salen de la chimenea.

El movimiento de los contaminantes en la atmósfera puede realizarse de dos formas:

- **Transporte convectivo horizontal:** Generalmente; cuanto mayor es la velocidad del viento las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo se reducen, porque se producirá una mayor dilución y mezcla. Cuando se producen circulaciones cerradas de viento, como en las brisas del mar y las regiones de valle y montaña, los contaminantes se incorporan a la circulación del viento, acumulándose progresivamente. También pueden acumularse cuando los vientos fuertes inciden perpendicularmente a las crestas montañosas, aun valle o sobre los edificios altos.
- **Transporte convectivo vertical:** El principal factor que influye en este transporte es la variación vertical de temperatura en la atmósfera. Se considera que la estabilidad atmosférica es estable cuando en la capa de aire la temperatura desciende con la altura bastante menos de un grado cada 100 metros. En estas condiciones los movimientos verticales del aire están muy limitados, por lo que hay poca o nula dispersión vertical de contaminantes. También puede producirse una estratificación indiferente o nula. En estas situaciones la variación de temperatura del estrato coincide con el gradiente vertical adiabático. La dispersión vertical de contaminantes no está limitada.

2.1.2.15 Modelo de difusión atmosférica.

Los modelos deterministas se basan en descripciones matemáticas de los procesos atmosféricos que determinan el transporte, la difusión, la transformación y la deposición superficial de los contaminantes emitidos al aire. Por tanto, estos modelos son capaces de proporcionar una relación matemática directa entre la intensidad de la fuente y las concentraciones en el receptor, un ejemplo de modelo determinista es un modelo de difusión en el que se calcula el campo de concentraciones de contaminantes a partir de manipulaciones matemáticas de datos específicos de entrada (tasas de emisión y parámetros atmosféricos) (Martínez, 2004).

Según García (2006), en la actualidad están disponibles una gran variedad de modelos de dispersión con una versatilidad tan amplia que pueden ser para el estudio de casos que van desde una sola fuente, en terreno plano y con un único receptor, hasta modelos aplicables a numerosas fuentes, de diferentes tipos (fijas o móviles) en terrenos complejos y en condiciones atmosféricas cambiantes.

Moreno et al. (2015) indica que, en general los modelos pueden ser clasificados en función de:

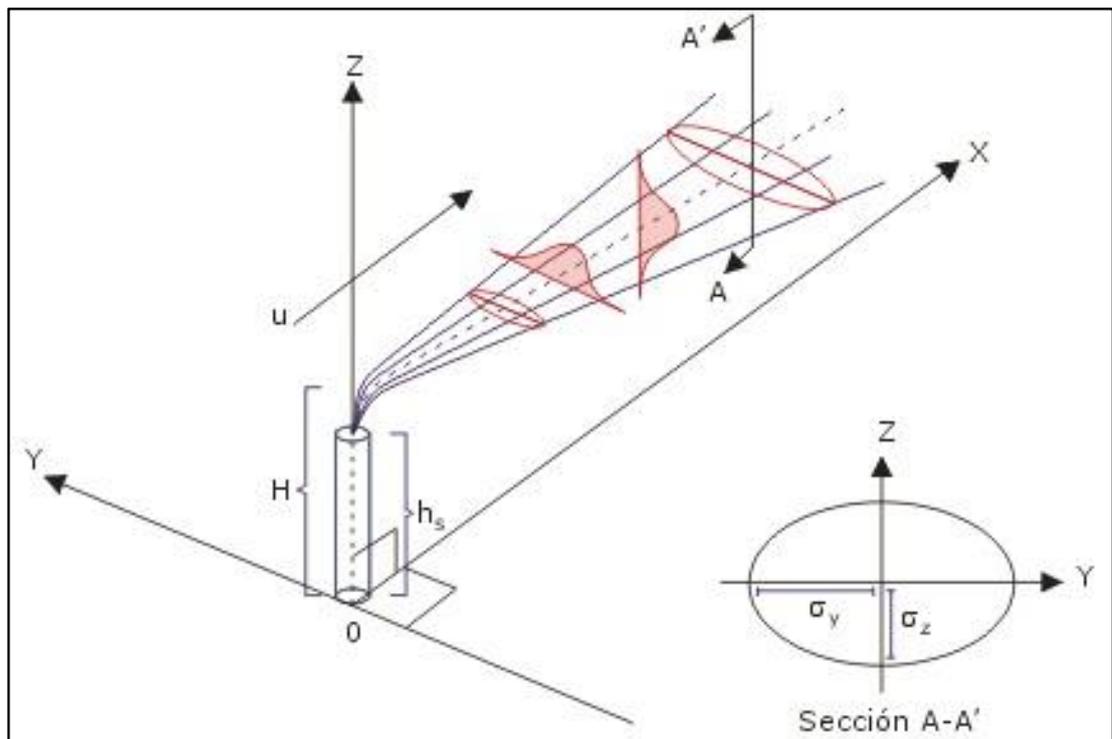
- Modelos tipo caja y multicaja.
- Con/sin reacciones químicas.
- Abierta o cerrada.
- Gaussianos o lagrangianos.
- De foco puntual.
- Lineal o superficial.

Asimismo Moreno (2015), sostiene que: “Los que más destacan son los modelos desarrollados en base al modelo gaussiano (modelo de Pasquill-Gifford) de degradación de las concentraciones. La teoría gaussiana que fundamenta los modelos de dispersión sostiene que una pluma emitida por una fuente viaja a favor del viento y se dispersa siguiendo un patrón gaussiano para la evolución de la concentración a través de las tres dimensiones del espacio”.

2.1.2.16 Modelo gaussiano de dispersión.

Según la investigación de la Universidad Pablo de Olavide (1997), el modelo de la columna de humo gaussiana se basa en las siguientes hipótesis: La columna de humo emitida por la chimenea se eleva hasta cierta altura efectiva, H , que es la suma de la altura de la chimenea, h , más el ascenso, Δh , debido al momento inicial del humo así como a la diferencia de temperaturas entre el gas saliente y el aire que le rodea. A partir de H la columna de humo se mueve horizontalmente en la dirección del viento (dirección x) con velocidad μ y se dispersa en las direcciones perpendiculares a éste, “ y ” y “ z ”. (y = horizontal, z = vertical) como se indica en la Figura 5.

Figura 5
Esquema del modelo de dispersion gaussiana.



Fuente: Turner, (1970)

La dispersión en el plano yz se debe principalmente a la turbulencia atmosférica y puede calcularse como una distribución gaussiana.

Ecuación 1

Distribución gaussiana.

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi\mu\sigma_y\sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2(\sigma_y)^2} + \frac{(z-H)^2}{2(\sigma_z)^2} \right]$$

Fuente: Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, (1997).

Dónde:

- $C_{(x, y, z)}$ es la concentración.
- Q es la cantidad de contaminante emitido por unidad de tiempo (g/s).
- μ es la velocidad del viento (m/s)
- σ_y y σ_z son coeficientes de dispersión turbulenta que dependen de la clase de estabilidad y de la distancia al foco en la dirección del viento, x.

2.1.2.17 Contaminantes provenientes de las fundiciones y refinerías.

Martínez (2003) indica que: “Una de las fases del ciclo minero es el procesamiento de los metales o metalurgia de extracción o refinamiento y se realiza en fundiciones o refinerías, Entre los métodos utilizados están la pirometalurgia, electrometalurgia y la hidrometalurgia. Esta fase genera impactos, amenazas y riesgos que de detalla en la Tabla 2”.

Además, hay que tener en cuenta que en la fase de Fundición y Refinería que se describe en el ciclo o proceso minero, es la obtención de metales y sus aleaciones con el uso de hornos industriales, eliminación de impurezas para alcanzar una alta ley de contenido; lo cual genera impacto al ambiente, como la generación de aguas residuales, residuos peligrosos y emisiones a la atmósfera (Gutiérrez y Moreno, 1997).

Tabla 2

Impactos, amenazas y riesgos en la fase de procesamiento del mineral.

Impactos	Amenazas	Riesgos
Producción de desechos químicos orgánicos e inorgánicos.	Emisión de gases.	Contaminación del aire, del agua y del suelo; en áreas muy concentradas de actividad industrial generan lluvias
Alto consumo de energía.	Emisión de metales pesados en la atmósfera.	ácidas transportadas a otras zonas.
Utilización de áreas para el depósito de escorias.		Potencial acumulación de metales pesados en suelos con vocación agropecuaria.

Fuente: Martínez, (2003).

Asimismo, estudios realizados demuestran que, en la mayoría de los casos, las distintas etapas del proceso metalúrgico generan grandes cantidades de contaminación tóxica a la salud y al ambiente. Así por ejemplo, las fundiciones primarias son fuente importante de contaminación por plomo, arsénico, cadmio y antimonio entre otros, y a su vez, muchas de ellas pueden emitir cantidades considerables de dióxido de azufre. Estas sustancias tóxicas contaminan el aire y los suelos, sea a través de las llamadas “emisiones fugitivas” o las que provienen de las chimeneas formalmente instaladas, y pueden también contaminar las aguas a través de efluentes industriales y aguas pluviales contaminadas (Cederstav & Barandiarán, 2002).

2.1.3 Contaminación del suelo.

2.1.3.1 Suelo.

El suelo puede definirse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico; se diferencia en horizontes y suministra, en parte, los nutrimentos y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y de agua (Fassbender, 1975).

2.1.3.2 Composición del suelo.

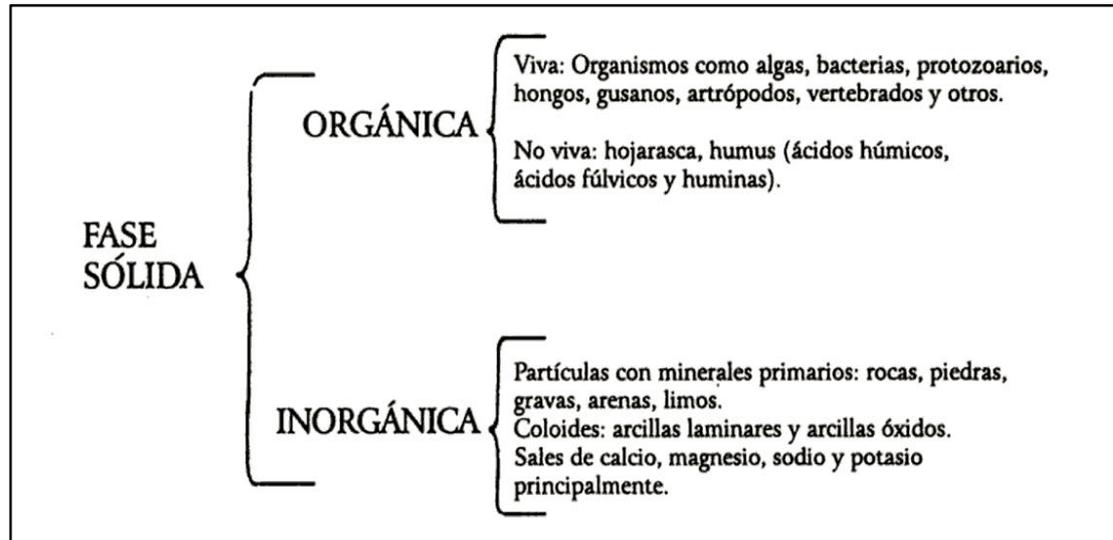
Según Bautista (1999), el suelo está constituido de tres fases que se corresponde con los estados físicos de la materia, es decir, sólida, líquida y gaseosa.

- La fase sólida puede dividirse en orgánica e inorgánica. (Figura 6)
- La fase líquida corresponde al agua del suelo y se compone principalmente de agua con iones y gases en disolución.
- La fase gaseosa incluye O₂, CO₂, CH₄, N₂, entre otros.

Las fases líquida y gaseosa, ocupan los espacios vacíos que existen entre las partículas de la fase sólida; dichos espacios también son llamados poros, estos pueden ser grandes (macroporos) o pequeños (microporos). En los microporos se retiene el agua y en los macroporos generalmente se encuentran gases.

Figura 6

Componentes de la fase sólida del suelo.



Fuente: Bautista, (1999).

2.1.3.3 Formación del suelo.

Siguiendo a Bautista (1999), los suelos se originan de manera natural por la combinación de cinco factores denominado “formadores de suelo”: roca, clima, organismos, relieve y tiempo. Estos factores originan o producen a su vez procesos que le dan forma al suelo, Los procesos formadores de suelo puede agruparse en cuatro tipos que son: de adición, pérdida, translocación y transformación. Dalzell et al., (1991) indica que la descomposición física ocurre por la acción del sol, viento, agua y de raíces de la planta. La descomposición química es causada por el ácido carbónico diluido formado por la disolución del dióxido de carbono (CO₂) del aire en el agua de lluvia, y por ácidos orgánicos formado al descomponerse animales muertos y plantas. Los fragmentos de roca descompuestos son los minerales. Además de ellos, el suelo contiene materia orgánica, organismos vivos, aire y agua.

2.1.3.4 Clasificación del suelo.

Los suelos se clasifican, en función a su tamaño de partícula en cuatro principales componentes: arcilla (tamaño de partícula menor a 0.002 mm), limo (0.002 – 0.05 mm), arena (0.05 – 2 mm) y grava (partículas mayores a 2 mm). Las cantidades relativas de cada tipo de partícula mineral determinan la textura de un suelo y tiene un impacto directo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Miller, 1994; Van Deuren et al., 2002). Los suelos de tipo arenoso son sueltos, fácilmente

drenables, se secan rápidamente y tienen reservas de nutrientes para las plantas. Los suelos de tipo arcilloso, son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente, y tienen buenas reservas de nutrientes para las plantas. Los suelos de tipo limoso son pesados, algo pobremente drenado y bajo en nutrientes. Un suelo con una composición equilibrada de cada tipo de mineral es un suelo agrícola ideal, fácil de trabajar y con buenas reservas de nutrientes. No se seca a pesar de drena libremente (Dalzell et al., 1991).

2.1.3.5 Estructura del suelo.

Según Arias (2001), la estructura del suelo se clasifican en:

- **Tipo:** Expresa la forma de los agregados y se clasifican en granular, migajosa, bloques, prismática, laminar o masiva, y de las cuales la granular y la migajosa son las mejores formas de los agregados por su mayor porosidad, aireación e infiltración del agua.
- **Clase:** Expresa el tamaño de los agregados y se clasifican en muy fina, fina, media, gruesa, muy gruesa según la escala dada en milímetros (mm) y que va de menos de uno a más de diez milímetros.
- **Grado de desarrollo:** Resistencia de los agregados a ser distribuidos bajo presión y se clasifican en fuerte, débil y moderado.

En cuanto al estado no estructural del suelo, las arenas se presentan en un estado de grano simple, sin estructura. Los limos y las arcillas no expandibles forman un sistema continuo, un estado no estructural masivo (Arias, 2001).

2.1.3.6 Suelo sano.

La FAO (2015), indica que: “Un suelo sano es un ecosistema vivo y dinámico, lleno de organismos microscópicos y de mayor tamaño que cumplen muchas funciones vitales, entre ellas transformar la materia inerte y en descomposición, así como los minerales, en nutrientes para las plantas (ciclo de los elementos nutritivos); controlar las enfermedades de las plantas, los insectos y malas hierbas; mejorar la estructura de los suelos con efectos positivos para la capacidad de retención de agua y nutrientes de los suelos y, por último, mejorar la producción de cultivos. Además,

los suelos sanos contribuyen a mitigar el cambio climático al mantener o aumentar su contenido de carbono”.

2.1.3.7 Degradación del suelo.

Los metales pesados, y en general los elementos traza, están presentes en relativamente bajas concentraciones (<mg/kg) en la corteza terrestre, los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas (anomalías) en los suelos es una degradación especial denominada contaminación. Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen geogénico o antropogénico. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los metales pesados antropogénicos derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, y residuos sólidos urbanos (RSU). La peligrosidad de los contaminantes en los suelos viene dada no sólo por su concentración total, sino especialmente por su disponibilidad. La movilidad de los elementos traza depende de su especiación, y también está afectada por diversos parámetros geoedáficos. En los últimos años se han obtenido diferentes aproximaciones a la especiación de elementos traza usando métodos directos e indirectos. La biodisponibilidad de los metales desde los suelos a las plantas y otros organismos y el riesgo para la salud siguen siendo cuestiones por resolver (Galán & Romero, 2008).

2.1.3.8 Efectos desfavorables de la contaminación del suelo.

Según Giuffré et al. (2003), los efectos son:

- Destrucción del poder de autodepuración por procesos de regeneración biológica normales al haberse superado la capacidad de aceptación del suelo. Se ven afectados los ciclos biogeoquímicos de los elementos y la función del suelo como biofiltro.
- Disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento normal de los microorganismos del suelo, o bien alteración de su biodiversidad, lo que hace aumentar la fragilidad del sistema.
- Disminución de los rendimientos de los cultivos con posibles cambios en la composición de los productos, con riesgo para la salud de los consumidores, al entrar determinado elementos en la cadena trófica.

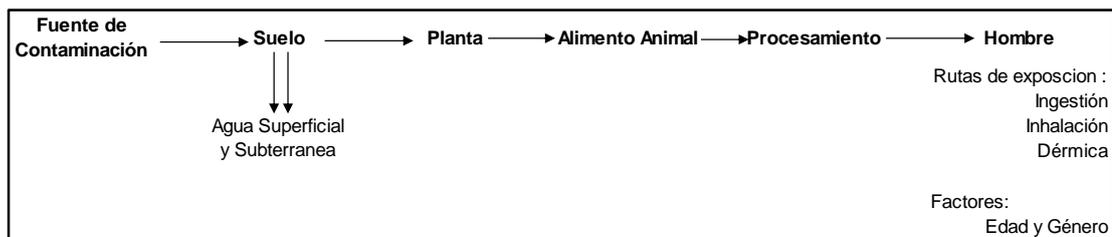
- Contaminación de aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia, se alcanzan concentraciones superiores a las consideradas aceptables.
- Disminución de las funciones de soporte de actividades de recreación. Los espacios contaminados presentan problemas de salubridad para los usuarios.

El suelo presenta una cierta capacidad buffer o tampón frente a los contaminantes incorporados, por eso el efecto de los mismos se manifiesta luego de un tiempo. Dada la facilidad de transmisión de contaminantes del suelo a otros medios como el agua o la atmósfera, serán estos los que generen efectos nocivos, aun siendo el suelo el responsable indirecto del daño (Giuffré et al., 2003).

2.1.3.9 Exposición humana a contaminantes del suelo.

Siguiendo a Giuffré et al. (2003), nos indica que el componente principal de este diagrama de flujo es la cadena alimentaria humana, es necesario diferenciar los diferentes pasos de un pululante desde la adsorción por las plantas hasta llegar al hombre como se indica en la Figura 7.

Figura 7
Diagrama de flujo.



Fuente: Giuffré et al., (2003).

2.1.3.10 Suelo contaminado.

Según Orozco et al. (2003), se denomina suelo contaminado a una porción de terreno, superficial o subterránea, cuya calidad ha sido alterada como consecuencia del vertido, directo o indirecto, de residuos o productos peligrosos. El origen de las alteraciones que se producen en el suelo no puede atribuirse a una sola causa. La contaminación puede aparecer como resultado de actividades industriales, agrícolas o

de servicios (actuales o pasadas), aunque es el sector industrial el principal agente contaminante.

La contaminación de los suelos se suele dividir en dos tipos:

A. Contaminación endógena: Si se producen desequilibrios en los constituyentes del suelo, provocando variaciones de algunas especies a concentraciones nocivas para los seres vivos:

- Movilización de metales a causa de procesos de acidificación.
- Disminución de Mn^{+2} por presencia de especies metálicas que catalizan su oxidación.
- Aumento del porcentaje de Na en el suelo, produciendo una salinización del mismo que influye en los cultivos.

B. Contaminación exógena: Si es provocada por distintos tipos de vertidos o productos agrícolas en exceso (metales, hidrocarburos, pesticidas, fertilizantes, etc.), con componentes ajenos a la composición inicial del suelo.

2.1.3.11 Clases de contaminación del suelo.

Según Ramos (2005), se suelen diferenciar dos clases de contaminación del suelo:

- **Contaminación difusa:** Esta generalmente relacionada con la deposición atmosférica, con determinadas prácticas agrícolas y con el tratamiento y reciclaje inadecuados de los lodos de depuración y agua residuales.
La deposición atmosférica esta originada, principalmente, por las emisiones de la industria, el tráfico y la agricultura. La deposición de contaminantes atmosféricos introduce en el suelo agentes contaminantes acidificantes (por ejemplo, SO_2 , NO_x), metales pesados (como el cadmio, plomo, arsénico y mercurio) y diversos compuestos orgánicos (como dioxinas). Estos elementos contaminantes contribuyen a que el suelo donde se depositan pierda su fertilidad.
- **Contaminación local:** Este tipo de contaminación del suelo va unida, generalmente, a la minería (la generación de aguas acidas), las instalaciones industriales, los vertederos y otras instalaciones (tanto en

funcionamiento como tras su cierre), por el almacenamiento de lodos o el uso de ciertos reactivos químicos.

El vertido de residuos constituye otra actividad contaminante ya que los lixiviados pueden afectar al suelo circundante y al sustrato geológico pudiendo pasar a las aguas superficiales o subterráneas.

2.1.3.12 Fuentes de contaminación del suelo.

Las fuentes de contaminación en el suelo son numerosas, y de muy diversa naturaleza, pudiéndose agrupar en dos categorías: contaminantes espaciales o difusos, no localizados en el espacio debido a que se localizan en numerosos puntos dispersos, y contaminantes localizados o puntuales; la contaminación puntual, perfectamente definida, es generalmente de una alta concentración de contaminantes por unidad de superficie (Concepción et al. 2003).

Se puede reducir a seis grandes temas las afecciones más importantes al suelo:

- Como consecuencia de actividades industriales, las concentraciones de metales pesados (mercurio, cobre, cadmio, plomo, níquel, etc.) en el suelo pueden aumentar de forma considerable lo que da lugar a la contaminación de los agrosistemas o ecosistemas naturales.
- Las fuentes de contaminación por metales pesados son muy diversas: los fungicidas e insecticidas (p.e. caldos bordéles y arseniato de plomo), que contienen cantidades significativas de metales pesados; los fertilizantes, con impurezas que incluyen metales pesados; diversas fuentes de emisión (fundiciones y refinerías de metales, combustión de gasolinas y aceites lubricantes, industrias de aceros, etc.); los lodos de las depuradoras; los desechos de las granjas; los residuos de la industria minera; y accidentes en los sistemas de contención y protección en las instalaciones industriales.
- Uso excesivo o inadecuado de agroquímicos como fertilizantes, reguladores de crecimiento, enmiendas minerales, productos fitosanitarios, etc., que conducen a la permanencia de residuos en los suelos, acuíferos y cosechas.

- Uso de agua inadecuadas para el riego o encharcamiento de suelos, procedentes de aguas superficiales contaminadas.
- Uso de fertilizantes inapropiados: basuras municipales, desechos o subproductos de industrias agrarias, lodos de depuradora, etc.
- Los enterramientos de residuos municipales industriales (radiactivos o no) o mineros, que presentan un serio punto de contaminación dependiendo del tamaño del depósito a los procesos de difusión por lavado o evaporación al medio que lo rodea.
- La contaminación microbiana causados por las aguas de riego afectadas por los usos urbanos e industrial; es una de las causas más graves de contaminación orgánica, tanto bacteriana como vírica.

2.1.3.13 Contaminantes del suelo.

Según Soledad (2009), se entiende por suelo contaminado como aquella porción del terreno, superficial o subterráneo cuya calidad ha sido alterada como consecuencia del vertido concreto, directo o indirecto de residuos o productos tóxicos peligrosos. Los contaminantes aéreos son, generalmente, emitidos sobre la tierra, se entiende que muchos tóxicos dejarán la atmósfera para caer en la tierra y entrar al suelo, en donde los contaminantes pueden ser transformados químicamente por los organismos que habitan en el suelo, pudiendo pasar a las plantas que crecen en él, a los cuerpos de agua a través de la lluvia, o si el contaminante es volátil, puede pasar a la atmósfera.

Asimismo Soledad (2009), indica que: “Entre los principales contaminantes del suelo se encuentran los contaminantes orgánicos tales como el benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, los fenoles, los policlorobifenilos (PCBs), los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) y los pesticidas. Entre los contaminantes inorgánicos destacan los metales pesados, y entre estos hay que separarlos en los grupos de los que son tóxicos a altas concentraciones (Cu, Zn, Mn, Fe y Cr) y los que son tóxicos a bajas concentraciones (Cd, Hg, Pb, Ni, Se y As)”.

2.1.3.14 Metales pesados.

Bautista (1999), indica que: “En condiciones normales, la mayoría de los compuestos de los metales potencialmente tóxicos se encuentran en cantidades

fijadas por consideraciones de orden geológico y en formas químicas muy insolubles, por lo tanto, no representan un peligro para la biota. No obstante, como consecuencia de las diversas actividades humanas, principalmente la industria, esta situación ha cambiado radicalmente, se han acumulado en los suelos diversos compuestos de estos elementos en grandes cantidades y/o formas solubles rompiendo el equilibrio natural y causando la contaminación de acuíferos y, en ocasiones, la introducción de estos elementos en la red trófica”.

Según Jiménez (2017), el término metales pesados se utiliza de forma general para denominar a todos aquellos elementos químicos cuyo peso específico es superior a $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, o bien tienen un número atómico superior a 20, excluyendo metales alcalino y alcalinotérreos. La tabla periódica incluye unos 70 elementos metálicos, y de ellos 59 pueden ser considerados “metales pesados”, que son aquellos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol) (Galán & Romero, 2008).

2.1.3.15 Fuentes de metales pesados.

Ramos (2009), indica que: “En general se pueden distinguir dos tipos de fuentes de contaminación por metales pesados en suelos: naturales y antropogénicas”.

A. Fuentes naturales: Es una contaminación química de origen natural, pudiéndose citar como ejemplos las erupciones volcánicas, la formación de menas, etc. Ramos (2009) El contenido inicial de metales pesados en un suelo es debido al material original. (Ver Tabla 3 y 4)

Según Kiely (1999), conociendo el tipo de roca y los minerales que la conforman puede deducirse los metales pesados que pudieran encontrarse. Por ejemplo, en rocas sedimentarias se tienen mayores probabilidades de encontrar arsénico y mercurio y selenio que en las ígneas; en el granito es más probable encontrar plomo y talio que en el basalto.

Tabla 3*Metales pesados asociados a minerales primarios.*

Minerales sulfurosos (primarios)	Metales pesados asociados
Galena (PbS)	Ag, Au, As, Ba, Bi, Cr, Hg y Ni
Esfarelita (ZnS)	Sb, Sn, Te y Tl
Calcopirita (CuFeS ₂)	Ag, Co, Ge, In, Mn, Ni, Se y Sn
Pirita (FeS ₂)	Ag, As, Au, Co, Cu, Ni, Pb, Ti y Tl
Arsenopirita (FeAsS)	Co, Mn y Ni

Fuente: Bautista, (1999).**Tabla 4***Metales pesados asociados a minerales secundarios.*

Minerales secundarios	Metales pesados asociados
Óxidos de hierro (Fe _x O _y)	V, Mn, Cu, Zn y Mo
Óxidos de manganeso (Mn _x O _y)	Fe, Co, Ni, Zn y Pb
Carbonatos de calcio (CaCO ₃)	V, Mn, Fe, Co, Cd, y Pb
Esmectitas	Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co y Ni
Vermiculitas	Ti, Mn y Fe

Fuente: Bautista, (1999).

B. Fuentes antrópicas: Las fuentes antrópicas las podemos clasificar en puntuales (fijas) y no puntuales (móviles) dependiendo de su procedencia, dentro de las primeras tenemos a las industrias, las carreteras (aun cuando no son la fuente de metales pesados es allí donde se expiden de manera fija y continua) y demás. Dentro de las segundas a: los lodos residuales, fertilizantes, las cenizas y humos (transportados vía vientos de manera esporádica), los pesticidas, el riego, etc. En la Tabla 5 se muestran algunos elementos que se encuentran en las diversas fuentes antrópicas (Bautista, 1999).

Tabla 5
Fuentes antrópicas de metales pesados.

Fuentes	Metales Pesados
Lodos residuales	Cd, Pb, As, Cr, Zn, Co, B, Ba, Be, Br, Ce, Cu, Mn, Co, Ge, Hg, Mo, Ni, Rb, Sn, Sr, V y Zr
Riego	Cd, Pb, Se
Fundidoras	Pb, Cd, Sb, As, Se, In y Hg
Plaguicidas	Pb, As, Hg, Br, Cu, V y Zn
Fertilizantes	Cd, Pb, As, B, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Sc, Se, Sn, Sr, Te, U, V, Zn, y Zr
Minas	Pb, Cd, As, Hg, etc.
Abonos	As, Se, Ba, Br, Co, Cr, Cu, F, Ge, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn y Zr
Automóviles	Pb
Pinturas	Pb, Cd
Carbonatos	As, B, Ba, Ce, Cr, Cu, F, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V, Zn y Zr
Combustión de Carbón	As, Se, Sb, Pb

Fuente: Fergusson, (1990).

2.1.3.16 Índices de la calidad del suelo.

En sentido amplio, las propiedades físicas y químicas de un suelo determinan su calidad. Las propiedades físicas, tales como la densidad aparente y la textura influyen sobre la aireación, permeabilidad y capacidad de retención hídrica. Las propiedades químicas se relacionan con la concentración de constituyentes inorgánicos y orgánicos que determinan atributos como fertilidad, actividad biológica y grado de contaminación. En una escala práctica, se consideran aspectos como la capacidad de un suelo de producir alimentos y fibras, sus propiedades y limitaciones para la construcción y la habilidad para mantener un ecosistema o un uso dado de la tierra, lo que se denominan funciones del suelo (Jiménez, 2017).

2.1.3.17 Indicadores de la calidad del suelo.

Según Doran y Parkin (1994), la calidad del suelo se puede evaluar mediante indicadores que reflejen los cambios en la capacidad del suelo y en su función. Los indicadores comúnmente utilizados corresponden a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y deben cumplir las siguientes condiciones.

- Describir los procesos del ecosistema.
- Integrar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir.
- Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo.

- Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo.
- Ser reproducibles.
- Ser fáciles de entender.
- Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo varían dependiendo del tipo, uso, función y factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992). Según La identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende de objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental.

En virtud que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, Larson y Pierce (1991); Doran Parkin (1994) y Seybold et al. (1997) plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo.

- **Indicadores Físicos:** Textura, profundidad del suelo superficial, infiltración, densidad aparente y capacidad de retención de agua.
- **Indicadores Químicos:** Materia orgánica (N y C total), pH, Conductividad eléctrica, P, N y K extraíbles.
- **Indicadores Biológicos:** C y N de la biomasa microbiana, respiración, humedad y temperatura y N mineralizable.

2.1.4 Calidad del suelo.

Se podría pensar que un suelo está contaminado cuando se superan los niveles naturales o de fondo de ese suelo, pero hoy en día es fácil superar esos niveles de fondo por la emisión de muchos contaminantes procedentes de fuentes industriales, domésticas, transporte, sin que suponga daños, al menos evidentes, en el ecosistema. Por esto es necesario mantener los niveles de contaminación por lo menos dentro de unos límites que aseguren la calidad de los suelos, pero es complicado aplicar el término de calidad a un medio que es tan variable en su composición y en su uso (Rábago, 2010).

El riesgo de que un contaminante presente en un suelo pueda suponer la existencia de contaminación en el mismo se evalúa a partir de la concurrencia de tres factores (Jiménez, 2017):

- La concentración de contaminantes en el suelo.
- La exposición a la contaminación de las personas por diferentes vías.
- La toxicidad de las sustancias.

Jiménez, (2017), indico que la concentración total del metal en el suelo es el valor de referencia que más se suele utilizar, aunque es un valor que no corresponde a la dosis tóxica, ya que parte del metal puede estar fijado a componentes del suelo y no provocar efectos negativos. En este contexto, al investigar un emplazamiento contaminado no basta con detectar la presencia de un contaminante sino que es preciso definir los máximos niveles admisibles y los posibles factores que puedan influir en la respuesta del suelo a los agentes contaminantes, como son:

- **Vulnerabilidad:** Es el grado de sensibilidad (o debilidad) del suelo frente a la agresión de los agentes contaminantes.
- **Poder de amortiguación:** Se refiere al conjunto de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que hacen del suelo un cuerpo con capacidad para activar los efectos negativos de los contaminantes, mediante funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc.
- **Biodisponibles:** Es la capacidad de asimilación del contaminante por los organismos, y en consecuencia la posibilidad de causar algún efecto, negativo o positivo.
- **Movilidad:** Se refiere a la distribución del contaminante y por tanto su posible, transporte dentro del suelo y hacia otros sistemas.
- **Persistencia:** Tiempo durante el que permanece activo en el suelo y, por tanto, es una medida de su peligrosidad.
- **Carga crítica:** Representa la cantidad máxima de un determinado contaminante que puede ser aportado a un suelo sin que se produzcan efectos nocivos.
- **Riesgo para la salud humana o el medio ambiente:** Es la probabilidad de que un contaminante presente en el suelo entre en contacto con algún

receptor con consecuencias adversas para la salud de las personas o el medio ambiente.

A continuación, se presentan los estándares de calidad ambiental para evaluar las concentraciones de los parámetros inorgánicos y los parámetros fisicoquímicos en el suelo.

2.1.4.1 Estándares de calidad ambiental para suelo.

Según el DS N°011-2017-MINAM (2017), los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

A continuación se indica en la Tabla 6 las normas reguladoras para calidad del suelo.

Tabla 6
Estándares de calidad ambiental para suelo.

Parámetros en mg/kg	Uso del Suelo		
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelos Comercial / Industrial / Extractivo
Arsénico	50	50	140
Bario Total(*)	750	500	2000
Cadmio	1.4	10	22
Cromo Total	**	400	1000
Cromo VI	0.4	0.4	1.4
Mercurio	6.6	6.6	24
Plomo	70	140	800
Cianuro Libre	0.9	0.9	8

Fuente: DS N°011-2017-MINAM, (2017).

(*) De acuerdo con la metodología de Alberta Environment (2009): Soil remediation guidelines for barite: Environmental Health and Human Health. ISBN No. 978-0-7785-7691-4. En el caso de sitios con presencia de baritina se podrán aplicar los valores establecidos para bario total real en la Tabla 7. Un sitio con presencia de baritina se determina cuando todas las muestras de suelo cumplen con los valores establecidos para bario extraíble, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 7. (MINAM, 2017)

Tabla 7*Valores para el bario en sitios con presencia de baritina.*

Parámetros en mg/kg	Uso del Suelo		
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelos Comercial / Industrial / Extractivo
Bario Extraíble (Extractable Barium)	250	250	450
Bario total real en sitios con presencia de baritina (True total Barium at Barite Sites)	10000	10000	15000 (**) 140000 (***)

Fuente: DS N°011-2017-MINAM, (2017).**Nota:** (**) Suelo Comercial, (***) Suelo Industrial /Extractivo.

2.1.4.2 Canadian environmental quality guidelines for soil.

Las Pautas Canadienses de Calidad Ambiental (CEQG, por sus siglas en inglés) referenciados en la Tabla 8 proporcionan objetivos basados en la ciencia para la calidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres según la Canadian Council of Ministers of the Environment (1999).

Tabla 8*Canadian environmental quality guidelines for soil.*

Nombre Químico	Concentración (mg/kg)	Concentración (mg/kg)	Concentración (mg/kg)	Concentración (mg/kg)
	Agricultura	Residencial/ Parques	Comercial	Industrial
Antimonio	20	20	40	40
Arsénico	12	12	12	12
Bario	750	500	2000	2000
Cadmio	1.4	10	22	22
Cianuro	0.9	0.9	8	8
Cromo	64	64	87	87
Total				
Cromo VI	0.4	0.4	1.4	1.4
Cobre	63	63	91	91
Plomo	70	140	260	600
Plata	20	20	40	40
Mercurio	6.6	6.6	24	50
Selenio	1	1	2.9	2.9
Zinc	200	200	360	360

Fuente: CCME – Canadian Soil Quality Guidelines, (1999).

2.1.4.3 Análisis de caracterización de suelos.

La movilidad de un metal depende no sólo de su especiación química, sino de una serie de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc. Así, no todos los cationes de cambio están igualmente disponibles, sino que depende del mineral o minerales de los que están formando parte como complejo de cambio (Galán & Romero, 2008).

Asimismo, Galán & Romero, (2008) indican que, “en general, la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes inferiores en muy pequeñas cantidades. Por eso la presencia de altas concentraciones en el horizonte superior decrece drásticamente en profundidad cuando la contaminación es antrópica. Esto sucede precisamente porque la disponibilidad de un elemento depende también de las características del suelo en donde se encuentra”.

A. Potencial de hidrogeno (pH): El pH de un suelo no es otra cosa que la cantidad de iones H^+ libres en la solución del suelo (acidez activa), medida potenciométricamente de acuerdo a la Tabla 9. (Ruda de Schenquer et al., 2004). Según Galán & Romero (2008), la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido porque son menos fuertemente adsorbidos, excepto As, Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino.

Tabla 9
Niveles de pH en el suelo.

Descripción	pH (Unidades)
Ultra ácido	< 3.5
Extremadamente ácido	3.5 – 4.4
Muy fuertemente ácido	4.5 – 5.0
Fuertemente ácido	5.1 – 5.5
Moderadamente ácido	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 – 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 – 9.0
Muy fuertemente alcalino	> 9.0

Fuente: Soil Survey Manual, (2017).

B. Conductividad eléctrica (CE): Según Salinas & Ramiro (1986), la medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene (Tabla 10). Según Galán & Romero (2008), el aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales y su retención por dos mecanismos. Primeramente, los cationes Na y K pueden reemplazar a metales pesados en lugares de intercambio catiónico. En una segunda fase, los aniones cloruro y sulfato pueden formar compuestos más estables con metales tales como Pb, Zn, Cu, Cd y Hg.

Tabla 10
Niveles de salinidad en el suelo.

Descripción	C.E en dS/m (mS/cm) a 25°C	Efectos
No salino	< 2	Despreciable en su mayoría.
Muy ligeramente salino	2 – 4	Quedan afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles.
Ligeramente salino	4 – 8	Quedan afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos.
Moderadamente salino	8 – 16	Solo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes.
Fuertemente salino	>16	Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables.

Fuente: Soil Survey Manual, (2017).

C. Carbonato de calcio ($CaCO_3$): Según la FAO (2009), los carbonatos en el suelo son residuos del material original o el resultado de la neoformación (carbonatos secundarios). Estos últimos se concentran principalmente en forma de cal suave en polvo, revestimientos en agregados, concreciones, costras superficiales o del subsuelo, o bancos duros. (Tabla 11). Según Galán & Romero (2008), la presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de los altos pH, y en estas condiciones tienden a precipitar los metales pesados. El Cd y otros metales tienden a quedar adsorbidos por los carbonatos. El carbonato de calcio, el principal componente de la piedra caliza, es una enmienda muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio (Ca) para la nutrición de las plantas.

Tabla 11*Niveles de carbonato de calcio en el suelo.*

Clases	Carbonato de Calcio (%)	Descripción
No calcáreo	0	No detectable visiblemente ni efervescencia audible
Ligeramente calcáreo	0 – 2	Se escucha la efervescencia pero no es visible
Moderadamente calcáreo	2 – 10	Efervescencia visible
Fuertemente calcáreo	10 – 25	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma
Extremadamente calcáreo	> 25	Reacción extremadamente fuerte. Se forma la espuma espesa rápidamente

Fuente: FAO, (2009).

D. Materia orgánica (MO): La MO representa una pequeña fracción de la masa de la mayor parte de los suelos (Tabla 12), en general entre 1 y 6% del horizonte A y decrece en profundidad (Thompson & Troeh, 1988). Según Galán & Romero (2008), la materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio o quelatos. La adsorción puede ser tan fuerte que queden estabilizados, como el caso del Cu, o formen quelatos también muy estables, como puede pasar con el Pb y Zn. En muchos casos se forman complejos organometálicos lo que facilita la solubilidad del metal, la disponibilidad y dispersión porque pueden degradarse por los organismos del suelo. Esto conduce a una persistencia de la toxicidad.

Tabla 12*Niveles de materia orgánica en el suelo.*

Descripción	Materia Orgánica (%)
Bajo	< 2.0
Medio	2.1 – 4.0
Alto	4.1 – 10.0
Muy alto	> 10.0

Fuente: Fassbender, (1975).

E. Fósforo (P): Según Donald (1996) el contenido de fósforo en el suelo se expresa en partes por millón (ppm), e indica las partes de fósforo asimilable o capaz de ser absorbido por las raíces de las plantas, disuelto en un millón de gramos de suelo (Tabla 13).

Tabla 13*Niveles de fósforo en el suelo.*

Nivel	Fósforo (mg/kg)
Bajo	< 7
Medio	7 – 14
Alto	> 14

Fuente: Bazán et al., (2000).

F. Potasio (K): Según Navarro-Pedreño et al. (2003), sostiene que con independencia del que se añade como componente de diversos fertilizantes, el potasio presente en los suelos aparece por desintegración y descomposición de las rocas que contienen minerales potásicos (Tabla 14).

Tabla 14*Niveles de potasio en el suelo.*

Nivel	Potasio (mg/kg)
Bajo	< 120
Medio	120 – 240
Alto	> 240

Fuente: CGTA, (2017).

G. Textura del suelo: Según Stocking & Murnaghan (2003), la textura del suelo es el “tacto” de un suelo, y está constituida por las proporciones relativas de los diferentes tipos y tamaños de partículas que forman el suelo (Tabla 15). Según Galán & Romero (2008), los suelos arcillosos retienen más metales por adsorción o en el complejo de cambio de los minerales de la arcilla. Por el contrario, los arenosos carecen de capacidad de fijación y puede contaminarse el nivel freático.

Tabla 15
Clases texturales del suelo.

Clase textural	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Arenoso	86 – 100	0 – 14	0 – 10
Arenoso franco	70 – 86	0 – 30	0 – 15
Franco arenoso	50 – 70	0 – 50	0 – 20
Franco	23 – 52	28 – 50	7 – 27
Franco limoso	20 – 50	74 – 88	0 – 27
Limoso	0 – 20	88 – 100	0 – 12
Franco arcilloso	20 – 45	15 – 52	27 – 40
Franco arenoso arcilloso	45 – 80	0 – 28	20 – 35
Franco limoso arcilloso	0 – 20	40 – 73	27 – 40
Arcilloso arenoso	45 – 65	0 – 20	35 – 55
Arcilloso limoso	0 – 20	40 – 60	40 – 60
Arcilloso	0 – 45	0 – 40	40 – 100

Fuente: Soil Survey Manual, (2017).

H. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): Según Gliessman (2002), las partículas de arcilla y humus, separadas o en conjunto, forman estructuras como láminas conocidas como micelas, las cuales tienen superficies con carga negativa y atraen a los iones positivos que son más pequeños y móviles. La cantidad de sitios disponibles en las micelas para enlazar iones positivos (cationes) determina lo que se llama Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo (Tabla 16). Según Galán & Romero (2008), indica que el poder de intercambio catiónico depende del tipo de minerales de la arcilla, de la materia orgánica, de la valencia y del radio iónico hidratado del metal. A mayor tamaño y menor valencia, menos frecuentemente quedan retenidos.

Tabla 16
Niveles de capacidad de intercambio catiónico en el suelo.

Descripción	Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 gramos = cmol/kg)
Muy alto	> 35
Alto	20 – 35
Moderado	12 – 20
Bajo	6 – 12
Muy bajo	< 6

Fuente: Instituto Agrario Nacional, (1973).

I. Bases intercambiables y saturación de bases: Según i & Valencia, (1983), el porcentaje de saturación de bases es una medida de la proporción relativa de cationes básicos (Ca, Mg, K, Na) que ocupan los sitios de intercambio. Entre más ácido sea

un suelo, menor será el porcentaje de saturación de bases, ya que un número creciente de los sitios de intercambio son ocupados por Al^{+3} y H^+ , debido a la pérdida de Ca, Mg, K y Na del sistema (Tabla 17 y 18).

Tabla 17
Niveles de bases intercambiables.

Descripción	Bases Intercambiables (meq/100 gramos)
Muy alto	> 20
Alto	12 – 20
Regular	6 – 12
Moderado	2 – 6
Bajo	1 – 2
Muy bajo	0.5 – 1

Fuente: Instituto Agrario Nacional, (1973).

Ecuación 2
Saturación de Bases.

$$\text{Saturación de bases (\%)} = \frac{(\sum \text{de Ca, Mg, K y Na}) \times 100}{CIC}$$

Fuente: Kass, (1996).

Dónde:

- Ca, Mg, K y Na: Cationes.
- CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

Tabla 18
Niveles de saturación de bases.

Descripción	Saturación de Bases (%)
Muy débilmente lixiviado	70 – 100
Débilmente lixiviado	50 – 70
Moderadamente lixiviado	30 – 50
Fuertemente lixiviado	15 – 30
Muy fuertemente lixiviado	0 – 15

Fuente: Instituto Agrario Nacional, (1973).

Actualmente existe una fuerte tendencia a utilizar dos clasificaciones que pueden ser calificadas como internacionales, estas son la Soil Taxonomy, presentada por el Soil Survey Staff de los Estados Unidos, y la desarrollada por la FAO/UNESCO para la obtención de un mapa de suelos a nivel mundial

J. Taxonomía de los suelos: La taxonomía de Suelos, llamada morfológica y morfométrica por muchos científicos de suelos, por cuanto clasifica los suelos por sus características cualitativas y cuantitativas surgió en 1975 (Núñez, 1981). La Taxonomía de Suelos es un Sistema Básico de Clasificación de Suelos para la Elaboración e Interpretación de Levantamientos de Suelos (USDA, 2014).

Suelo, en este texto (Soil Taxonomy), es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural (Soil Survey Staff, 1999).

Según Núñez (1981), en la Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy), las bases de la clasificación son las siguientes:

- Se trata de clasificar los suelos por sistemas no genéticos (basado en los factores o procesos formadores de suelos o ambos). La génesis es usada solo como una guía en la selección de las propiedades del suelo.
- Los suelos se definen con base en sus propiedades actuales o en las propiedades promedio anuales (por ejemplo: pH, materia orgánica, humedad del suelo temperatura del suelo).
- Su objetivo práctico es clasificar suelos para tomar decisiones agronómicas o para usos cartográficos. Además lleva implícita una estructura científica que satisface diversos objetivos en áreas de investigación.
- Las definiciones son precisas y cuantitativas.

Es una clasificación de suelos en función de varios parámetros (y propiedades) que se desarrolla en niveles: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia, y Serie (Ver Tabla 19).

Tabla 19*Órdenes de la taxonomía de suelos y sus principales características.*

Orden	Descripción
Alfisols	Suelos de regiones húmedas, por lo que se encuentran húmedos la mayor parte del año. Con un % de saturación de bases superior al 35%. Sus horizontes sub-superficiales muestran evidencias claras de traslocación de partículas de arcilla (Clayskins) que provienen posiblemente de molisoles. En los trópicos se presentan con pendientes mayores de 8 a 10% y vegetación de bosque refleja su alta fertilidad. Son suelos jóvenes, comúnmente bajo bosques de hoja caediza.
Andisols	Suelo desarrollado en depósitos volcánicos (como ceniza volcánica, piedra pómez, carbonillas y lava) y/o en materiales piroclásticos. Suelos de las regiones subhúmedas y húmedas. Poseen buena acumulación de humus. Poseen evidencia de mayor desarrollo que los entisoles. Alta productividad natural. Con textura franco arenosa. Se caracterizan por su mineralogía, en la que se encuentran minerales de poco ordenamiento cristalino (amorfos) como la imogolita y el alofano.
Aridisols	Suelos típicos de zonas desérticas. Las bajas precipitaciones producen que sean suelos poco lixiviados. Pobres en materia orgánica. Suelos de baja tasa de formación y descomposición. Tienen desarrollado un horizonte cálcico por iluviación. Muchos tienen bien desarrollado un horizonte argílico que indican un anterior clima más húmedo. Suelos de colores claros.
Entisols	Suelos de regolito. Tienen menos del 30% de fragmentos rocosos. Formados típicamente tras aluviones de los cuales dependen mineralmente. Suelos jóvenes y sin horizontes genéticos naturales o incipientes. Permanecen jóvenes debido a que son enterrados por los aluviones antes de que lleguen a su madurez (Nilo). El cambio de color entre horizonte A y C es casi imperceptible. Son pobres en materia orgánica, y en general responden a abonos nitrogenados. Son abundantes en muchas áreas en posiciones de diques, dunas o superficies sometidas a acumulaciones arenosas de origen eólico.
Gelisols	Suelo permanentemente helados. Estructuralmente, los gelisoles pueden tener un horizonte B y más comúnmente tienen un horizonte A y/o un horizonte O descansando sobre el permafrost. Debido a que la materia orgánica del suelo se acumula en la capa superior, la mayoría de los gelisoles son de color negro o marrón oscuro en el color del suelo, seguidos por una capa mineral poco profunda. A pesar de la influencia de la glaciación en la mayoría de las áreas donde se producen los gelisoles, químicamente no son muy fértiles porque los nutrientes, especialmente el calcio y el potasio, se filtran fácilmente por encima del permafrost.
Histosols	Suelos orgánicos. Se desarrollan en ambientes de condiciones húmedas o frías. El suelo se encuentra saturado en agua al menos una vez al año. Su grado de evolución está asociado con el proceso de descomposición de sus materiales orgánicos. El material original de estos suelos consta de material vegetal poco descompuesto mezclado

Inceptisols	<p>con cantidades variables de material terroso. Es un suelo muy liviano. Se forman en zonas depresionales de los páramos. pH en general ácido, fertilidad y productividad variable de acuerdo con la adecuación de la zona y el grado de evolución del material orgánico.</p> <p>Suelos con características poco definidas. No presentan intemperización extrema. Suelos de bajas temperaturas, pero de igual manera se desarrollan en climas húmedos (fríos y cálidos). Presentan alto contenido de materia orgánica. Tienen una baja tasa de descomposición de la materia orgánica debido a las bajas temperaturas, pero en climas cálidos la tasa de descomposición de materia orgánica es mayor. pH ácido. Usualmente presentan permafrost. Poseen mal drenaje. Acumulan arcillas amorfas. Son una etapa juvenil de futuros ultisoles y oxisoles. Son suelos volcánicos recientes. Predominan en la cordillera de los Andes junto a los entisoles y en la parte más alta los ultisoles. pH y fertilidad variables dependientes de la zona: alta en zonas aluviales y baja en sedimentos antiguos y lavados sobre los cuales evolucionan el suelo, materia orgánica variable.</p>
Mollisols	<p>Suelos de zonas de pastizales. Ubicados en climas templados, húmedos y semiáridos. No presentan lixiviación excesiva. Suelos oscuros, con buena descomposición de materia orgánica gracias a los procesos de adición y estabilización (melanización). Saturación de bases superior al 50%. Suelos productivos debido a su alta fertilidad. Suelos bien estructurados. Suelos formados a partir de sedimentos minerales en climas templados húmedos a semiáridos. Cobertura vegetal integrada principalmente por gramíneas. Dominancia de arcillas.</p>
Oxisols	<p>Suelos tropicales ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio. Presentan proporción de arcillas 1:1. Se forman sobre antiguos suelos de trópicos húmedos. Suelos muy meteorizados. Suelos de escasa fertilidad. Tienden a presentar texturas finas debido a su alto grado evolutivo y a la relación del mismo con el tamaño de las partículas. Los oxisoles son suelos de alta evolución, relacionados con climas húmedos y muy húmedos, debido a la alta precipitación son suelos lavados que presentan condiciones ácidas.</p>
Spodisols	<p>Suelos de climas pluviales, húmedos y muy húmedos, a partir de materiales parentales asociados a cenizas volcánicas y a materiales arenosos. Presentan vegetación arbórea. Suelos de pH ácido. Suelos con baja capacidad de intercambio catiónica y bajo % de saturación de bases. Horizonte A claro o medianamente oscuro. Horizonte B con significativa acumulación de arcilla. Fertilidad muy baja, alta acidez, baja saturación de cationes, baja concentración estructural en superficie, compactación en profundidad. Aporte de nutrientes bajos a partir de la materia orgánica. Presencia de Endopedon espódico.</p>
Ultisols	<p>Suelos con un horizonte argílico de poco espesor. Presentan vegetación arbórea. Con un % de saturación de bases inferior al 35%. Suelos de color pardo rojizo oscuro. No muestran presencia de saturación hídrica.</p>
Vertisols	<p>Su proceso formativo es el de la haploidización, están definidos por la dinámica vinculada con su granulometría arcillosa. Suelos minerales</p>

que se quiebran en estación seca, formando grietas de 1 cm de ancho. Suelos muy ricos en arcilla. Los suelos vertisoles ocupan las partes bajas del relieve en los altos llanos occidentales. Suelos con fuerte expansión al humedecerse y contracción al secarse. Son característicos de las cubetas de decantación y pantanos en los llanos y en valles aluviales. Hidratados y expandidos en húmedo y bastantes agrietados en seco.

Fuente: Porta et al., (2003).

2.1.5 Calidad del aire.

Según Arellano (2002), el término calidad del aire se utiliza para describir las funciones que se requieren para controlar la calidad de la atmósfera mediante un programa con estrategias de regulación y control, con la debida autoridad legal para implementar el programa, los inventarios de emisiones, una red de vigilancia atmosférica, un sistema de manejo de información, un sistema para el análisis de cumplimiento y estrategias de monitoreo.

A continuación se presentan los niveles máximos permisibles y estándares de calidad ambiental para evaluar la calidad del aire.

2.1.5.1 Emisiones gaseosas.

Según RM N°315-96-EM/VMM (1996), las concentraciones de gases y partículas presentes en el ambiente de zonas habitadas ubicadas dentro del área de influencia de la Unidad Minero - Metalúrgica, no deberán superar los Niveles de Calidad de Aire vigentes en el país, por efecto de las emisiones de dicha Unidad (Tabla 20 y 21).

Tabla 20

Niveles máximos permisibles de elementos y compuestos.

Parámetros	Nivel Máximo Permisible de Emisión (mg/m ³)
Partículas	100
Plomo	25
Arsénico	25

Fuente: RM N°315-96-EM/VMM, (1996).

Tabla 21*Niveles máximos permisibles de emisiones gaseosas.*

Azufre que ingresa al proceso (t/d)	Emisión máxima permitida de anhídrido sulfuroso (t/d)
< 10	20
11 – 15	25
16 – 20	30
21 – 30	40
31 – 40	50
41 – 50	60
51 – 70	66
71 – 90	72
91 – 120	81
121 – 150	90
151 – 180	99
181 – 210	108
211 – 240	117
241 – 270	126
271 – 300	135
301 – 400	155
401 – 500	175
501 – 600	195
601 – 900	201
901 – 1200	207
1201 – 1500	213
> 1500	0.142 (S)*

Fuente: RM N°315-96-EM/VMM, (1996).**Nota:*** (S) = Total de Azufre que ingresa al proceso.

2.1.5.2 Estándares de calidad ambiental para aire.

Según el DS N°003-2017-MINAM (2017), Los ECA para Aire son un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, a cargo de los titulares de actividades productivas, extractivas y de servicios.

A continuación se indica en la Tabla 22 las normas reguladoras para Calidad del Aire.

Tabla 22*Estándares de calidad ambiental para aire.*

Metales Pesados	Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fuente
Arsénico	0.006	EU
Cadmio	0.005	OMS
Plomo	0.5	PERÚ

Fuente: Elaboración propia, (2018).

A. Dirección: La dirección de donde procede el viento (θ), se indica de varias formas, todas ellas basadas en divisiones del horizonte circular de 360° . Se puede considerar 8, 10, 12 o 16 divisiones y la dirección del viento se expresa en grados, correspondiendo a los cuatro puntos cardinales los valores: E= 90° , S= 180° , O= 270° y N= 360° . El ángulo siempre se toma respecto al eje N. Por ejemplo, en la Tabla 23, un viento que sople del noreste, tiene dirección NE y se le asigna un ángulo de 45° (Villarrubia, 2012).

Tabla 23

Designación de las direcciones de donde procede el viento.

Dirección de donde procede	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Angulo (θ)	$360^\circ(0^\circ)$	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°

Fuente: Villarrubia, (2012).

B. Velocidad: Según López & Gonzáles (2004), el almirante inglés Francis Beaufort creó en 1804 la Escala Beaufort que mide la fuerza o velocidad del viento. La velocidad del viento se descompone así en 12 grados (o 12 fuerzas), desde el grado o fuerza 0 que representa la calma, hasta el grado o fuerza 12 que representa el huracán. Para obtener con exactitud la fuerza del viento en un determinado lugar o zona, hay que medir la velocidad media durante diez minutos a una altura de 10 metros sobre la superficie del mar, en un lugar llano y despejado. En la Tabla 24 se muestra los distintos grados de la Escala de Beaufort.

Tabla 24

Escala de beaufort.

Denominación	Fuerza	m/s	kt (nudos)	km/h
Calma	0	0 – 0.2	0 – 1	0 – 2
Ventolina	1	0.3 – 1.5	1 – 3	2 – 6
Flojito (Brisa muy débil)	2	1.6 – 3.3	4 – 6	7 – 11
Flojo (Brisa débil)	3	3.4 – 5.4	7 – 10	12 – 19
Bonacible (Brisa moderada)	4	5.5 – 7.9	11 – 16	20 – 29
Fresquito (Brisa fresca)	5	8.0 – 10.7	17 – 21	30 – 39
Fresco (Brisa fuerte)	6	10.8 – 13.8	22 – 27	40 – 50
Frescachón (Viento fuerte)	7	13.9 – 17.1	28 – 33	51 – 61
Temporal (Viento duro)	8	17.2 – 20.7	34 – 40	62 – 74
Temporal fuerte (Muy duro)	9	20.8 – 24.4	41 – 47	75 – 87
Temporal duro (Temporal)	10	24.5 – 28.4	48 – 55	88 – 101
Temporal muy duro (Borrasca)	11	28.5 – 32.6	56 – 63	102 – 117
Temporal huracanado (Huracán)	12	> 32.7	> 64	> 118

Fuente: López & Gonzáles, (2004).

2.1.6 Impacto ambiental.

Para la evaluación del impacto ambiental por metales pesados presentes en el suelo, se propone diferentes métodos, donde a través de la comparación entre los valores actuales y los valores de referencia, es decir los contenidos que naturalmente tendría el área de estudio, se evalúa la presencia de éstos.

2.1.6.1 Nivel de fondo (NF).

Al contenido natural de elementos químicos existentes en un suelo se le llama fondo geoquímico local o nivel de fondo (Ross, 1994), y representa una situación ideal que se debe conocer para determinar la contaminación por la presencia de cantidades de metales inusualmente elevadas (Gough, 1993). La determinación del FG en los suelos no es una tarea fácil, y su valor varía geográficamente sobre todo en función del material geológico (Adriano, 2001).

Según Martínez (2009), las concentraciones de fondo geoquímico o niveles de fondo representan los contenidos naturales de metales pesados en los suelos, idealmente, sin influencia antropogénica, mientras que los valores de referencia establecen la concentración máxima de metal pesado permitida para considerar un suelo libre de contaminación. Estos niveles de fondo dependen de la composición mineralógica del material parental y los procesos de meteorización que dan lugar a la formación del suelo, así como del tamaño de partícula y los contenidos de arcilla y materia orgánica. Como consecuencia, la concentración de metales pesados varía ampliamente, haciendo inapropiado y complicado el uso de contenidos de fondo universales.

2.1.6.2 Índice de geoacumulación (I_{geo}).

El Índice de Geoacumulación (I_{geo}) permite la evaluación de la contaminación mediante la comparación de las concentraciones actuales y preindustriales. Originalmente utilizado con los sedimentos del fondo (Müller, 1969), también se puede aplicar en la evaluación de la contaminación del suelo.

Se calcula usando la siguiente ecuación:

Ecuación 3

Índice de geoacumulación.

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right]$$

Fuente: Müller, (1969).

Dónde:

- I_{geo} : Índice de Geoacumulación (Geoaccumulation Index).
- C_n : Es el contenido del elemento examinado en el entorno examinado (Muestra).
- B_n : Es el contenido del elemento examinado en el entorno de referencia (fondo geoquímico).
- 1.5: La constante 1.5 nos permite analizar las fluctuaciones naturales en el contenido de una sustancia dada en el ambiente y las influencias antropogénicas muy pequeñas.

Müller (1981) ha distinguido seis clases del Índice de Geoacumulación que se indican en la Tabla 25.

Tabla 25

Nivel del índice de geoacumulación.

Descripción	Rango	Clase
No contaminado	$I_{\text{geo}} \leq 0$	0
No contaminado a moderadamente contaminado	$0 < I_{\text{geo}} < 1$	1
Moderadamente contaminado	$1 < I_{\text{geo}} < 2$	2
De moderado a fuertemente contaminado	$2 < I_{\text{geo}} < 3$	3
Fuertemente contaminado	$3 < I_{\text{geo}} < 4$	4
De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado	$4 < I_{\text{geo}} < 5$	5
Extremadamente contaminado	$I_{\text{geo}} \geq 5$	6

Fuente: Müller, (1981).

2.1.6.3 Factor de enriquecimiento (FE).

El Factor de Enriquecimiento (FE) se basó en la estandarización de un elemento probado frente a uno de referencia. Un elemento de referencia es el que se caracteriza por una baja variabilidad de ocurrencia. Los elementos de referencia más comunes son: Sc, Mn, Ti, Al y Fe (Pacyna and Winchester, 1990; Quevauviller et al., 1989; Reimann and de Caritat, 2000; Schiff and Weisberg, 1999; Sutherland, 2000).

Eventualmente, el valor del Factor de Enriquecimiento se calculó usando la fórmula modificada basada en la ecuación sugerida por Buat-Menard & Chesselet (1979).

Ecuación 4

Factor de enriquecimiento.

$$FE = \frac{\left[\frac{C_n(\text{muestra})}{C_{Ref}(\text{muestra})} \right]}{\left[\frac{B_n(\text{fondo})}{B_{Ref}(\text{fondo})} \right]}$$

Fuente: Buat-Menard & Chesselet, (1979).

Dónde:

- FE: Factor de Enriquecimiento (Enrichment Factor).
- C_n: Es el contenido del elemento examinado en el entorno examinado (Muestra).
- C_{Ref}: Es el contenido del elemento de referencia en el entorno examinado (Muestra).
- B_n: Es el contenido del elemento examinado en el entorno de referencia (Fondo Geoquímico).
- B_{Ref}: Es el contenido del elemento de referencia en el entorno de referencia (Fondo Geoquímico).

Según Sutherland, (2000) cinco categorías de contaminación se reconocen en función del Factor de Enriquecimiento (Tabla 26):

Tabla 26

Nivel del factor de enriquecimiento.

Descripción	Rango	Categoría
Enriquecimiento deficiente o mínimo	< 2	1
Enriquecimiento moderado	2 – 5	2
Enriquecimiento severo	5 – 20	3
Enriquecimiento muy alto	20 – 40	4
Enriquecimiento extremadamente alto	> 40	5

Fuente: Sutherland, (2000).

2.1.6.4 Índice de calidad de suelo (S_oQI).

El Índice de calidad del suelo (Soil Quality Index, S_oQI) es una herramienta complementaria que se centra más en la evaluación del peligro relativo, al comparar

las concentraciones de contaminantes con sus respectivas pautas de la calidad del suelo (Soil Quality Index, 2007).

Los requisitos básicos para usar este índice para evaluar o calificar un sitio contaminado son los siguientes:

- Selección de contaminantes aplicables.
- Recolección de muestras y análisis de contaminantes.
- Datos de evaluación del sitio.
- Directrices de calidad del suelo.

El S_oQI propuesto utiliza tres factores para sus cálculos, a saber:

- Alcance (% de contaminantes que no cumplen con sus pautas respectivas).

Ecuación 5

Alcance.

$$F_1 = \frac{\text{Número de contaminantes fallidos}}{\text{Cantidad total de contaminantes}} \times 100$$

Fuente: CCME – Soil Quality Index 1.0: Technical Report, (2007).

- Frecuencia (% de pruebas individuales de contaminantes que no cumplen con sus pautas respectivas).

Ecuación 6

Frecuencia.

$$F_2 = \frac{\text{Número de pruebas fallidas}}{\text{Número total de pruebas}} \times 100$$

Fuente: CCME – Soil Quality Index 1.0: Technical Report, (2007).

- Amplitud (la cantidad por la cual los contaminantes no cumplen con sus pautas respectivas).

Ecuación 7

Cálculo de excursión.

$$\text{Excursión}_1 = \frac{\text{Valor de prueba fallida}_1}{\text{Guía}_1} - 1$$

Fuente: CCME – Soil Quality Index 1.0: Technical Report, (2007).

Ecuación 8

Cálculo de la suma promedio de excursiones o 'ase'.

$$ase = \frac{\sum_{i=1}^n excursión_i}{\# \text{ of failed tests}}$$

Fuente: CCME – Soil Quality Index 1.0: Technical Report, (2007).

Ecuación 9

Amplitud.

$$F_3 = \frac{ase}{0.01ase + 1}$$

Fuente: CCME – Soil Quality Index 1.0: Technical Report, (2007).

- El índice de la calidad del suelo (S_oQI) (Una vez que los factores se han cuantificado, el SoQI puede calcularse sumando todos los factores como si fueran vectores, como se muestra a continuación en la Ecuación 9).

Ecuación 10

Índice de calidad del suelo.

$$S_oQI = 100 - \frac{\sqrt{F_1 + F_2 + F_3}}{1.732}$$

Fuente: CCME – Soil Quality Index 1.0: Technical Report, (2007).

El Índice proporciona una evaluación cuantitativa de los sitios contaminados con un valor final entre 0 y 100. Utilizando los valores finales del S_oQI, los sitios contaminados se pueden dividir en cinco clases diferentes en función del nivel de su preocupación por la salud pública o del ecosistema. Las clases propuestas están en la Tabla 27.

Tabla 27

Nivel de preocupación por la salud pública y el ecosistema.

Descripción	Rango del S _o QI
Muy Bajo	90 – 100
Bajo	70 – 90
Medio	50 – 70
Alto	30 – 50
Muy Alto	0 – 30

Fuente: Soil Quality Index, (2007).

2.1.6.5 Evaluación de impacto ambiental.

Se llama Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al procedimiento técnico-administrativo que sirve para identificar, evaluar y describir los impactos ambientales que producirá un proyecto en su entorno en caso de ser ejecutado, todo ello con el fin de que la administración competente pueda aceptarlo, rechazarlo o modificarlo. Este procedimiento jurídico administrativo se inicia con la presentación de la memoria que es un resumen por parte del promotor, sigue con la realización de consultas previas a personas e instituciones por parte del órgano ambiental, continúa con la realización del EIA (Estudio de Impacto Ambiental) a cargo del promotor y su presentación al órgano sustantivo. Se prolonga en un proceso de participación pública y se concluye con la emisión de la DIA (Declaración de Impacto Ambiental) por parte del Órgano Ambiental (Gómez, 2003).

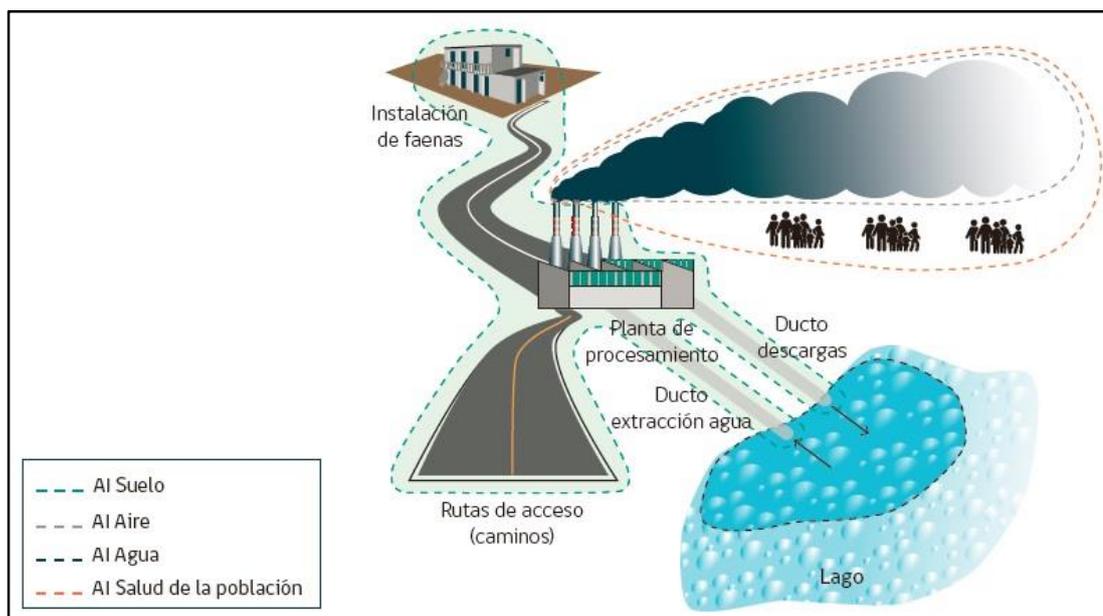
2.1.6.6 Área de influencia.

En la letra a) del artículo 2 del Reglamento del SEIA se define área de influencia como ‘El área o espacio geográfico, cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la Ley, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias’ (SEA, 2017).

2.1.6.7 Determinación y justificación del área de influencia.

El AI se debe definir y justificar para cada elemento afectado del medio ambiente. Por lo anterior, cada elemento del medio ambiente comprende su propia AI, en donde las distintas áreas pueden o no coincidir, como se indica en la Figura 8. Para determinar el AI también se debe considerar el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras o acciones del proyecto o actividad (SEA, 2017).

Figura 8
Área de influencia de una actividad en concreto.



Fuente: Servicio de Evaluación Ambiental, (2017).

La Figura 8 gráfica, a modo de ejemplo, las AI de distintos elementos del medio ambiente, según lo siguiente:

El emplazamiento de las partes, obras de un proyecto y consecuentes acciones de acondicionamiento del terreno generan el impacto de pérdida del recurso natural suelo, cuya AI se visualiza en la Figura 9 – Cuadro A.

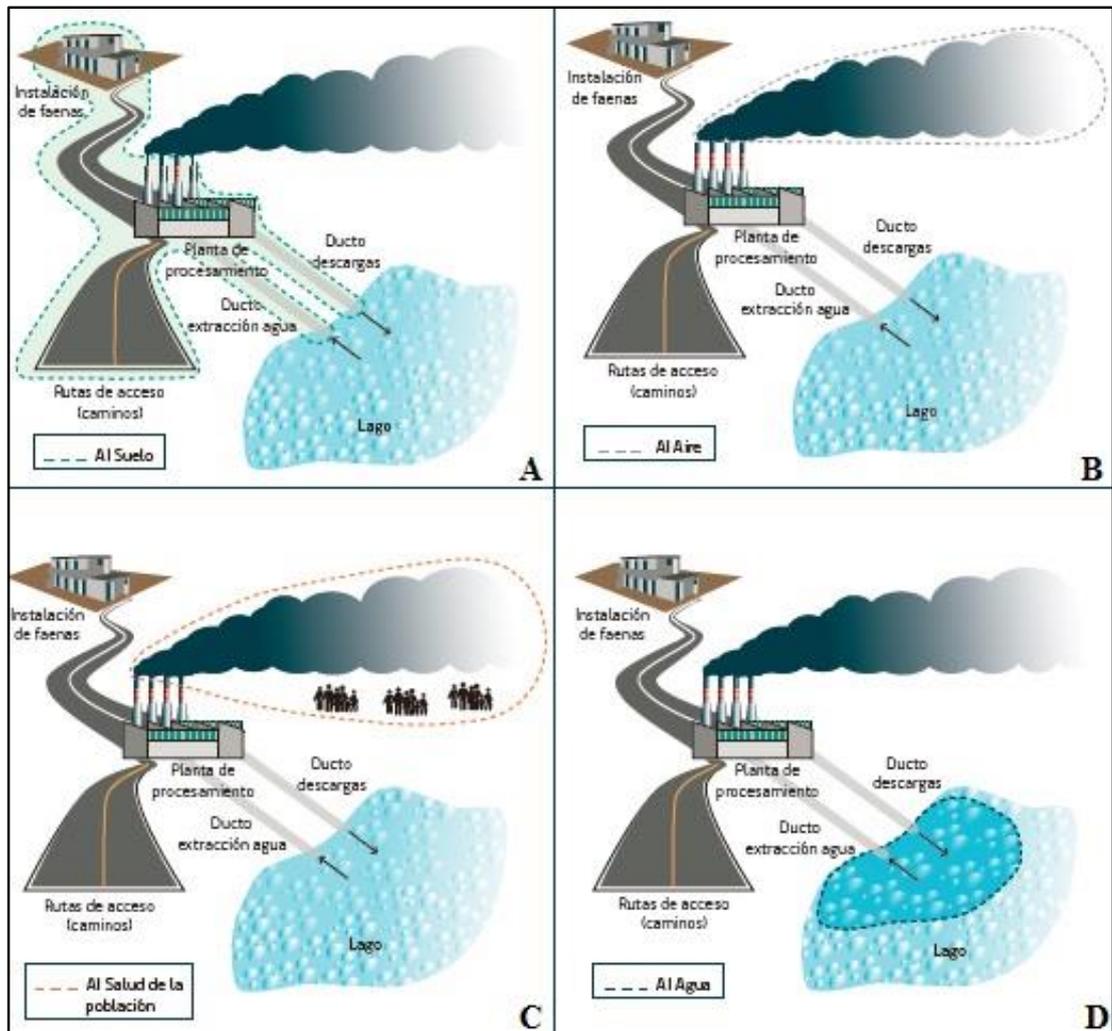
Las emisiones atmosféricas del proyecto generan aumento en la concentración ambiental de contaminantes e impacto en la calidad del recurso natural renovable aire; se determina el AI para este elemento, la que es mayor al espacio geográfico comprendido por el emplazamiento de la parte del proyecto que constituye la fuente de dichas emisiones. El aumento en la concentración ambiental de contaminantes también puede generar riesgo para la salud de la población y por lo tanto el AI para este elemento del medio ambiente se determina en relación a la presencia de población que puede verse expuesta a dichos contaminantes. Lo anterior se visualiza en la Figura 9 – Cuadro B y C.

Las emisiones líquidas vertidas en un lago generan un aumento en la concentración ambiental de contaminantes e impacto en la calidad del recurso natural renovable agua; adicionalmente el proyecto contempla extraer agua, generando impacto en la cantidad de agua, siendo el receptor de impacto el mismo elemento del

medio ambiente. En este caso el AI del elemento agua podría comprender dos espacios geográficos en la medida que los puntos de descarga y extracción estén distantes entre sí. El AI para este elemento se visualiza en la Figura 9 – Cuadro D.

Figura 9

Área de influencia en los diferentes elementos del medio ambiente.



Fuente: Servicio de Evaluación Ambiental, (2017).

En el caso de un proyecto que genere impactos potencialmente significativos en la calidad del aire debido a emisiones atmosféricas; para predecir y evaluar este impacto, el AI del elemento 'aire' debe comprender el espacio desde donde se generan dichas emisiones (fuente de la emisión) más el comprendido por la dispersión de contaminantes emitidos. Por su parte, para predecir y evaluar el riesgo para la salud de la población, el AI del elemento 'salud de la población' debe comprender el espacio con presencia de población expuesta a los contaminantes emitidos por el proyecto. Asimismo, debido a estas emisiones atmosféricas, las

partículas sedimentables de los contaminantes de dichas emisiones pueden depositarse en el 'suelo' y 'vegetación', por lo tanto, el AI de estos elementos comprende el área o espacio geográfico donde dicho material se sedimenta (SEA, 2107)

2.1.6.8 Criterios para determinar el área de influencia.

Según Rosales (2005), el área de influencia del proyecto, se trata de los límites dentro de los cuales, para un proyecto específico se deben estudiar los impactos.

Para determinar el área de influencia directa (AID) de un determinado proyecto, se analizan tres criterios descritos a continuación que tienen relación con el alcance geográfico y las condiciones iniciales del ambiente previo a la ejecución del proyecto:

- ***Límite del Proyecto:*** Se determina por el tiempo y el espacio que comprende el desarrollo del proyecto. Para esta definición, se limita la escala espacial al espacio físico o entorno natural donde se va a implantar el proyecto.
- ***Límites Espaciales y Administrativos:*** Está relacionado con los límites Jurídico Administrativos donde localizará el proyecto.
- ***Límites Ecológicos:*** Están determinados por las escalas temporales y espaciales, sin limitarse al área constructiva donde los impactos pueden evidenciarse de modo inmediato, sino que se extiende más allá en función de potenciales impactos que puede generar un proyecto.

El área de influencia indirecta (AII) del proyecto, está definida como el espacio físico en el que un componente ambiental es afectado de manera indirecta por las actividades del proyecto o bien por afectaciones directas de un componente que a su vez afecta a otro u otros componentes ambientales no relacionados con el proyecto, aunque sea con una intensidad mínima. La definición de área de influencia indirecta toma en cuenta las relaciones e interrelaciones que se desarrollan en el ámbito social, cultural, entre otros e incluso sobrepasan los límites espaciales locales.

- ***Dinámica Social:*** El área de influencia en términos socio-económicos no se restringe al criterio espacial de ubicación de la zona específica de

intervención de un proyecto; en otras palabras, no se limita al sitio exacto de implantación del proyecto, pues tiene que ver, principalmente, con varios criterios, como presencia de población, densidad demográfica, uso del suelo, accesibilidad (vías y caminos).

2.2 Definición de términos básicos.

Análisis geoespacial: Nos permite introducir, analizar y presentar resultados a través de mapas digitales o impresos (United Nations, 2009).

Atmósfera: La atmósfera consiste en una capa delgada de gases mezclados que cubren la superficie de la Tierra. Excluyendo el agua, el aire atmosférico está constituido por 78.1 % (en volumen) de nitrógeno, 21.0 % de oxígeno, 0.9 % argón y 0.03 % de dióxido de carbono (Fishman, 2003).

Adsorción: Es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material (Cruz & Guzmán, 2007).

Absorción: Es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase (Cruz & Guzmán, 2007).

Biodisponibilidad: Sería el grado de libertad en que se encuentra un elemento o compuesto de una fuente potencial para ser capturado por un organismo (ingerido o adsorbido) (Newman & Jagoe, 1994).

Contaminación: Se refiere a la introducción o incremento anormal de sustancias que pueden ejercer un efecto dañino sobre los organismos en los ecosistemas (Bautista, 1999).

Chimenea: Son estructuras cilíndricas o tronco-cónicas cuya función es expulsar gases y humos industriales (Harmsen, 2005).

Deposición: Se denomina deposición (húmeda, seca o total) a la cantidad de una cierta sustancia depositada sobre el terreno en un cierto intervalo de tiempo (Custodio & Alcalá, 2004).

Deposición atmosférica: El proceso por el cual sustancias químicas, tales como partículas contaminantes son transferidas de la atmósfera a la superficie de la tierra (USDA, 2013).

Emisiones gaseosas: Las emisiones gaseosas, constituidas por compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos, tienen consecuencias sobre la calidad del aire así como sobre los diferentes niveles tróficos de la biosfera (Villegas & Jiménez, 2005).

Emisiones fugitivas: Son aquellas que se escapan al ambiente general durante el proceso de fundición o del manejo de concentrados y productos, sin pasar por los puntos de control de las emisiones (Cederstav & Barandiarán, 2002).

Especiación química: La especiación química ha sido definida, en forma general, como el proceso de identificación y cuantificación de las formas químicas de un mismo elemento en una muestra dada (Hlavay et al., 2004).

Extracción secuencial: Se aplican en geología con el objetivo de determinar la especiación de los metales traza en suelos, sedimentos o rocas, información que no se puede conseguir a partir únicamente de un análisis químico convencional sobre muestra total (López & Mandado, 1996).

Fracción extraíble: Metales disponibles libremente en la solución del suelo (Cargua, 2010).

Fracción reducible: Metales ligados a óxidos de hierro manganeso (Cargua, 2010).

Fracción oxidable: Metales ligados a la materia orgánica (Cargua, 2010).

Fracción residual: Metales ligados fuertemente a las partículas del suelo (Cargua, 2010).

Fuentes antropogénicas: Son resultado de las actividades humanas y se clasifican según su movilidad o distribución espacial (Rico, López, & Jaimes, 2001).

Fuentes geogénicas: Son de origen geológico: volcanes, geisers, manantiales de aguas sulfurosas y filtraciones de aceites que suelen registrarse en ambientes marinos (INE, 2005).

Fitodisponibilidad: La fitodisponibilidad de un determinado elemento traza en un suelo depende de factores del propio suelo (pH, potencial redox, textura, materia orgánica, composición mineral, régimen hídrico), así como de la propia planta (Kabata-Pendias, 2004).

Fundiciones primarias: Son aquellas que producen metal a partir de concentrados minerales (Cederstav & Barandiarán, 2002).

Geoquímica: Trata de describir la distribución de los elementos y sus isótopos en las distintas porciones, más o menos bien definidas en la Tierra; atmósfera, hidrosfera, corteza, manto, núcleo (Fyfe, 1981).

Isoconcentración o isopletras: Es una línea continua donde todos aquellos puntos corresponden a una determinada concentración del contaminante (Caselli, 2000).

Mapas de suelos: Los mapas de suelo y su interpretación actúan como objetivo principal, al reunir toda la información referente a la ubicación y origen de los diferentes suelos en un área, así como también expresar las diferencias entre suelos en términos de rendimiento de cultivos, uso de suelos y requerimientos de manejo (Casanova, 2005).

Material particulado: Es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diesel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Fang et al., 2003).

Metal pesado: Son tipos de elementos químicos, muchos de los cuales son tóxicos para los seres humanos. Los de mayor peligro ambiental son mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As), debido a su uso extensivo, a su toxicidad y a su amplia distribución (Baird, 2001).

Metalurgia: Conjunto de técnicas para extraer los metales contenidos en los minerales y transformarlos (Morrall, Jimeno, & Molera, 1985).

Nivel de fondo: El background natural, o nivel de fondo, se define como la concentración natural de un elemento con poca o mínima intervención antropogénica, asociado principalmente al material parental del suelo (Díez, 2006).

Niveles de referencia: Los niveles de referencia son la máxima concentración admisible sin que se produzcan efectos adversos sobre los organismos en el suelo, y tienen en cuenta aspectos como la biodisponibilidad de los metales, sus propiedades fisicoquímicas y los usos de suelo (Sánchez, 2003).

Pluma: A la emanación visible de una chimenea se le denomina pluma. La altura de la pluma está determinada por la velocidad y empuje de los gases que salen por la chimenea. A menudo, se añade energía calórica a los gases para aumentar la altura de la pluma. Las fuerzas naturales hacen que la pluma tenga velocidad vertical, como sucede con el humo de las chimeneas residenciales (Martí, 2000).

Quelatos: Se forman cuando hay dos funciones formadas una de ellas por el radical funcional OH (alcohol, fenol, enol, ácido...) y la otra por un grupo funcional que contiene átomos electronegativos susceptibles de establecer un «enlace de hidrógeno», estando las dos funciones próximas en la estructura de la molécula (Garric, 1979).

Refinería: Establecimiento industrial donde se refina o se hace más puro un producto (Gary & Handwerk, 1980).

Suelo: Es un material no consolidado que está en constante cambio, de origen variable, que sirve de nexo entre lo inorgánico (minerales provenientes de la descomposición de la roca) y lo orgánico (material vegetal y animal) que forman un ecosistema semi renovable (Arias, 2001).

Zona rural: Área del campo y de las labores propias de la agricultura y la ganadería (Roser, 2004).

Zona industrial: Área donde se desarrolla la actividad económica y técnica que consiste en transformar las materias primas hasta convertirlas en productos adecuados para satisfacer las necesidades del hombre (Gómez, 1999).

Zona urbana: Es el área habitada o urbanizada, es decir, la ciudad misma más el área contigua edificada, con usos de suelo de naturaleza no agrícola y que, partiendo de un núcleo central, presenta continuidad física en todas direcciones hasta el ser interrumpida, en forma notoria, por terreno de uso no urbano como bosques, sembradíos o cuerpos de agua (Jiménez, 2002).

2.3 Marco legal.

2.3.1 Normas nacionales.

- Constitución Política del Perú 1993.
- Ley General del Ambiente – Ley 28611.
- Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales – Ley 26821.
- Ley Forestal y de Fauna Silvestre – Ley 27308.
- Reglamento de Clasificación de Tierras (DS N°062-75-AG).
- Aprueban Reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos (DS N°033-85-AG).
- Aprueban Niveles Máximo Permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas (RM N°315-96-EM/VMM).
- Aprueban el Reglamento de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (DS N°014-2001-AG).
- Establecen valor anual de concentración de plomo (DS N°069-2003-PCM).
- Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (DS N°017-2009-AG).
- Reglamento para la ejecución de Levantamiento de Suelos (DS N°013-2010-AG).
- Disponen la publicación del Proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo. (RM N°307-2012-MINAM).
- Agenda Nacional de Acción Ambiental - AgendAmbiente 2013-2014 (RM N°026-2013-MINAM).
- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (DS N°002-2013-MINAM).
- Aprueban disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (DS N°002-2014-MINAM).
- Aprueban Directiva que establece procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA) (DS N°003-2014-MINAM).

- Dictan reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados (DS N°013-2015-MINAM).
- Aprobar la Guía para el muestreo de suelos y la Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos (RM N°085-2014-MINAM).
- Aprueban la Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (RM N°034-2015-MINAM).
- Disponen prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (RM N°182-2017-MINAM).
- Disponen prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados (RM N°212-2017-MINAM).
- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (DS N°011-2017-MINAM).
- Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados (DS N°012-2017-MINAM).

2.3.2 Normas internacionales.

- Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) – 2001.
- Convención de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación – 1989.
- Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono – 1985.
- Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health (Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME) – 1999.
- Air Quality Standards (Directiva 2004/107/EU) – European Union.
- Ambient air quality (exterior) and health (2005) – World Health Organization (WHO).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales.

A continuación se detalla en la Tabla 28 los equipos y materiales que se usaron para esta investigación.

3.1.1 Equipos y materiales.

Tabla 28
Equipos y materiales utilizados.

Equipos y Materiales	Marca	Modelo	Descripción
Equipos de protección personal (EPP)	3M	-	Casco de seguridad, lentes de protección, guantes de látex, zapatos de seguridad, chaleco con cintas reflectivas.
Ordenador portátil	Lenovo	Thinkpad L440	Dispositivo informático que se puede mover o transportar con relativa facilidad.
GPS	Garmin	eTrex 10	Permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto.
Cámara fotográfica	Sony	dsc-w830	Aparato utilizado para capturar imágenes o fotografías.
Impresora	hp	Laser Jet Pro M101	Permite producir textos o gráficos de documentos almacenados en un formato electrónico, imprimiéndolos en medios físicos.
Cinta métrica	Stanley	-	Instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada y que se puede enrollar.
Kit de suelo	-	-	Espátula de acero inoxidable, bolsas plásticas de polietileno capacidad 1kg, piseta con agua desionizada, etiquetas, cinta de embalaje transparente, cadena de custodia para muestras sólidas, cajas térmicas, refrigerantes o ice pack, recogedor o jarra de plástico, picota, cinta métrica y rastrillo.
Material bibliográfico	-	-	Libros, revistas, periódicos, páginas web, etc.
Planos y mapas cartográficos	-	-	Es la representación gráfica de una zona determinada a escala (INGEMMET e IGN).
Libreta de campo	-	-	Herramienta usada por investigadores de varias áreas para hacer anotaciones.

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.1.2 Instrumentos.

Los instrumentos que se utilizaron fueron los siguientes:

- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.
- Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) for soil.
- Soil Survey Manual (United States Department of Agriculture).
- Guía para el muestreo de suelos y la Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos (Anexo E).
- Reglamento para la ejecución de Levantamiento de Suelos (Anexo E).
- Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (Anexo E).
- Mapas de Análisis Geoespacial.
- Ecuación del Índice de Geoacumulación.
- Ecuación del Factor de Enriquecimiento.
- Ecuación del Índice de la Calidad del Suelo.

3.2 Métodos.

3.2.1 Diseño y nivel de investigación.

3.2.1.1 *Diseño de investigación.*

- **No experimental**, ya que las variables no son controladas ni manipuladas por el investigador y solo se limita a observar y medir (Arnal et al., 1994).
- **Transectorial**, ya que se recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único (Gómez, 2006).
- **Descriptivo**, ya que intentan describir un fenómeno dado, analizando su estructura y explorando las asociaciones relativamente estables de las características que lo definen (Arnal et al., 1994).
- **Retrospectivo**, ya que analiza y estudia los hechos ocurridos en el pasado, es decir estudia primero el efecto y luego se preocupa de la causa (Lombardi & Yuri, 1994).

3.2.1.2 *Nivel de investigación.*

- **Aplicativa**, ya que está orientada a la utilización de los conocimientos (Sánchez & Reyes, 2015).

- **Cuantitativa**, ya que se centra fundamentalmente en los aspectos observables y susceptibles de cuantificación de los fenómenos estudiados, utiliza metodología empírico – analítica y se sirve de pruebas estadísticas para el análisis de datos (Villegas et al., 2011).
- **Descriptivo**, ya que se describe fenómenos, situaciones, contextos y sucesos, esto es, detallar como son y se manifiestan (Hernández et al., 2014).
- **Correlacional**, ya que tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular (Hernández et al., 2014).

3.2.2 Muestra.

La muestra estuvo conformada por 96 puntos de muestreo para la Calidad del Suelo, 12 puntos de muestreo para la Caracterización del Suelo y 35 puntos de muestreo para el Chequeo de Reconocimiento de las Unidades Taxonómicas del suelo en la Zona Huaynacancha ubicada en el Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín; cuyos datos fueron evaluados durante el mes de noviembre del 2017. El tipo de muestreo fue probabilístico (sistemático y aleatorio simple) y la unidad de análisis es el suelo agrícola o rural.

- **Universo:** Distrito de La Oroya.
- **Dimensión Espacial:** Zona Huaynacancha.
- **Dimensión Temporal:** Noviembre del 2017.
- **Unidad de Análisis:** Suelo agrícola o rural.

3.2.2.1 Muestreo de identificación.

Para determinar el aporte de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo, se obtuvieron muestras correspondientes a la zona Huaynacancha, identificado como suelo agrícola (rural), la cual abarca 574.48 ha., estableciéndose 97 puntos de muestreo a través del método de muestreo sistemático, utilizando el patrón de muestreo con distribución uniforme de rejilla regular como indica la Figura 10, según lo establecido en la “Guía para el Muestreo de Suelos” del MINAM.

Cabe destacar que para determinar el número mínimo de puntos de muestreo para áreas superiores a 100 hectáreas, se calculó mediante la Ecuación 11.

Ecuación 11

Número de puntos de muestreo.

$$N = 0.1X + 40$$

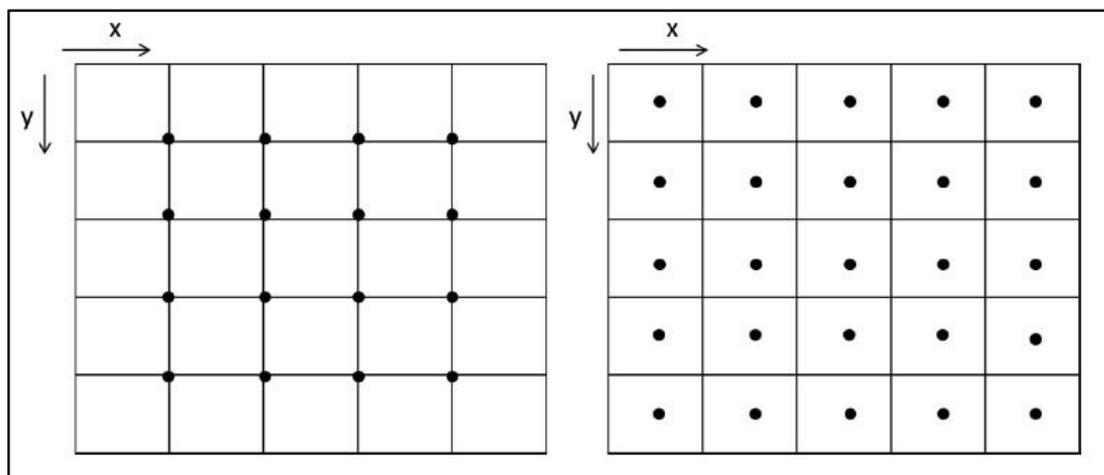
Fuente: RM N°085-2014-MINAM.

Dónde:

- N: Número mínimo de puntos de muestreo.
- X: Superficie en hectáreas.

Figura 10

Rejillas Regulares



Fuente: RM N°085-2014-MINAM, (2014)

$$N = 0.1 \times 574.48 + 40 = 97.448 \approx 97 \text{ muestras.}$$

3.2.2.2 Tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra se determinó mediante la Ecuación 12 según Vivanco, (2005), que en este caso fue de 96 muestras con un nivel de confianza del 99% y margen de error del 1%, según los cálculos realizados.

Ecuación 12

Tamaño de la muestra.

$$n = \frac{Z^2 \times \sigma^2 \times N}{e^2 \times (N - 1) + Z^2 \times \sigma^2}$$

Fuente: Vivanco, (2005).

Dónde:

- n: Tamaño de la muestra que deseamos determinar.
- Z: Nivel de confianza.
- σ : Desviación estándar de la población.
- N: Muestra total.
- e: Límite o Nivel de error aceptable.

$$n = \frac{2.58^2 \times 0.5^2 \times 97}{0.01^2 \times (97 - 1) + 2.58^2 \times 0.5^2} = 96.44 \approx 96 \text{ muestras.}$$

A continuación, en la Tabla 29 se detalla las coordenadas UTM y la altitud de los 96 puntos de muestreo (Ver Mapa A-6 del Anexo A).

Tabla 29

Coordenadas y altitud de los puntos de muestreo.

Estación	Este	Norte	Altitud	Estación	Este	Norte	Altitud
SU-01	395497	8715099	4367	SU-49	395529	8716540	4116
SU-02	395742	8715059	4429	SU-50	395742	8716487	4169
SU-03	395988	8714814	4532	SU-51	395908	8716487	4203
SU-04	396394	8715014	4474	SU-52	396264	8716487	4343
SU-05	395006	8715260	4260	SU-53	394269	8716733	3939
SU-06	395251	8715260	4282	SU-54	394515	8716733	3993
SU-07	395497	8715230	4341	SU-55	394760	8716733	3993
SU-08	394760	8715505	4190	SU-56	395006	8716733	4044
SU-09	395006	8715505	4212	SU-57	395497	8716733	4099
SU-10	395251	8715505	4253	SU-58	395742	8716813	4125
SU-11	395497	8715505	4351	SU-59	394760	8716979	3944
SU-12	395742	8715505	4433	SU-60	395006	8716979	3979
SU-13	395988	8715505	4469	SU-61	395251	8716979	4038
SU-14	396234	8715505	4492	SU-62	395742	8716979	4112
SU-15	396479	8715505	4448	SU-63	395935	8717021	4159
SU-16	394515	8715751	4135	SU-64	395006	8717224	3945
SU-17	394760	8715751	4151	SU-65	395251	8717224	3977
SU-18	395056	8715751	4178	SU-66	395497	8717224	4023
SU-19	395251	8715751	4281	SU-67	395742	8717224	4074
SU-20	395497	8715751	4290	SU-68	395933	8717370	4112
SU-21	395742	8715751	4357	SU-69	395251	8717470	3949
SU-22	395988	8715751	4397	SU-70	395742	8717470	4048
SU-23	396234	8715751	4419	SU-71	395497	8717715	3952
SU-24	396479	8715751	4414	SU-72	395742	8717715	4004
SU-25	394023	8715996	4043	SU-73	395742	8717961	3976
SU-26	394269	8715996	4076	SU-74	395742	8718207	3957
SU-27	394515	8715996	4099	SU-75	395988	8718207	4062
SU-28	394760	8715890	4115	SU-76	395742	8718452	3928
SU-29	395006	8715996	4141	SU-77	395936	8718530	4010

SU-30	395251	8715996	4178	SU-78	395968	8717961	4075
SU-31	395497	8715996	4213	SU-79	394269	8715766	4110
SU-32	395742	8715996	4261	SU-80	395251	8715064	4323
SU-33	396254	8716096	4388	SU-81	394790	8715307	4222
SU-34	396479	8715996	4425	SU-82	396063	8716470	4264
SU-35	394269	8716242	4028	SU-83	395980	8716223	4262
SU-36	394515	8716187	4047	SU-84	395962	8715998	4291
SU-37	394760	8716242	4095	SU-85	395236	8716729	4031
SU-38	395006	8716242	4110	SU-86	395744	8715241	4379
SU-39	395251	8716242	4134	SU-87	395971	8715266	4424
SU-40	395497	8716242	4160	SU-88	396219	8715302	4473
SU-41	395742	8716242	4176	SU-89	395968	8715080	4434
SU-42	396234	8716242	4372	SU-90	396221	8715098	4444
SU-43	396479	8716242	4424	SU-91	395492	8714914	4409
SU-44	394269	8716487	3969	SU-92	395739	8714881	4501
SU-45	394515	8716487	4016	SU-93	396011	8716765	4237
SU-46	394760	8716487	4055	SU-94	394483	8715514	4149
SU-47	395006	8716487	4080	SU-95	395939	8717645	4077
SU-48	395251	8716487	4098	SU-96	395484	8716976	4048

Fuente: Elaboración propia, (2018).

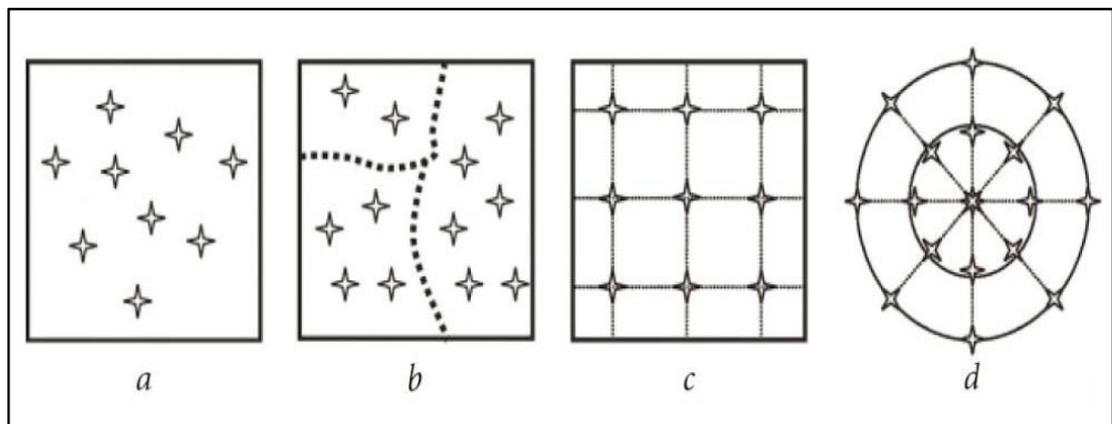
Nota: Datos obtenidos en campo (Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L; Altura en “msnm”).

3.2.2.3 Levantamiento de suelos.

Para determinar el aporte de los parámetros fisicoquímicos en el suelo, se obtuvieron muestras correspondientes a la zona Huaynacancha, identificado como suelo agrícola (rural), la cual abarca 574.48 ha., estableciéndose 12 calicatas y 35 chequeos, a través del muestreo aleatorio simple como indica la Figura 11 según lo establecido por Mason, (1992).

Figura 11

Tipos de muestreo



Fuente: Mason, (1992)

Asimismo, se identificó y caracterizó los diferentes tipos de suelos de la zona Huaynacancha a fin de establecer su uso. Posteriormente, se determinó que para su uso extensivo del suelo, no requiere conocimiento preciso de sus características, distribución y variabilidad por lo que el nivel de levantamiento fue semidetallado o de tercer orden, según lo establecido en el “Reglamento para la ejecución de Levantamiento de Suelos” del MINAGRI.

Cabe destacar que el número mínimo de calicatas para la caracterización del suelo se determinó mediante la Ecuación 13, el cual indica 02 calicatas por cada 100 hectáreas.

Ecuación 13

Número de calicatas.

$$N = \frac{X + 2}{100}$$

Fuente: Adaptado del reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos, (2010)

Dónde:

- X: Superficie en hectáreas.
- 2: Número que representa el mínimo de calicatas por cada 100 ha.
- 100: Número de hectáreas para un nivel semidetallado o de tercer orden.

$$N = \frac{574.48 \times 2}{100} = 11.49 \approx 12 \text{ calicatas.}$$

Cabe destacar que el número mínimo de chequeos para la caracterización del suelo se determinó mediante la Ecuación 14, el cual indica 06 chequeos por cada 100 hectáreas.

Ecuación 14

Número de chequeos.

$$N = \frac{X + 6}{100}$$

Fuente: Adaptado del reglamento para la ejecución de levantamiento de suelos, (2010)

Dónde:

- X: Superficie en hectáreas.
- 6: Número que representa el mínimo de chequeos por cada 100 ha.

- 100: Número de hectáreas para un nivel semidetallado o de tercer orden.

$$N = \frac{574.48 \times 6}{100} = 34.47 \approx 35 \text{ chequeos.}$$

A continuación, en la Tabla 30 se detalla las coordenadas UTM y la altitud de las 12 calicatas (Ver Mapa A-7 del Anexo A).

Tabla 30
Coordenadas y altitud de las calicatas.

Estación	Este	Norte	Altitud
CAL-01	394133	8716108	4024
CAL-02	394654	8715564	4172
CAL-03	395587	8715101	4381
CAL-04	396345	8715690	4422
CAL-05	396024	8716567	4252
CAL-06	395863	8717457	4077
CAL-07	395848	8718342	3982
CAL-08	395133	8717275	3054
CAL-09	394624	8716800	3956
CAL-10	396333	8715157	4463
CAL-11	395375	8715856	4223
CAL-12	395364	8716623	4072

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos en campo (Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L; Altura en “msnm”).

Asimismo, en la Tabla 31 se detalla las coordenadas UTM y la altitud de los 35 chequeos (Ver Mapa A-7 del Anexo A).

Tabla 31
Coordenadas y altitud de los chequeos.

Estación	Este	Norte	Altitud
CHE-01	394156	8715908	4088
CHE-02	394402	8716607	3968
CHE-03	394878	8716877	3989
CHE-04	395132	8717107	3988
CHE-05	395434	8717512	3965
CHE-06	395656	8717869	3963
CHE-07	395838	8718091	4001
CHE-08	395894	8717821	4052
CHE-09	395894	8717202	4117
CHE-10	395902	8716782	4185
CHE-11	396346	8716337	4392
CHE-12	396354	8715432	4475
CHE-13	395902	8714964	4475
CHE-14	395354	8715146	4330

CHE-15	394592	8715885	4118
CHE-16	394870	8716091	4118
CHE-17	395386	8716131	4166
CHE-18	395624	8715893	4276
CHE-19	395854	8715647	4407
CHE-20	395402	8715623	4285
CHE-21	395608	8715361	4399
CHE-22	395362	8716861	4063
CHE-23	394592	8716321	4058
CHE-24	396100	8715337	4457
CHE-25	395140	8716536	4090
CHE-26	395910	8716361	4215
CHE-27	396346	8715956	4401
CHE-28	396283	8715027	4454
CHE-29	395664	8716972	4095
CHE-30	395640	8716385	4136
CHE-31	395044	8715869	4162
CHE-32	396034	8716091	4311
CHE-33	395629	8717350	4027
CHE-34	394638	8715396	4187
CHE-35	395134	8715399	4243

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos en campo (Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L; Altura en “msnm”).

3.2.2.4 Muestreo de nivel de fondo.

Para la localización del área de muestreo se consideró lo siguiente:

- El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe estar demasiado alejado del mismo.
- El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación.
- Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes pero con características similares al área de estudio.

Para determinar el nivel de fondo o fondo geoquímico del suelo, se tomó muestras de 06 puntos en 03 zonas con condiciones similares al área de estudio, en el Distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, a unos 60 km al noroeste de la zona de Huaynacancha (Ver Mapa A-8 del Anexo A), cabe destacar que estas zonas tienen características orográficas, geológicas, climáticas y vegetación similares al área de estudio.

A continuación, en la Tabla 32 y la Figura 12 se detallan las coordenadas UTM y la altitud de los 06 puntos de muestreo.

Tabla 32

Coordenadas y altitud de los puntos de muestreo de nivel de fondo.

Estación	Este	Norte	Altitud
NF-01	357670	8761369	4132
NF-02	358093	8761261	4128
NF-03	358823	8760766	4132
NF-04	359246	8760676	4124
NF-05	358543	8762143	4186
NF-06	358868	8762045	4160

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos en campo (Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L; Altura en “msnm”).

Figura 12

Puntos de muestreo de nivel de fondo.



Fuente: World Imagery Basemap, (2018).

3.2.2.5 Parámetros a analizar.

Los parámetros para determinar la calidad del suelo fueron obtenidos de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) for soil y la Producción Polimetálica del CMLO; estos son: metales pesados (Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Se y Zn), cianuro libre y cromo hexavalente.

De la misma manera, los parámetros fisicoquímico para determinar la caracterización del suelo fueron obtenidos de acuerdo al Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos y el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor; los cuales son: potencial de hidrogeno, calcáreo total, materia orgánica, fosforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes cambiabiles, conductividad eléctrica, textura del suelo y saturación de bases.

Estos parámetros a analizar están relacionados directamente con la actividad pasada de la zona industrial del CMLO, y su posible impacto o afectación al suelo.

3.2.3 Metodología.

Se consideró la metodología del muestreo de suelos, el cual se basa en los criterios técnicos descritos en la Guía para el Muestreo de Suelos (RM N°085-2014-MINAM). Asimismo, la descripción de los suelos y las unidades del mapa se realizó en base a las normas y requerimientos técnicos nacionales incluidos en el Reglamento para la ejecución de Levantamiento de Suelos (DS N°013-2010-AG), Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (DS N°017-2009-AG), e internacionales como la Soil Survey Manual (2017) y la Soil Taxonomy (2014), ambos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

3.2.3.1 Localización geográfica de los puntos de muestreo.

La localización geográfica de los puntos de muestreo se determinó siguiendo los siguientes criterios: uso del suelo, gradiente del terreno, dirección y velocidad del viento; así como también, los principales factores del medio físico que pueden determinar la movilización y la posible dispersión de los elementos a analizar en el suelo, siguiendo la dispersión de la pluma como se indica en la simulación (Ver Anexo D).

3.2.3.2 Determinación de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente.

Se seleccionaron 96 puntos de muestreo en el área de estudio (574.48 ha.), mediante el método de muestreo sistemático, utilizando el patrón de muestreo con distribución uniforme de rejilla regular y se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 30 – 60 cm (Tabla 33).

Tabla 33*Profundidad del muestreo según el uso del suelo.*

Usos del Suelo	Profundidad del Muestreo (Capas)
Suelo Agrícola	0 – 30 cm ⁽¹⁾ ; 30 – 60 cm
Suelo Residencial /Parques	0 – 10 cm ⁽²⁾ ; 10 – 30 cm ⁽³⁾
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm ⁽²⁾

Fuente: RM N°085-2014-MINAM, (2014).**Nota:** ⁽¹⁾ Profundidad de aradura. ⁽²⁾ Capa de contacto oral o dermal de contaminantes. ⁽³⁾ Profundidad máxima alcanzable por niños.

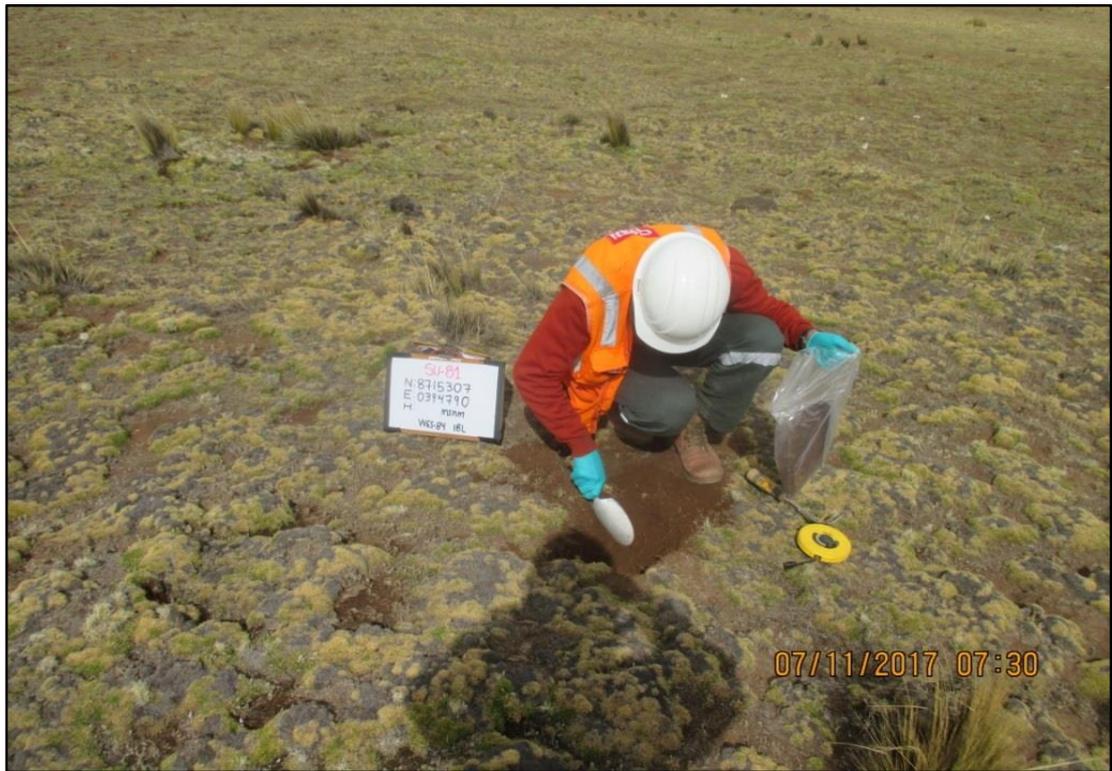
Se trabajó con una red de distanciamiento rígido a lo largo de la zona Huaynacancha, con puntos de muestreo equidistantes cada 250 m; se procedió a definir (delimitar) la zona de muestreo y a la toma de muestra superficial con el Kit de suelo, realizando primero una limpieza de desechos y escombros superficiales (ramas, piedras, residuos, etc.), excavando así una profundidad de 30 a 60 cm para la toma de muestra, recolectando así en bolsas plásticas de 1 kg y colocando cada muestra en un cooler hermético acondicionado a 4°C para su posterior envío a un laboratorio acreditado por INACAL (Certimin SA), el cual realizó el análisis químico de metales pesados (Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Se y Zn), cianuro libre y cromo hexavalente mediante los siguientes métodos indicados en la Tabla 34.

Asimismo, cada punto muestreado estuvo georreferenciado según el sistema de referencia WGS-84 y el sistema de proyección UTM; estos datos fueron vinculados a una base de datos espaciales para así determinar la distribución espacial de las concentraciones de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente mediante el método de interpolación “Distancia Inversa Ponderada (IDW)”, el cual se basó en los fundamentos de la teoría geoestadística. El procesamiento a partir de la base de datos espaciales se realizó con los programas ArcGis 10.3 y Surfer 13.

El análisis estadístico consistió en generar modelos de correlación entre variables para evaluar su relación con las concentraciones de metales pesados en el suelo de la zona industrial, urbana y la producción polimetálica del CMLO. El paquete estadístico utilizado fue Minitab 18 y SPSS Statistics 22.

Fotografía 1

Muestreo de la calidad del suelo en el punto SU-81.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Fotografía 2

Muestreo de la calidad del suelo en el punto SU-05.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Fotografía 3

Muestreo de la calidad del suelo en el punto SU-69.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Fotografía 4

Análisis del Hg en el espectrofotómetro de absorción atómica.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Tabla 34*Equipos y métodos empleados para el análisis químico.*

Equipo	Marca	Modelo	Parámetro	Métodos
ICP - OES	Vista PRO	IPO803 M163	Metales pesados	EPA Method 3050B Rev.02 December 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and soils/ EPA 6010C Rev.03 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)
ICP - MS 7700 x	Agilent Technologies	G3281 A		
Calentador Tipo Plancha	Alerta Técnica	ATEC-HOT		
Potenciómetro de Mesa	Orión	DUAL STAR	CN Libre	EPA Method 9013 A. Rev.02.2014 Cyanide Extraction Procedure for Solids and Oils/SNEWW – APHA-AWWA-WEF.22 Ed.2012. Part-4500-CN-F Cyanide Selective Electrode Method.
Agitador	Hanna Instruments	HI 324		
Baño termostático	Jeio Tech	BW-20G	Hg	EPA Method 7471B Rev.02.2007 Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold Vapor Technique)
Espectrofotómetro de Absorción Atómica	Perkin Elmer	FIMS 100		
Espectrofotómetro UV/VIS	Agilent Technologies	CARY 60	Cr VI	IC-MA-90 Rev.01.2014. (Validado). Método de determinación de Cromo Hexavalente en suelo

Fuente: Laboratorio CERTIMIN S.A, (2017).

3.2.3.3 Determinación de parámetros fisicoquímicos.

Se seleccionaron 12 puntos de muestreo en el área de estudio (574.48 ha.), mediante el método de muestreo aleatorio simple, donde se realizó las calicatas; además se seleccionaron 35 puntos de muestreo para el chequeo de reconocimiento de las unidades taxonómicas en el suelo. Posteriormente se recolectaron muestras de suelo, las cuales fueron recolectadas en cada excavación del terreno (1.50 m de largo por 0.80 m de ancho y 1.50 de profundidad); teniendo en cuenta que el peso de cada muestra fue de 1 kg, obtenido del composito de muestras para cada horizonte en el perfil.

Las muestras obtenidas se colocaron en un cooler hermético acondicionado a 4°C para su posterior envío a un laboratorio de análisis de agua, suelo y medio ambiente (UNALM); el cual realizó el análisis fisicoquímico de los parámetros como el potencial de hidrógeno, calcáreo total, materia orgánica, fosforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes cambiables, conductividad eléctrica y textura del suelo mediante los siguientes métodos indicados en la Tabla 35.

Asimismo, cada punto muestreado estuvo georreferenciado según el sistema de referencia WGS-84 y el sistema de proyección UTM; estos datos fueron vinculados a una base de datos espaciales para así determinar la distribución espacial de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos mencionados anteriormente, mediante el método de interpolación “Distancia Inversa Ponderada (IDW)”, el cual se basó en los fundamentos de la teoría geoestadística. El procesamiento a partir de la base de datos espaciales se realizó con los programas ArcGis 10.3 y Surfer 13.

Se recopiló y analizó el registro histórico de la información de suelos que se encontró en la cartografía análoga. Este registro permitió, además de contar con la información de suelos del área de estudio, estudiar los cambios que han ocurrido en el transcurso del tiempo, como por ejemplo cambios en la degradación del suelo (erosión, compactación y contaminación), en la acidificación y en la saturación.

Fotografía 5
Muestreo de la calicata CHE-23.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

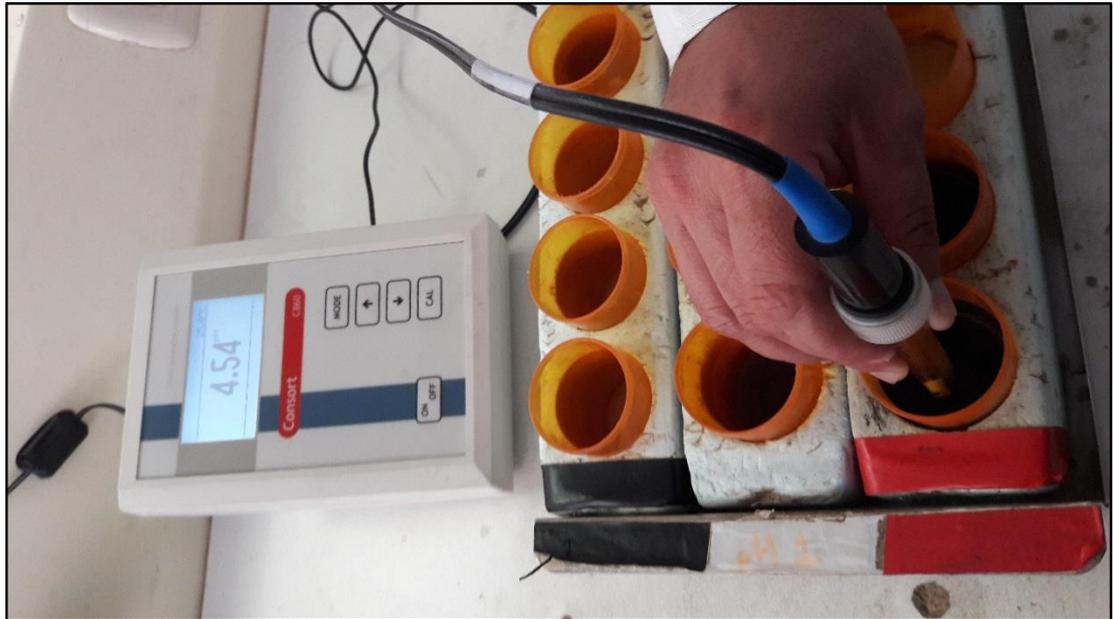
Fotografía 6
Separación de las muestras de suelo en los vasos.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Fotografía 7

Determinación del pH del suelo en el laboratorio.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Fotografía 8

Determinación de la CIC del suelo en el laboratorio..



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Tabla 35*Equipos y métodos empleados para el análisis fisicoquímico.*

Equipo	Marca	Modelo	Parámetro	Métodos
Multiparámetro	Consort	C860	pH	Sección. 7.1.2. Determinación de pH del suelo medido en agua. (AS-02)
Multiparámetro	Consort	C860	Conductividad	Sección. 7.2.5. Medición de la conductividad eléctrica a través del método con un potenciómetro. (AS-18)
Agitador de Hélice o Mecánico Digital	Nova Instruments	Haste NI 1137	Carbonato de Calcio	Sección. 7.2.7 Determinación de carbonatos de calcio por el método de neutralización. (AS-29)
Material Volumétrico	Borosil	-	Materia Orgánica	Sección. 7.1.7 Determinación de la materia orgánica del suelo – Método Walkley – Black. (AS-07)
Espectrofotómetro o UV/VIS de 880 mm	Hach	DR 6000	Fosforo Disponible	Sección. 7.1.11 Determinación del fósforo extraíble por el procedimiento de Bray y Kurtz. (AS-11)
Kit de Potasio	Hanna Instruments	HI 38082	Potasio Disponible	Sección. Método colorímetro.
Hidrómetro de Bouyoucos	Vimaroni	ASTM 152H	Textura	Sección. 7.1.9 Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos. (AS-09)
Espectrofotómetro o de absorción atómica	Perkin Elmer	3100	CIC y Bases Intercambiables	Sección. 7.1.13 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables por método con tiourea de plata. (AS-13)
Cálculo Matemático	-	-	Saturación de Bases	Sección. 7.2.8 Medición del porcentaje de saturación de bases. (AS-21)

Fuente: Laboratorio de análisis de agua, suelo y medio ambiente (UNALM), (2017).**Nota:** Método utilizado. NOM-021 RECNAT-2000 Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, Muestreo y Análisis.

CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación.

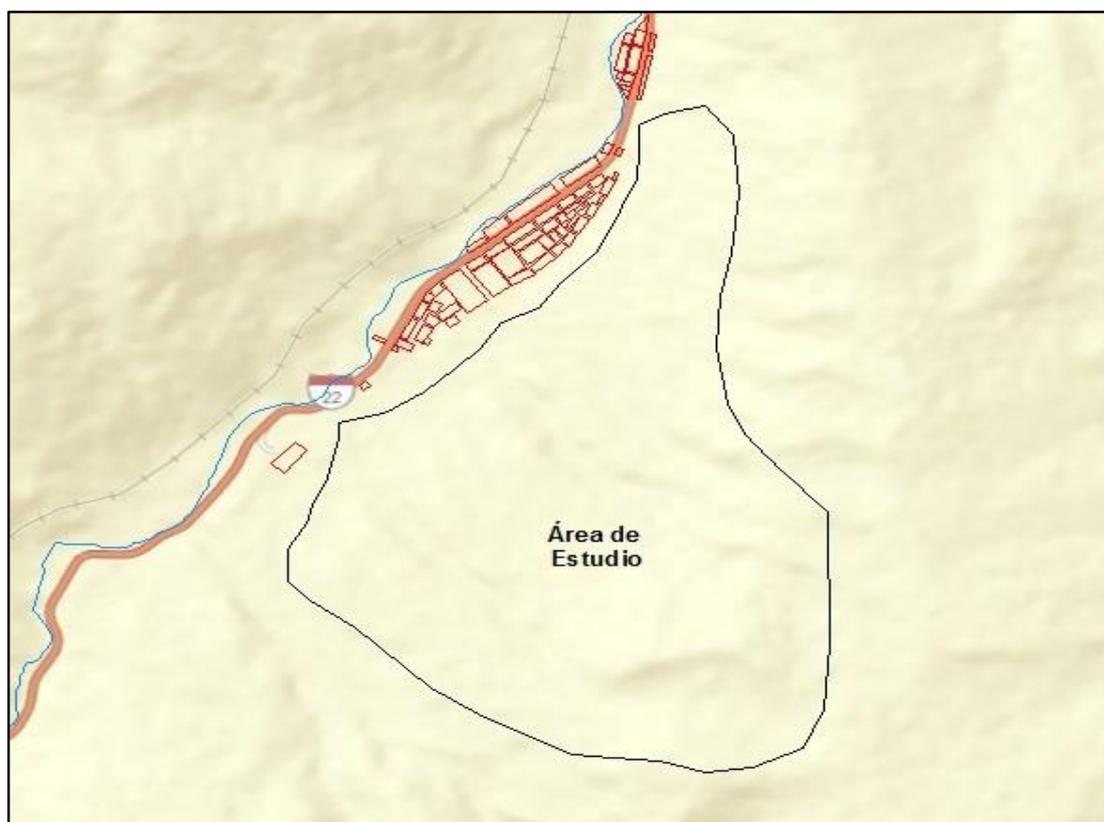
4.1.1 Localización geográfica.

El área de estudio se encuentra ubicado en la parte central y occidental de la cordillera de los andes (Latitud: -11.61; Longitud: -75.96; Zona 18) a una altitud aproximada de 4180 m.s.n.m. Políticamente, se ubica en el distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín (Ver Mapa A-1 del Anexo A). Geográficamente, el área de estudio se sitúa entre los Cerros Quinan y Puitoc al oeste de la Pampa Gallohuajanan y al este de la margen derecha del Río Yauli (Ver Mapa A-2 y A-3 del Anexo A).

En la Figura 13 se presenta el área de estudio vista desde arriba para una mejor representación.

Figura 13

Área de estudio vista desde planta.



Fuente: World Street Basemap, (2018).

4.1.2 Área de influencia.

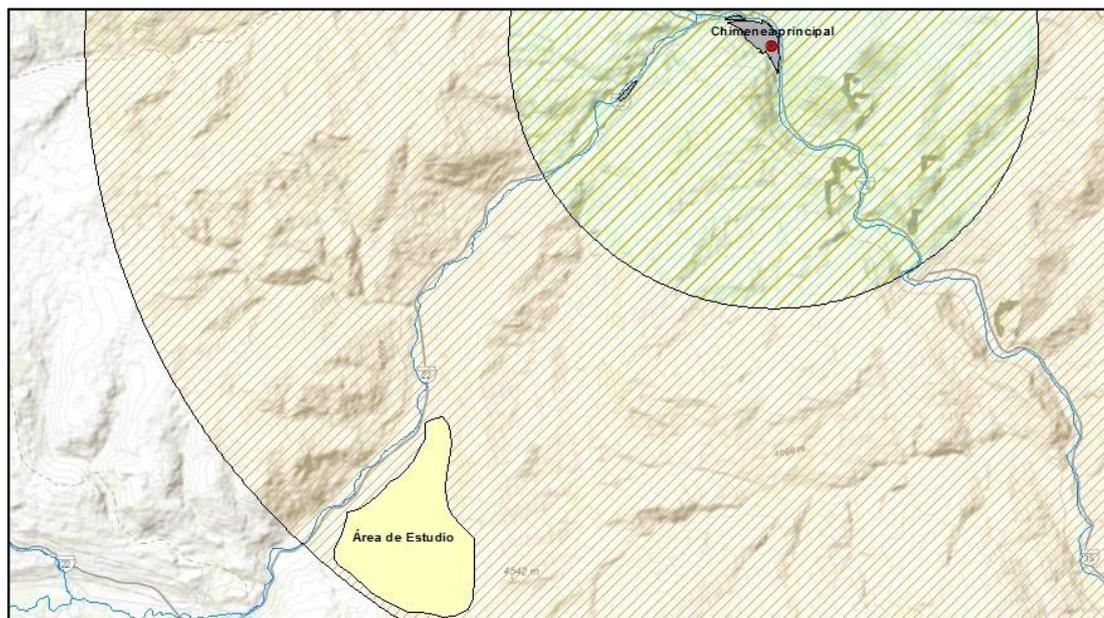
El área de influencia directa e indirecta de la zona industrial (minero – metalúrgico) del Complejo Metalúrgico La Oroya se estableció según los siguientes límites generales, de los cuales se establecieron y analizaron los criterios específicos para cada límite intersectando así al área de estudio en cuestión.

- **Límite de la industria:** Complejo Metalúrgico La Oroya.
- **Límites espaciales y administrativos:** Distrito de La Oroya y Santa Rosa de Sacco.
- **Límites ecológicos:** Impactos ambientales en la calidad del suelo y el aire.
- **Dinámica social:** Los Centros poblados de Huaynacancha, Curipata, Sueropozo y Casita Cinco; suelo agrícola y la carretera central.
- **Distancia a la fuente:** El área de influencia directa tiene un radio de 5 km mientras que el radio del área de influencia indirecta es de 13 km, según el Mapa A-4 del Anexo A y la simulación de dispersión de la pluma (Ver Anexo D).

En la Figura 14 se presenta el área de influencia directa e indirecta determinada por las emisiones de la chimenea principal del Complejo Metalúrgico La Oroya.

Figura 14

Área de influencia directa e indirecta.



Fuente: World Topographic Basemap, (2018).

4.1.3 Área de estudio.

El área de estudio se ubica a unos 11.6 km del CMLO en dirección noreste y tiene de 574.48 ha, esta zona de relieve accidentado está relacionado directamente con las estribaciones de la cordillera andina, presenta cárcavas profundas las que han sido erosionadas por acción de las constantes lluvias. En esta zona rural se realiza actividades agrícolas y ganaderas por parte de la población de los 02 centros poblados (Huaynacancha y Curipata) adyacentes al área de estudio.

A continuación, en la Tabla 36 y la Figura 15 se detallan las coordenadas UTM de los 44 vértices que conforman el área de estudio (Ver Mapa A-5 del Anexo A).

Tabla 36

Coordenadas de los vértices del área de estudio.

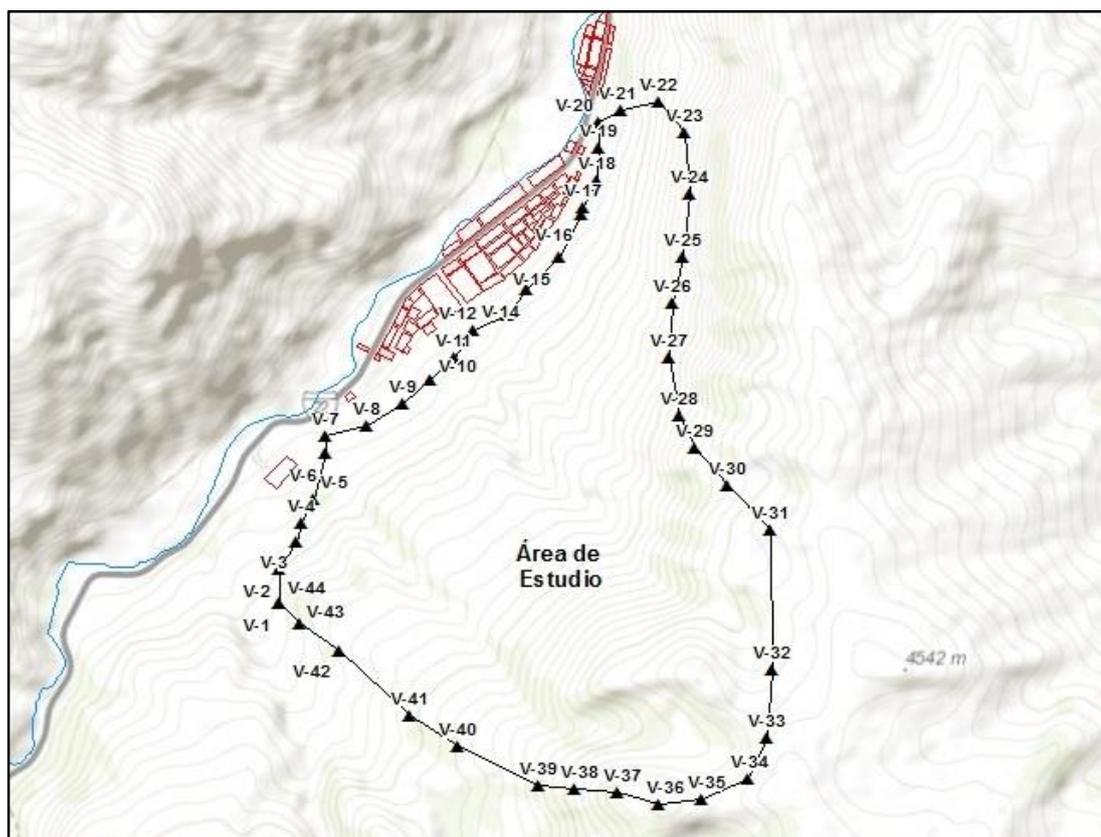
Vértice	Este	Norte	Vértice	Este	Norte
V-1	393918	8715880	V-23	396106	8718434
V-2	393919	8716066	V-24	396134	8718105
V-3	394010	8716220	V-25	396095	8717763
V-4	394042	8716321	V-26	396040	8717511
V-5	394101	8716449	V-27	396017	8717217
V-6	394165	8716693	V-28	396080	8716899
V-7	394169	8716789	V-29	396157	8716724
V-8	394389	8716844	V-30	396335	8716521
V-9	394587	8716967	V-31	396570	8716278
V-10	394738	8717096	V-32	396575	8715521
V-11	394861	8717212	V-33	396548	8715149
V-12	394969	8717363	V-34	396449	8714930
V-13	395147	8717452	V-35	396197	8714814
V-14	395256	8717583	V-36	395969	8714790
V-15	395427	8717760	V-37	395746	8714856
V-16	395550	8717995	V-38	395512	8714874
V-17	395557	8718030	V-39	395316	8714890
V-18	395632	8718179	V-40	394886	8715100
V-19	395646	8718351	V-41	394625	8715275
V-20	395646	8718490	V-42	394242	8715626
V-21	395766	8718562	V-43	394026	8715771
V-22	395968	8718609	V-44	393918	8715880

Fuente: Elaboración propia, (2018)

Nota: Datos obtenidos en campo (Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L; Altura en “msnm”).

Figura 15

Área de estudio determinada por los vértices de la zona rural.



Fuente: World Topographic Basemap, (2018).

4.1.4 Accesos.

El acceso al área de estudio se realiza a través de la ruta que une las ciudades de Lima y La Oroya por la carretera central, se toma esta vía asfaltada de 183.8 km durante 5 h 15 min aproximadamente.

4.2 Aspectos físicos.

4.2.1 Topografía y fisiografía.

La topografía del terreno es muy accidentada y agreste con fuertes pendientes de 70 – 88 %, el tipo de suelo es con presencia de fragmentos de textura arenosa y otra parte de textura de rocas descompuestas; como también se tiene presencia de piedras calizas, sílice y roca madre. (PIGARS, 2014) El río Yauli, tributario del río Mantaro, en su recorrido pasa por un cinturón de topografía plana donde se ha formado varios centros poblados. En esta zona se observa relieves típicos de la geografía de valles

interandinos con una altitud que varía de 3000 a 4500 m.s.n.m. en algunos sectores (IGAC, 2015).

4.2.2 Geomorfología.

La geomorfología del área de estudio se caracteriza por tener montañas y colinas en roca sedimentaria (RMC-rs), vertiente coluvial de detritos (V-d) y terraza aluvial (T-al) como indica el Mapa A-9 del Anexo A.

Según Pulgar (1987), el área de estudio se encuentra dentro del ámbito geomorfológico de la Cordillera de los Andes en la región puna que abarca desde los 4100 a 4800 m.s.n.m. y está constituida por un conjunto de elevaciones que corren alineadas en cadenas paralelas. Asimismo, se encuentran manifestaciones de deglaciaciones recientes y modificaciones producidas por procesos periglaciares actuales con depósitos cuaternarios, constituidos por materiales rocosos de tamaño heterogéneo y de forma redondeada a subredondeadas, en las colinas de la zona (MPYLO, 2012).

4.2.3 Geología.

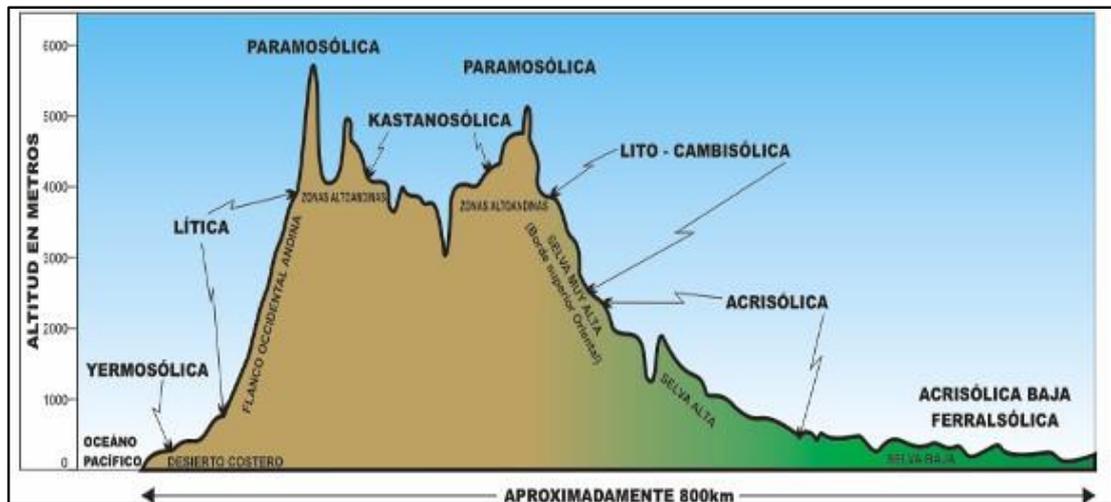
La presente sección describe con amplitud los principales caracteres geológicos que enmarcan el área de estudio según INGEMMET (2000), encontrándose así las siguientes unidades litoestratigráficas en el área de estudio: conglomerados polimícticos en matriz arenoarcillosa (Qpl-gf2), areniscas cuarzosas de grano fino pardas amarillentas, intercaladas con limoarcillitas (Ki-go/ph), basalto, traquiandesita basáltica (N-b/tb), calizas micriticas blancas, oolíticas y limoarcillitas calcáreas (Ki-chu), calizas micriticas negras bituminosas en estratos medios tabulares (Ki-pt) y calizas micriticas gris claras en estratos tabulares (Ji-co) como indica el Mapa A-10 del Anexo A.

4.2.4 Región edáfica.

De acuerdo a Zamora & Bao (1972), el Perú se divide en siete (7) regiones edáficas, todas íntimamente relacionadas a la altitud. El área de estudio se encuentra en la tercera región edáfica denominada Paramosólica o Andosólica (Ver Figura 16), la misma que se ubica entre los 4000 a 5000 msnm. En esta región existen buenos suelos, pero el uso agrícola está limitado por el frío. Predominan los suelos ricos en

materia orgánica y ácidos (paramosoles), y existen suelos rocosos (litosoles), calcáreos (redzinas), arcillosos profundos (chernozems), y orgánicos profundos (histosoles).

Figura 16
Regiones edáficas del Perú.



Fuente: Zamora & Bao, (1972).

4.2.5 Climatología.

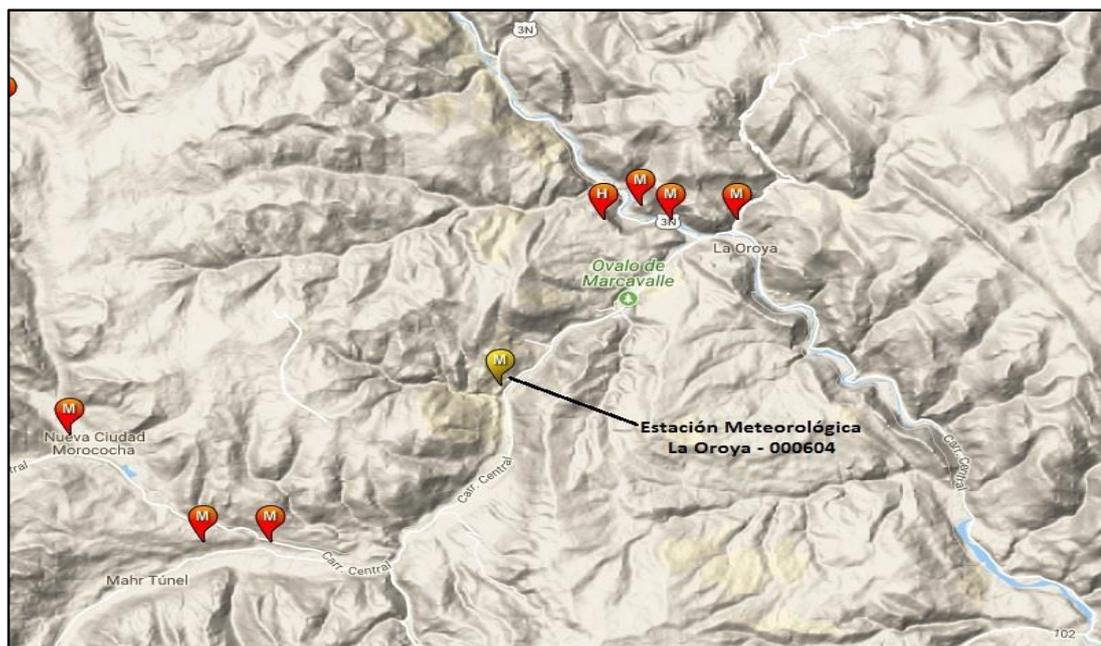
El clima de La Oroya y alrededores es frígido con dos estaciones bien marcadas; la húmeda entre noviembre y abril con precipitaciones líquidas y a veces sólidas (nieves o granizo), y la seca durante el resto del año. De acuerdo a Thornthwaite (1984), desde el punto de vista del régimen de precipitación y humedad el clima es de tipo semiseco con déficit pequeño o ninguno y poco o ningún exceso en verano (C1rd) y de acuerdo al régimen térmico se identifica como frío acentuado (C'1) (IGAC, 2015).

4.2.6 Meteorología.

La data meteorológica analizada es de administración del SENAMHI (Tabla 37) y se ubica en el Distrito Santa Rosa de Sacco, Provincia de Yauli, Departamento de Junín como indica la Figura 17.

Tabla 37*Ubicación geográfica y política de la estación meteorológica.*

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)
La Oroya – 000604	11 34' 7"	75 57' 34"	3910

Fuente: SENAMHI, (2018).**Figura 17***Estación meteorológica La Oroya – 0000604.***Fuente:** SENAMHI, (2017).

4.2.6.1 Temperatura.

Se ha analizado los datos del clima registrados en la estación La Oroya, lo cual nos indica a identificar su tendencia y predecir cuál será el comportamiento de este parámetro en los meses posteriores, debiendo señalar que el promedio de temperaturas media oscila entre 6.4 °C en julio y 9.8 °C en noviembre (Tabla 38 y Gráfico 1).

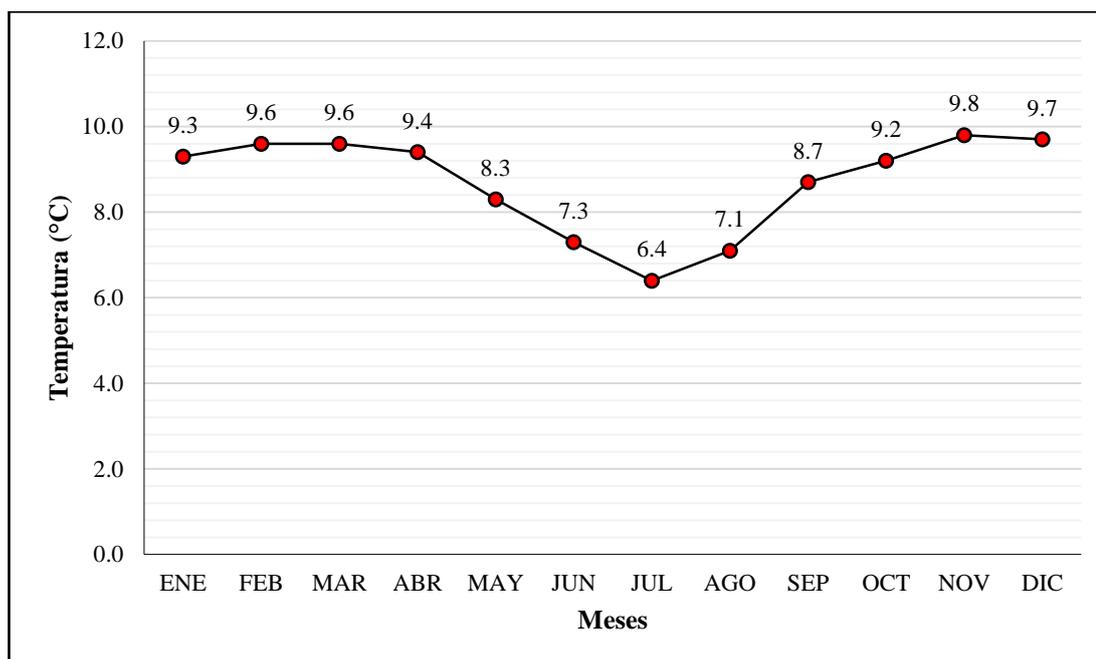
Tabla 38*Temperatura media mensual (Periodo: 2011 – 2014).*

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Mín.	3.7	4.8	4.5	3.4	0.9	-1.2	-2.0	-1.5	1.5	2.6	2.9	4.3
Máx.	15.0	14.4	14.8	15.4	15.8	15.7	14.8	15.7	15.8	15.9	16.7	15.0
Prom.	9.3	9.6	9.6	9.4	8.3	7.3	6.4	7.1	8.7	9.2	9.8	9.7

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Datos obtenidos de SENAMHI, en grado celsius (°C).

Gráfico 1

Promedio de la temperatura media mensual (2011 – 2014).



Fuente: Elaboración propia, (2018)

4.2.6.2 Precipitación.

La precipitación se presenta en forma de lluvia y/o granizo, y se acentúa entre los meses de noviembre a abril, siendo desde mayo a septiembre el periodo en el que generalmente ocurren precipitaciones mínimas.

De la Tabla 39 y el Gráfico 2 se evidenció que, las mayores precipitaciones promedio media mensual están en los meses de diciembre, enero y febrero con 133.2 mm, 145.2mm y 126.1mm respectivamente; así mismo los meses con menor precipitación son junio, julio y agosto con precipitaciones de 7.9mm, 16.7mm y 15.9 mm respectivamente. La mayor precipitación fue 179.1 mm en diciembre del 2012.

Tabla 39

Precipitación media mensual (Periodo: 2011 – 2014).

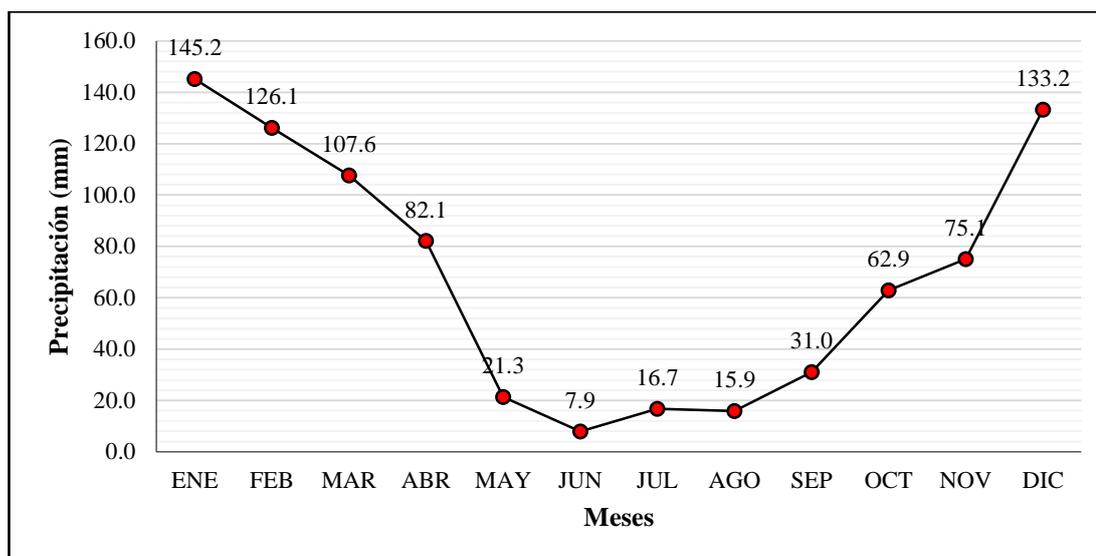
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2011	154.9	143.0	121.0	73.0	15.1	6.5	17.0	3.3	29.6	65.9	61.6	164.5
2012	99.3	90.3	36.5	129.0	3.6	16.4	7.7	1.7	25.7	72.8	130.8	179.1
2013	171.7	131.8	112.4	55.8	29.3	8.6	12.3	57.5	32.4	64.0	36.6	90.8
2014	154.7	139.2	160.6	70.4	37.2	0.0	29.7	1.1	36.3	48.9	71.5	98.4
Prom.	145.2	126.1	107.6	82.1	21.3	7.9	16.7	15.9	31.0	62.9	75.1	133.2

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos de SENAMHI, en milímetros (mm).

Gráfico 2

Promedio de la precipitación media mensual (2011 – 2014).



Fuente: Elaboración propia, (2018)

4.2.6.3 Velocidad del Viento.

De la Tabla 40 y el Gráfico 3 se evidenció que, según la Escala de Beaufort (Tabla 24) podemos afirmar que el viento que se presenta en esta zona varía entre las denominaciones Flojito (Brisa muy débil) y Flojo (Brisa débil) ya que presenta velocidades promedios que oscilan entre los 2.6 m/s y 4.0 m/s respectivamente.

Tabla 40

Velocidad media mensual (Periodo: 2011 – 2014).

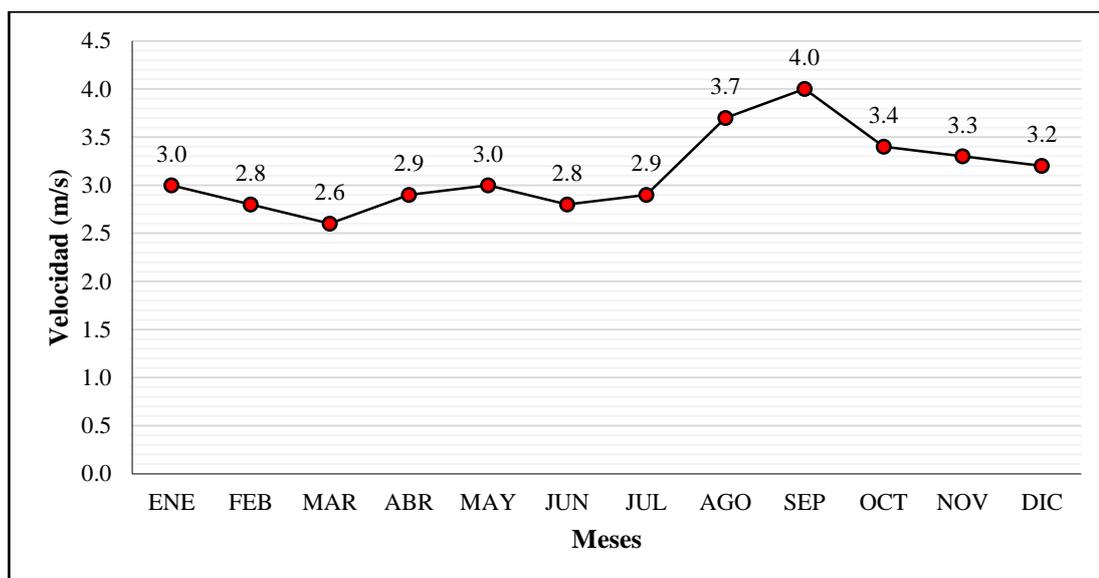
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2011	3.4	3.7	2.9	2.8	3.0	2.6	2.5	4.2	3.6	3.3	3.5	3.7
2012	2.4	2.1	2.5	2.5	3.4	2.6	3.4	4.2	5.3	3.5	3.5	2.7
2013	2.7	3.0	2.4	3.2	2.7	2.8	2.8	2.7	3.7	3.5	3.2	3.3
2014	3.4	2.5	2.6	3.0	2.9	3.2	2.8	3.7	3.4	3.4	3.0	3.0
Prom.	3.0	2.8	2.6	2.9	3.0	2.8	2.9	3.7	4.0	3.4	3.3	3.2

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos de SENAMHI, en metros por segundo (m/s).

Gráfico 3

Promedio de la velocidad media mensual (2011 – 2014).



Fuente: Elaboración propia, (2018)

4.2.6.4 Dirección y rumbo del viento.

La dirección predominante del viento para la Estación La Oroya es Noreste (45°) con un 28% y Norte (360°) para los diferentes meses del año según los datos obtenidos por SENAMHI (Ver Tablas 41 y 42 & la Figura 18).

Tabla 41

Dirección del viento media mensual (Periodo: 2011 – 2014).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2011	360	45	45	45	360	45	45	45	360	45	45	360
2012	45	45	360	45	45	45	45	360	45	360	45	45
2013	45	45	45	45	45	360	360	45	45	45	45	45
2014	45	360	45	360	45	45	45	45	45	45	360	45

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos de SENAMHI, en grados sexagesimales (°).

Tabla 42

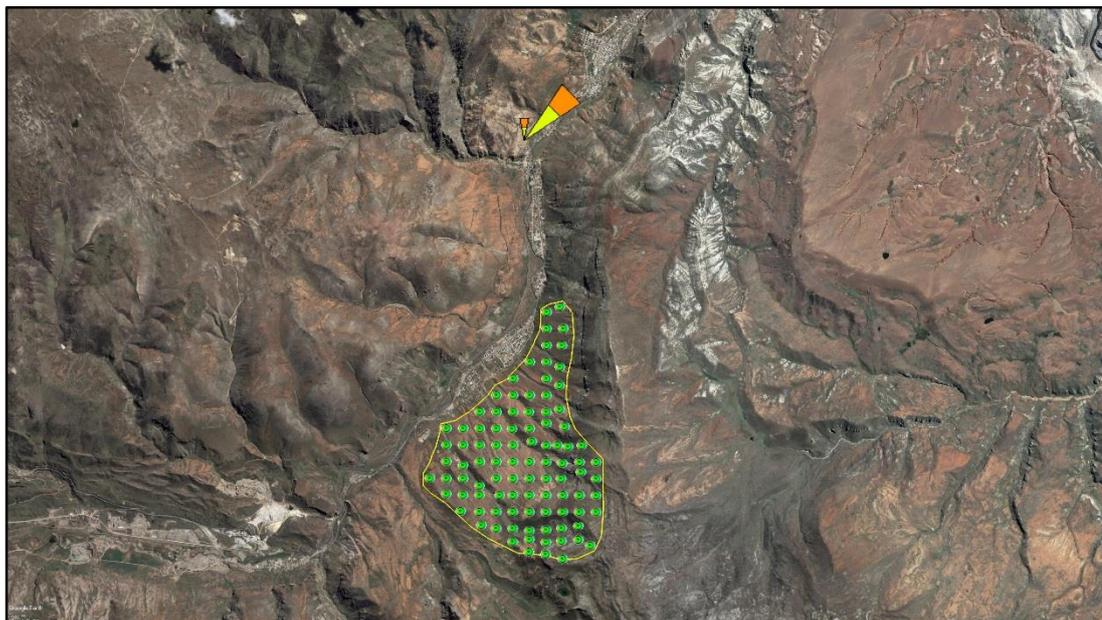
Rumbo del viento media mensual (Periodo: 2011 – 2014).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2011	N	NE	NE	NE	N	NE	NE	NE	N	NE	NE	N
2012	NE	NE	N	NE	NE	NE	NE	N	NE	N	NE	NE
2013	NE	NE	NE	NE	NE	N	N	NE	NE	NE	NE	NE
2014	NE	N	NE	N	NE	NE	NE	NE	NE	NE	N	NE

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Figura 18

Dirección del viento predominante en la estación meteorológica.



Fuente: Google Earth Pro, (2018).

Nota: Dirección del Viento Noreste (NE) - Ver Anexo D.

4.2.7 Clasificación de Suelos.

De acuerdo al Mapa de Suelos del Perú (INRENA, 1996), el área de estudio se encuentra en la distribución de suelo Regosol dístico - Afloramiento lítico (RGd-R), lo cual indica que son suelos desarrollados a partir de depósitos coluvio – aluviales o de sedimentos aluviales antiguos o subrecientes, mayormente arcillitas y están constituidos por exposiciones de material mineral sólido y compacto (roca), por depósitos de escombros o detritos rocosos y por material tufáceo que son depósitos poco consolidados de litología volcánica como indica el Mapa A-11 del Anexo A. Según Brack & Mendiola (2000), el área de estudio se ubica en la región natural denominada “la puna y los altos andes”, lo cual indica que los suelos predominantes son andosoles y paramosoles, con variaciones importantes, como en el sur donde son volcánicos.

4.2.8 Capacidad de Uso Mayor de las Tierras.

Según el estudio socioeconómico de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) realizado por el Gobierno Regional de Junín en el 2015 por encargo del MINAM referenciados en el DS N°017-2009-AG, los suelos del área de estudio son tierras aptas para pastoreo con calidad agrológica media, limitada por suelo y clima (P2sc),

tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima (Xsec) y tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima - Tierras de protección, afloramiento lítico (Xsec-Xaflt) como indica el Mapa A-12 del Anexo A.

4.3 Aspectos biológicos.

4.3.1 Flora y Fauna.

La vegetación silvestre típica de esta zona es el ichu que tiene múltiples usos, destacando como alimento principal de la ganadería, que constituye la actividad de mayor importancia del poblador alto andino especialmente en la cría de vacunos, ovinos y auquénidos. Entre las plantas domesticas adaptadas a las condiciones geográficas tenemos la mashua y cebada. La fauna típica lo constituyen los auquénidos como la llama y alpaca (MPYLO, 2012).

4.3.2 Zona de Vida.

De acuerdo al Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995), en el área de estudio se determinó dos (02) asociaciones principales: Primero bosque húmedo – Montano Tropical (bh-MT), el cual indica que es de relieve dominante empinado ya que conforma el borde o parte superior de las laderas que enmarcan a los valles interandinos y por lo general, aquí dominan suelos relativamente profundos, arcillosos, de reacción ácida, tonos rojizos a pardos que se asimilan al grupo edafogénico de Phaeozems. Y segundo páramo muy húmedo - Subalpino Tropical (pmh-SaT) el cual nos dice que la configuración topográfica está definida por áreas bastante extensas, suaves a ligeramente onduladas y colinadas, en las que se incluye la Pampa de Junín y otras mesas altoandinas, con laderas de moderado a fuerte declive hasta presentar en muchos casos afloramientos rocosos. El escenario edáfico está conformado por suelos relativamente profundos, de textura media, ácidos, generalmente con influencia volcánica (Páramo Andosoles) o sin influencia volcánica (Paramosoles) como indica el Mapa A-13 del Anexo A.

4.3.3 Cobertura Vegetal.

De acuerdo al Mapa Cobertura Vegetal (MINAM, 2015), en el área de estudio se determinó una (01) asociación principal: Pajonal andino (Pj), lo cual indica que este tipo de cobertura vegetal está conformado mayormente por herbazales y se desarrolla

sobre terrenos que van desde casi planos como en las altiplanicies hasta empinados o escarpado, en las depresiones y fondo de valles glaciares como indica el Mapa A-14 del Anexo A.

4.4 Aspectos generales.

4.4.1 Descripción del Complejo Metalúrgico La Oroya (CMLO).

4.4.1.1 Historia.

El Complejo Metalúrgico de La Oroya fue construido en 1922 en un cruce de caminos inhabitado ubicado a 3700 metros sobre el nivel del mar, localizado entre la ciudad de Lima, el puerto del Callao y las minas de la compañía Cerro de Pasco Corporation. Con el tiempo, la ciudad de La Oroya creció y se desarrolló paralelamente al Complejo Metalúrgico. En 1974 el gobierno militar del General Velasco Alvarado expropió el Complejo Metalúrgico y otros activos de la compañía Cerro de Pasco Copper Corporation, asignándolos a una nueva empresa de propiedad del Estado llamada Centromin Perú. Esta empresa estatal fue responsable por la administración del Complejo Metalúrgico hasta su transferencia al sector privado en 1997. Después de una subasta pública durante la cual el primer postor (Industrias Peñoles de México) retiró su oferta, Doe Run Perú negoció los términos de su adquisición y adquirió el Complejo Metalúrgico de Centromin Perú en octubre de 1997 (Doe Run Perú, 2015).

4.4.1.2 Ubicación.

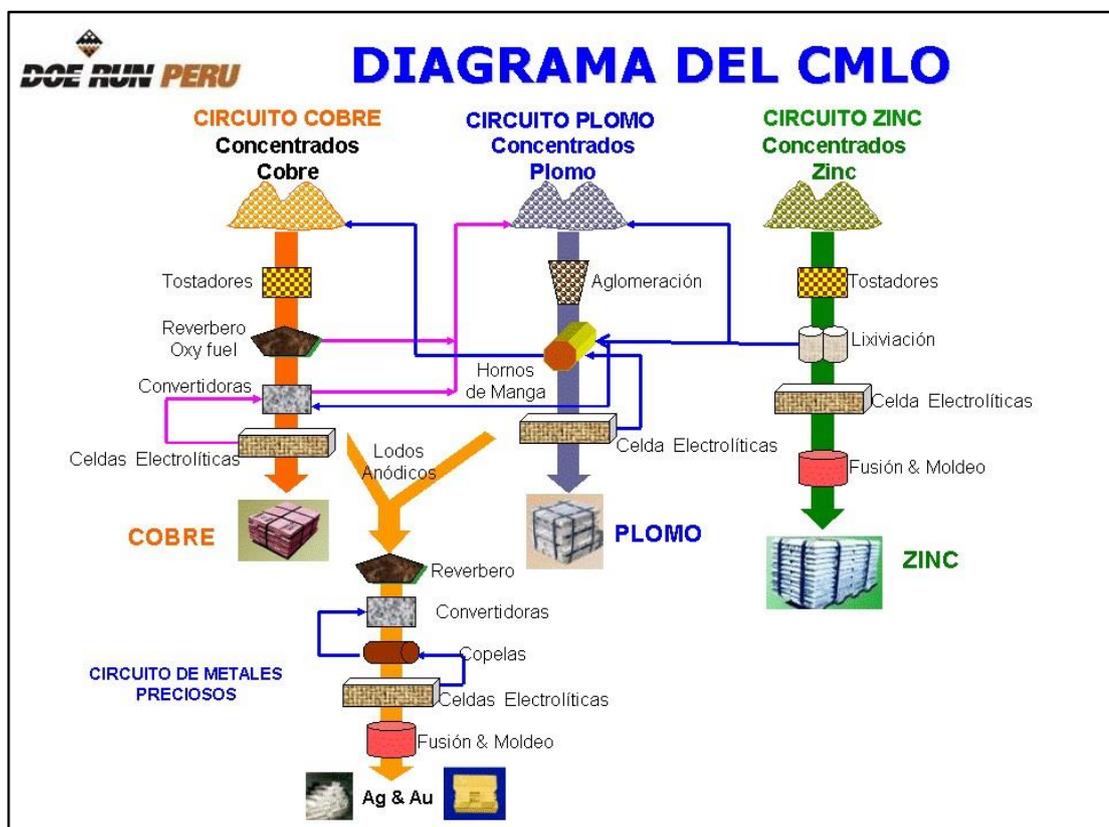
El Complejo Metalúrgico de La Oroya está ubicado en los Andes centrales del Perú, aproximadamente a 180 kilómetros al este de la ciudad de Lima, en la Región Junín, Provincia de Yauli, Distrito de La Oroya. Localizado a 3775 metros sobre el nivel del mar, para llegar desde la Costa es necesario atravesar los altos pasos de montaña, alcanzando durante la travesía, en su punto más alto denominado Ticlio, los 4818 metros sobre el nivel del mar (Doe Run Perú, 2015).

4.4.1.3 Procesos.

El Complejo Metalúrgico de La Oroya (CMLO) es el único complejo en el mundo que opera en simultáneo 4 pilares o circuitos fundamentales: Cobre, Plomo, Zinc y

Metales Preciosos. Una de sus fortalezas es la gran sinergia que existe entre ellos y que hace que las operaciones sean funcionales y competitivas. (Doe Run Perú, 2015) El CMLO fue diseñado para el procesamiento de concentrados poli metálicos con altos contenidos de impurezas y metales preciosos para producir 10 metales refinados: Cobre, Zinc, Plata, Plomo, Indio, Bismuto, Oro, Selenio, Telurio y Antimonio y 7 sub productos de alta pureza: Sulfato de Zinc, Sulfato de Cobre, Ácido Sulfúrico de Zinc, Ácido Sulfúrico de plomo, Trióxido de Arsénico, Polvo de Zinc y Concentrado Zinc/Plata (Ver Figura 19).

Figura 19
Circuito del proceso industrial de minerales en el CMLO.



Fuente: Doe Run Perú, (2015).

4.4.1.4 Materias primas e insumos químicos.

Según Doe Run Perú (2015), entre las materias primas e insumos químicos impactantes solo tenemos los concentrados, fundentes y materiales reciclados que se usan en el proceso metalúrgico.

En la Tabla 43 se presenta la producción de los concentrados polimetálicos producidos por la empresa Doe Run Perú en un periodo de 15 años (1998 – 2014) y de los cuales son objeto de análisis estadístico en la presente investigación.

Tabla 43

Producción de concentrados polimetálicos en la zona industrial.

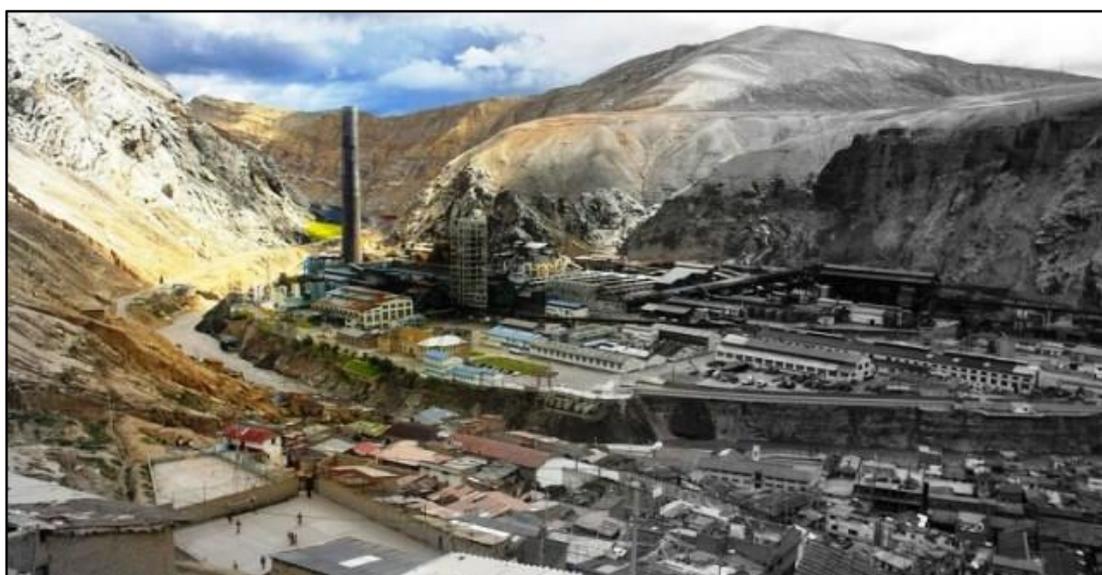
Año	Cu (ton)	Pb (ton)	Zn (ton)	Ag (ton)	Bi (ton)	Se (ton)	Sb (ton)	Cd (ton)	As (ton)
1998	63319	108475	71569	901	832	18	364	119	1311
1999	68376	111287	74582	1026	705	23	255	133	1314
2000	65911	119517	78399	1079	744	22	461	167	2136
2001	64886	121185	79401	1077	640	16	273	169	1439
2002	63794	119600	76919	1067	568	21	356	174	2508
2003	61866	112279	73041	1100	912	24	616	203	3515
2004	57649	119000	67960	1101	988	24	510	161	2295
2005	59480	122091	41165	1079	952	21	807	142	2386
2006	59783	120322	41014	1146	1080	26	773	83	3122
2007	59347	116786	42495	1101	1115	27	605	13	3375
2008	53926	114288	43493	1073	1062	16	545	0	3919
2009	15734	26111	9956	302	420	5	151	0	197
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	1713	3653	14847	17	5	1	0	0	0
2013	123	85349	39473	442	588	4	500	0	0
2014	0	33329	13506	220	188	0	244	0	0

Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

Nota: El Complejo Metalúrgico La Oroya estuvo paralizado los años 2010 y 2011.

Figura 20

Complejo Metalúrgico La Oroya vista desde arriba.



Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

Figura 21

Complejo Metalúrgico La Oroya vista desde el Río Yauli.



Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

4.4.2 Gestión Ambiental.

4.4.2.1 Calidad del aire.

La compañía minera-metalúrgica Doe Run Perú tiene determinado dentro de su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) y su Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC) la realización de monitoreos quincenales de calidad de aire en 07 puntos de muestreos predeterminados, los cuales se detallan a continuación en la Tabla 44 y la Figura 22.

Tabla 44

Coordenadas de los puntos de muestreo de la calidad del aire.

Estación	Este	Norte	Descripción
G-01	400680	8726180	Hotel Inca
G-03	401649	8726316	Sindicato Obreros
G-04	403238	8724173	Huanchan
G-05	395838	8733211	Casaracra
G-07	398600	8723915	Marcavalle
G-08	408886	8712672	Huari
G-09	395481	8719718	Huaynacancha

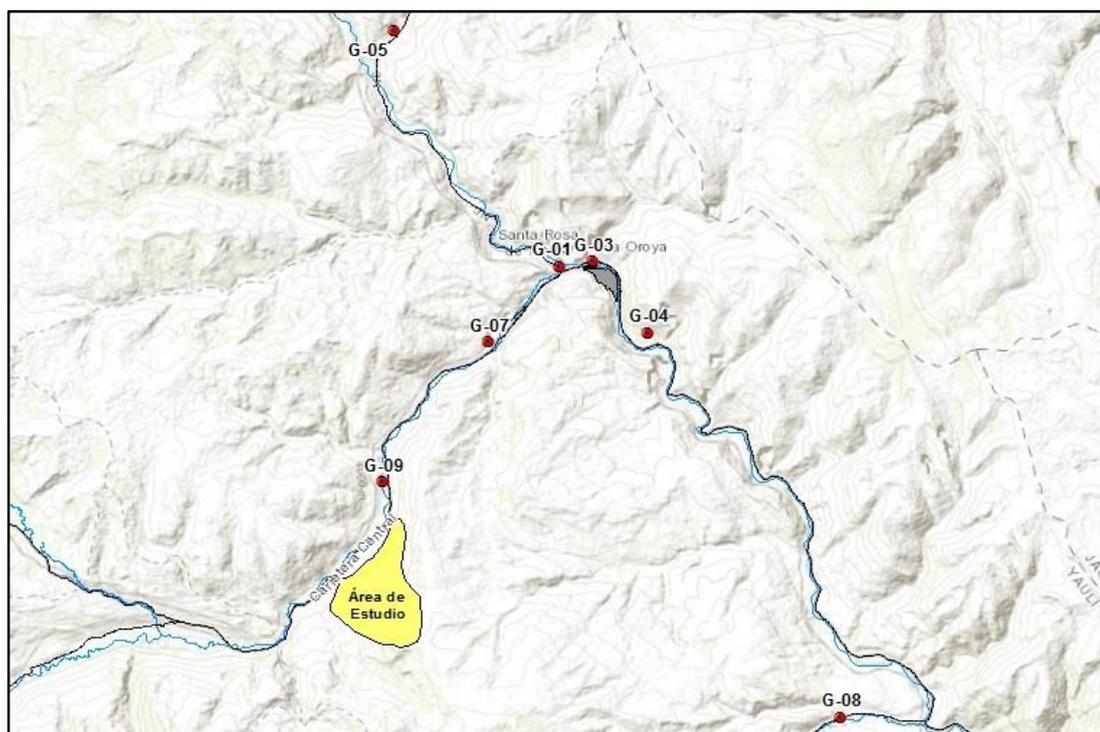
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota 1: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC).

Nota 2: Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L.

Figura 22

Mapa referencial de los puntos de muestreo de la calidad del aire.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Asimismo, como antecedentes de referencia se detalla en la Tabla 45 los resultados de las concentraciones medias de metales pesados presentes en el aire, realizados por la compañía minero-metalúrgica Doe Run Perú en un periodo de un año (Diciembre 2013 – Noviembre 2014). En el Anexo D se presentan los “Mapas de Análisis Geoespacial de Calidad de Aire” referencial, realizados a estos resultados en función de su concentración total para cada parámetro.

Tabla 45

Concentraciones medias de metales pesados en el aire.

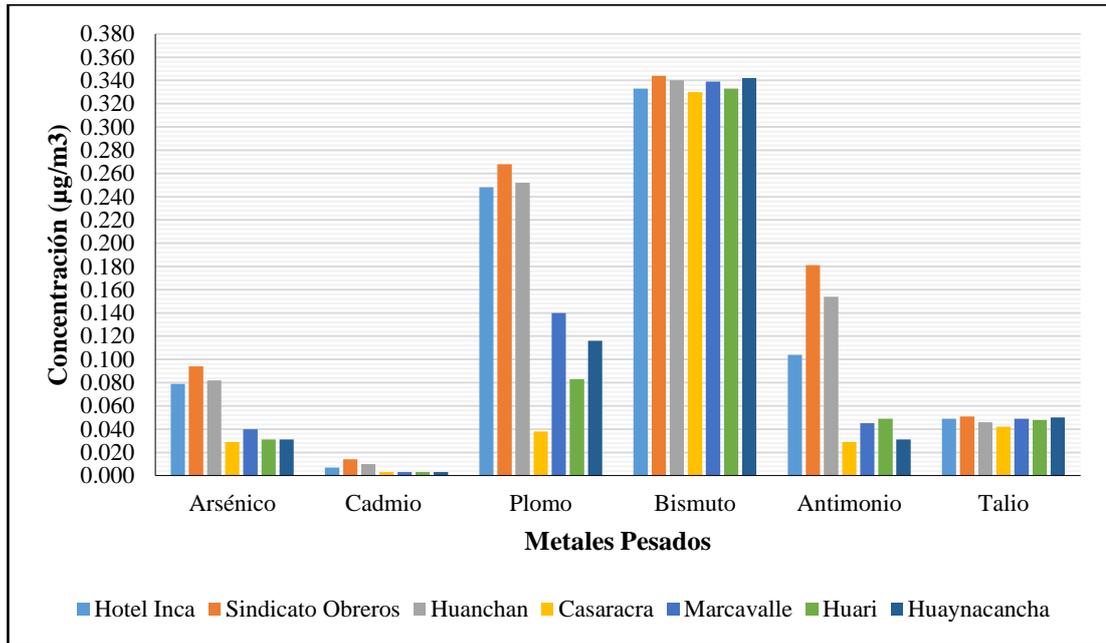
Estación	Arsénico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cadmio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Bismuto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Antimonio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Talio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Hotel Inca	0.079	0.007	0.248	0.333	0.104	0.049
Sindicato Obreros	0.094	0.014	0.268	0.344	0.181	0.051
Huanchan	0.082	0.010	0.252	0.340	0.154	0.046
Casaracra	0.029	0.003	0.038	0.330	0.029	0.042
Marcavalle	0.040	0.003	0.140	0.339	0.045	0.049
Huari	0.031	0.003	0.083	0.333	0.049	0.048
Huaynacancha	0.031	0.003	0.116	0.342	0.031	0.050
ECA (Aire)	0.006	0.005	0.5	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

Gráfico 4

Comparación de concentraciones de metales pesados en el aire.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

4.4.2.2 Emisiones atmosféricas y material particulado.

La compañía minera-metalúrgica Doe Run Perú tiene determinado dentro de su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) y su Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC) la realización de monitoreos mensuales de sus emisiones atmosféricas en sus 22 chimeneas predeterminadas, las cuales se detallan a continuación en la Tabla 46 y la Figura 23.

Tabla 46

Coordenadas de chimeneas principales y secundarias.

Chimenea	Este	Norte	Descripción
C-1	402223	8725656	Chimenea principal
C-5	402269	8725618	Chimeneas del sistema de ventilación de ollas de Bismuto de residuos anódicos
C-6	402264	8725593	Chimenea del sistema de ventilación de convertidores de residuos anódicos
C-9	402183	8725713	Chimenea del sistema de ventilación de hornos de plomo
C-10	401727	8725976	Chimenea del sistema de ventilación Bag House, trióxido de arsénico
C-11	402213	8725753	Chimenea Reberveros Planta de Dross
C-12	402070	8725651	Chimenea sistema de ventilación "A" Aglomeración
C-13	402086	8725712	Chimenea sistema de ventilación "B" Aglomeración
C-14	401945	8725726	Chimenea sistema de ventilación "C" Aglomeración
C-15	402140	8725821	Chimenea Bag House encerramiento horno de Pb
C-16	402145	8725825	Chimenea Bag House encerramiento Dross Plant
C-17	402238	8725654	Chimenea sistema de ventilación Gases Nitrosos
C-18	402261	8725673	Chimenea Bag House encerramiento residuos anódicos
C-19	402131	8725740	Chimenea gases residuales Planta de Ácido de Zinc
C-20	402160	8725425	Chimenea de Bag House - Planta de Zileret
C-21	402235	8725455	Chimenea de Bag House - Planta de Dross de Zinc
C-22	402232	8725453	Chimenea de proceso Horno Ajax
C-23	401800	8725942	Bag House del proceso de convertidores de la Planta de Antimonio

C-24	401808	8725943	Bag House del proceso de reverberos de la Planta de Antimonio
C-25	399509	8724830	Bag House 1 del proceso de Moldeo de Plomo. Refinería Huaymanta
C-26	399517	8724833	Bag House 2 del proceso de Moldeo de Plomo. Refinería Huaymanta
C-27	402271	8725582	Bag House de reverbero de Bismuto. Residuos anódicos

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota 1: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC).

Nota 2: Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L.

Figura 23

Mapa referencial de las chimeneas principales y secundarias.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Asimismo, como antecedentes de referencia se detalla en la Tabla 47 los resultados de las concentraciones anuales del material particulado, metales pesados y dióxido de azufre presentes en las emisiones atmosféricas emitidos por la chimenea principal y realizada por la compañía minero-metalúrgica Doe Run Perú en el periodo 1997 – 2014. En el Anexo D se presentan el “Análisis de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos de la Oroya” referencial, realizados a estos resultados en función de su fuente de emisión e información meteorológica.

Tabla 47
Concentraciones presentes en las emisiones atmosféricas.

Año	MP (mg/m ³)	As (mg/m ³)	Pb (mg/m ³)	SO ₂ (ton/d)
1997	73.62	13.80	19.26	1186
1998	73.07	10.32	21.03	1176
1999	72.75	10.50	21.02	1143
2000	69.19	12.43	15.95	934
2001	63.40	10.26	14.76	988
2002	60.96	12.84	14.21	981
2003	62.35	9.99	15.57	985
2004	65.37	9.24	18.68	1001
2005	50.13	8.33	16.04	898
2006	45.12	7.64	14.63	873
2007	34.42	5.84	11.39	894
2008	49.20	3.70	10.10	565
2009	-	-	-	-
2010	-	-	-	-
2011	-	-	-	-
2012	19.50	0.70	1.70	24
2013	51.50	1.50	9.30	72
2014	14.70	0.60	1.80	42
NMP (Emisión)	100	25	25	175

Fuente: Elaboración propia, (2018).

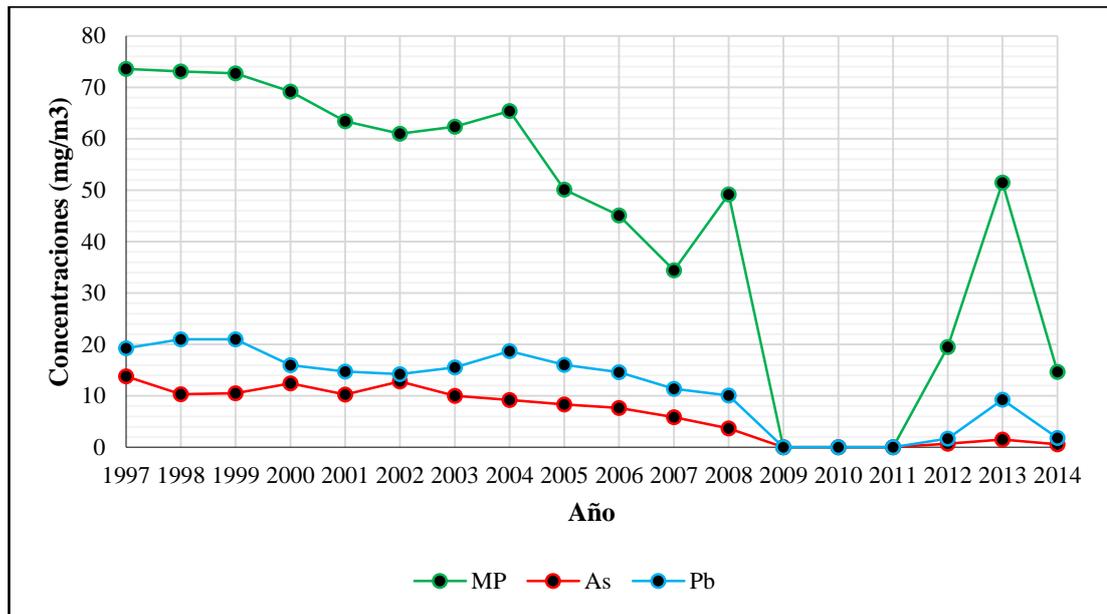
Nota 1: Ingreso de azufre al proceso: 401 – 500 ton/d según Doe Run Perú, (2015).

Nota 2: El complejo metalúrgico estuvo paralizado los años 2009, 2010 y 2011.

En los Gráficos 5 y 6 se observa la tendencia de las concentraciones del material particulado, metales pesados y dióxido de azufre presentes en las emisiones atmosféricas emitidos por la chimenea principal y realizada por la compañía minero-metalúrgica Doe Run Perú en el periodo 1997 – 2014.

Gráfico 5

Concentraciones de material particulado y metales pesados.



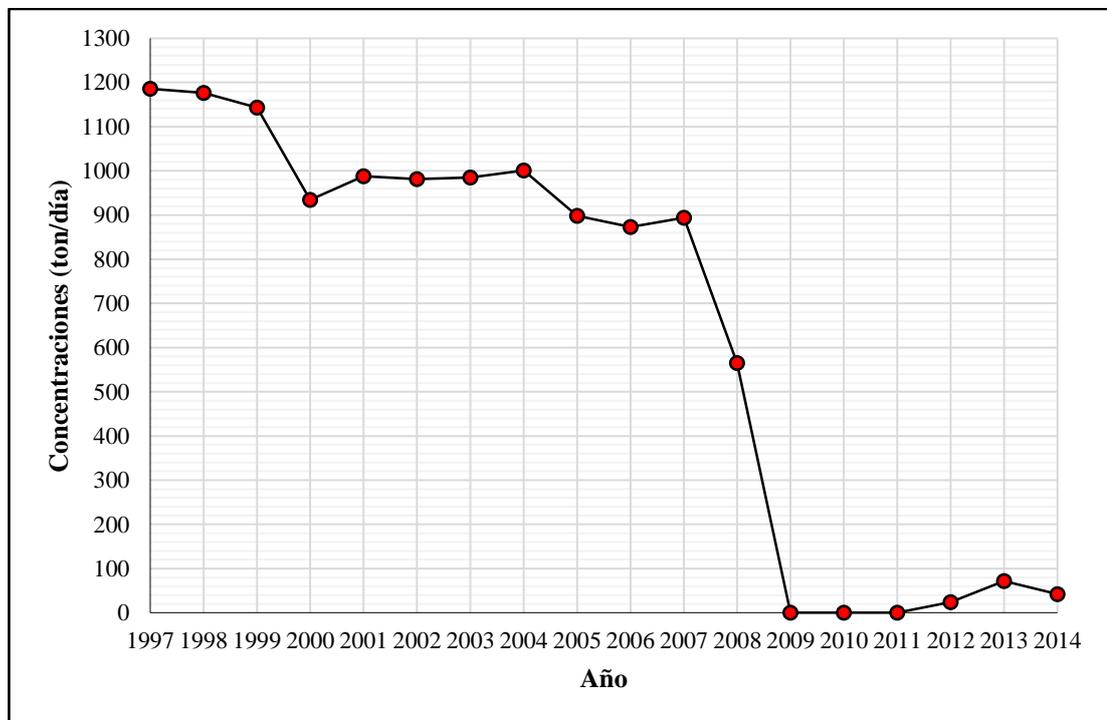
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota 1: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

Nota 2: El complejo metalúrgico estuvo paralizado los años 2009, 2010 y 2011.

Gráfico 6

Concentraciones del dióxido de azufre.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota 1: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

Nota 2: El complejo metalúrgico estuvo paralizado los años 2009, 2010 y 2011.

4.4.2.3 Calidad del Suelo.

La compañía minera-metalúrgica Doe Run Perú tiene determinado dentro de su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) y su Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC) la realización de monitoreos trimestrales de la calidad de suelo en sus 27 puntos de muestreo de la zona industrial y 25 puntos de muestreo de la zona urbana, las cuales se detallan a continuación:

A. Zona industrial: La zona industrial está conformada por la fundición del CMLO y la refinería de Huaymanta, pero es en el mismo CMLO donde funcionan los hornos y las chimeneas que se ubican los 27 puntos de muestreo (Ver Tabla 48 y Figura 24).

Tabla 48

Coordenadas de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.

Estación	Este	Norte	Descripción
TPF-01	401729	8725977	Delante de la Planta de Arsénico
TPF-02	401689	8725967	Detrás de la Planta de Arsénico
TPF-03	401685	8726052	Patio a la salida del lavadero de camiones
TPF-04	401635	8725962	Frente al almacén y despacho de Ácido Sulfúrico
TPF-05	401696	8725834	Frente a almacenamiento de Concentrados de Cobre
TPF-06	401790	8725842	Detrás de la Planta de Tostadores de Cobre
TPF-07	401967	8725612	Almacenes de Concentrado de Zinc
TPF-08	402244	8725386	Almacén de residuos frente al dpto. de investigaciones
TPF-09	402217	8725340	Área de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales
TPF-10	402259	8725414	Detrás de la Planta de Fusión y Moldeo de Zinc
TPF-11	402257	8725822	Frente a la Planta de Laminado de Zinc
TPF-12	402028	8725558	Frente al edificio de reverberos de Zinc
TPF-13	402031	8725985	Talleres de Mantenimiento
TPF-14	401949	8726081	Frente al taller de componentes

TPF-15	401909	8726062	Frente al taller de maestranza
TPF-16	401708	8726020	Jardín al lado del lavadero de camiones
TPF-17	401578	8726179	Entre líneas férreas delante de los Almacenes Generales
TPF-18	401920	8725982	Al lado del taller instrumental
TPF-19	401992	8725668	Entre la zona de descarga de concentrados de zinc y tanques de petróleo
TPF-20	401662	8725952	Frente al ingreso vehicular, pasado el área de almacenamiento de ácidos sulfúricos
TPF-21	401721	8725784	En el tramo entre la entrada al área de circulación y la salida de esta área por el tanque de petróleo
TPF-22	401988	8725596	Al costado del canal que llega a la planta de aglomeración
TPF-23	402259	8725864	Entre la planta de oxígeno y el río Mantaro
TPF-24	402072	8725946	Entre el horno Isasmelt y el vestuario del personal en el área de cobre
TPF-25	402019	8725970	Entre la parte posterior de la torre de enfriamiento para la planta de ácidos
TPF-26	401757	8726044	Entre la balanza de pesaje de camiones y la planta de ácidos de Cobre
TPF-27	401583	8726094	Entre los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico y el lavadero de llantas

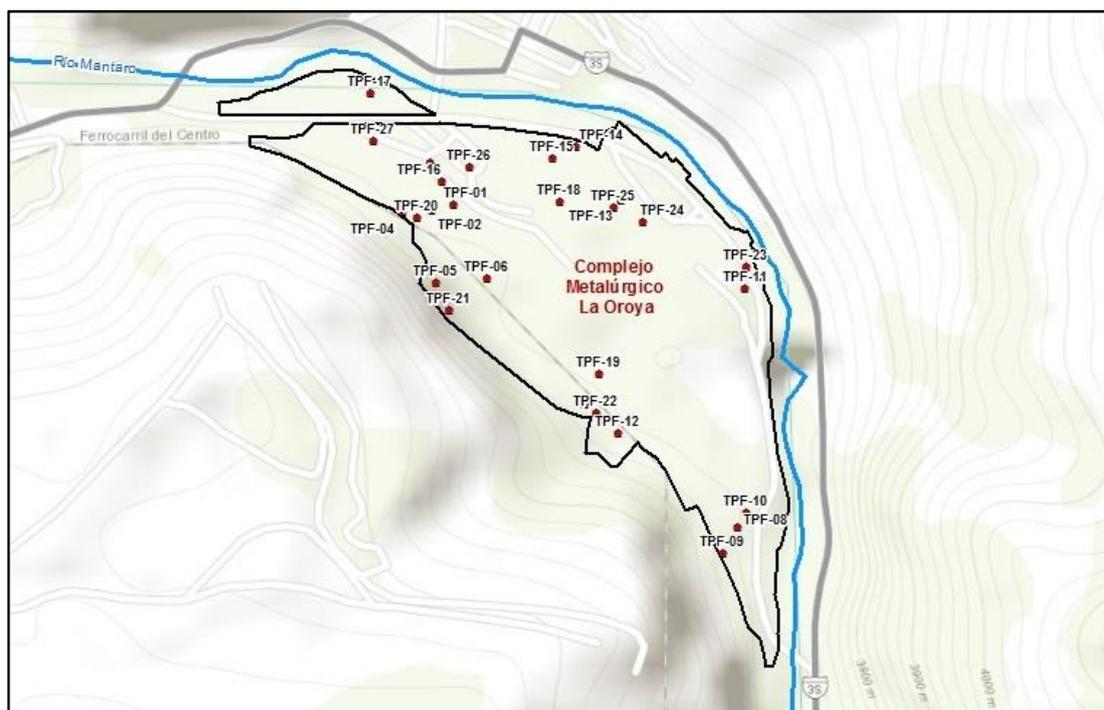
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota 1: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC).

Nota 2: Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L.

Figura 24

Mapa referencial de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Asimismo, como antecedentes de referencia se detalla en la Tabla 49 los resultados de las concentraciones medias de metales pesados presentes en el suelo, realizados por la compañía minero-metalúrgica Doe Run Perú en el periodo 2008 – 2013.

Tabla 49

Concentraciones medias de metales pesados en el suelo industrial.

Estación	As (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)
TPF-01	13500	8	102.0	13.0	13100
TPF-02	10200	68	665.0	3.1	8230
TPF-03	1180	194	11.8	0.6	564
TPF-04	4010	72	39.5	7.3	3470
TPF-05	1740	186	129.0	1.4	3590
TPF-06	7970	180	749.0	2.4	11300
TPF-07	6170	190	29.5	1.4	748
TPF-08	5190	122	603.0	6.8	12800
TPF-09	770	102	812.0	8.1	2310
TPF-10	1680	134	143.0	1.6	3610
TPF-11	3690	33	52.3	3.9	7690
TPF-12	140	115	7.3	0.3	399
TPF-13	5110	102	437.0	7.8	8470
TPF-14	190	118	7.5	0.2	461
TPF-15	160	105	7.5	0.3	372
TPF-16	560	114	21.0	0.7	1470
TPF-17	400	121	95.0	0.7	2440
TPF-18	1790	75	15.4	1.5	1380

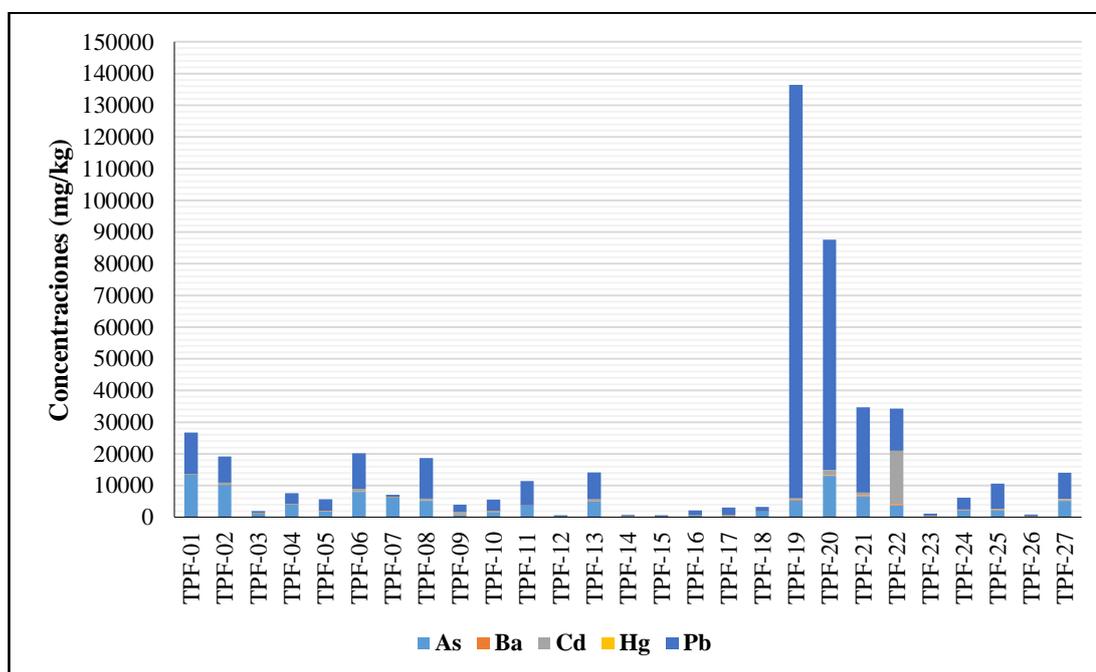
TPF-19	5244	297	456.2	7.3	130490
TPF-20	12998	255	1547.3	23.6	72748
TPF-21	6558	449	809.9	6.5	26847
TPF-22	3804	407	16771.7	10.3	13321
TPF-23	256	126	21.9	0.6	777
TPF-24	2230	230	50.1	4.3	3638
TPF-25	2306	247	91.0	5.8	7979
TPF-26	186	154	10.0	0.6	466
TPF-27	5217	172	336.8	14.6	8321
ECA (Suelo)	140	2000	22	24	800
CEQG (Soil)	12	2000	22	50	600

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

Gráfico 7

Concentraciones medias de los 05 metales pesados analizados.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

A. Zona urbana: La zona urbana está conformada por los Centros Poblados de Sueropozo, Huaynacancha, Casita Cinco, Curipata, Shincamachay, Casaraca, Quiulla, Yantacancha, Shincacancha, Huari, Puente Pata y Tingo Pata; y los Distritos de Santa Rosa de Sacco, La Oroya y Paccha; por ende, es en estas zonas donde se ubican los 25 puntos de muestreo (Ver Tabla 50 y Figura 25).

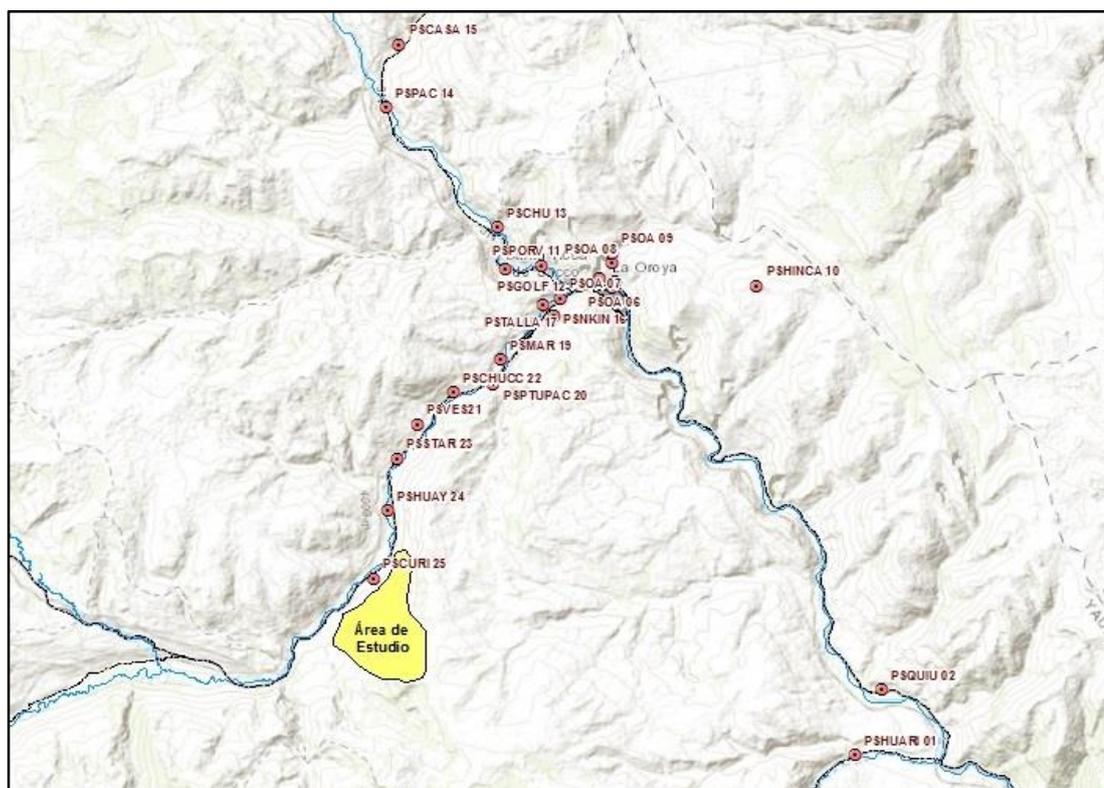
Tabla 50*Coordenadas de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.*

Estación	Este	Norte	Descripción
PSHUARI 01	408933	8712655	Huari: Frente a Iglesia Pentecostés
PSQUIU 02	409677	8714542	Control Quiulla: Frente a la garita de peaje
PSOA 03	401951	8726187	La Oroya antigua: Escuela Antonio Encinas: jardín central
PSOA 04	402028	8726330	La Oroya antigua: Escuela Manuel Scorza: jardín del patio
PSOA 05	401575	8726420	La Oroya antigua: Sector Ucchuhuaacta parte alta, campo de reuniones
PSOA 06	401018	8726196	La Oroya antigua: Atrás de la Municipalidad Provincial de La Oroya.
PSOA 07	400483	8725869	La Oroya antigua: Ex estación de tren La Oroya.
PSOA 08	401934	8726881	La Oroya antigua: Prig San Martin costado de vivienda de la familia L.M.G
PSOA 09	401966	8727162	La Oroya antigua: Jr. Iquitos parte lateral de vivienda N°245. Familia Izquierdo
PSHINCA 10	406080	8726222	Hotel Inca: Vivienda N°8 jardín frontal
PSPORV 11	399950	8726799	El porvenir: Frontis de la vivienda de familia Veliz
PSGOLF 12	398912	8726704	Ex Golf: Frontis mini zoológico
PSCHU 13	398679	8727921	Sector de Chulec: IE Mayupampa, lado posterior del arco de campo de fútbol
PSPAC 14	395477	8731383	Paccha: IE Virgen del Carmen, frente a la torre de electricidad
PSCASA 15	395840	8733203	Casaraca: Frontis de la estación de monitoreo
PSNKIN 16	400280	8725354	Norman King: Loza deportiva del sector
PSTALLA 17	399954	8725695	Tallapuquio: Frente a la quebrada Tallapuquio y parque del sector
PSBBSS 18	399421	8724534	Buenos Aires: Frontis de la Iglesia San Vicente
PSMAR 19	398762	8724092	Marcavalle: Ingreso principal de las canchitas gemelas
PSPTUPAC 20	398556	8723364	Túpac Amaru: Jr. Unión, frontis de la vivienda 126
PSVES21	396359	8722225	Villa el Sol, a 230 m del Parque Ecológico Villa el Sol
PSCHUCC 22	397396	8723138	Chucchis: IE Indoamericano, ingreso principal
PSSTAR 23	395770	8721238	Santa Rosa: IE Santa Rosa de Sacco, patio de la I.E
PSHUAY 24	395510	8719715	Huaynacancha: Posta de Salud, frontis del CLAS
PSCURI 25	395127	8717776	Sector de Curipata; Zona B, esquina de loza deportiva

Fuente: Elaboración propia, (2018). **Nota 1:** Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC). **Nota 2:** Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L.

Figura 25

Mapa referencial de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Asimismo, como antecedentes de referencia se detalla en la Tabla 51 los resultados de las concentraciones medias de metales pesados presentes en el suelo, realizados por la compañía minero-metalúrgica Doe Run Perú en el periodo 2007 – 2014.

Tabla 51

Concentraciones medias de metales pesados en el suelo urbano.

Estación	Sb (mg/kg)	As (mg/kg)	Bi (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
PSHUARI 01	15	88	10	4.1	237
PSQUIU 02	15	164	22	11.5	564
PSOA 03	36	377	63	28.6	1354
PSOA 04	35	377	56	24.4	1175
PSOA 05	50	824	66	35.7	1472
PSOA 06	45	1100	95	45.6	1726
PSOA 07	86	1345	124	68.1	2578
PSOA 08	103	1565	135	71.8	3176
PSOA 09	69	915	107	53.5	2448
PSHINCA 10	117	1529	167	71.4	4288
PSPORV 11	45	648	81	31.2	1762
PSGOLF 12	45	432	69	24.6	1804
PSCHU 13	45	401	266	37.8	1216
PSPAC 14	28	123	26	7.8	345
PSCASA 15	5	41	10	2.4	179

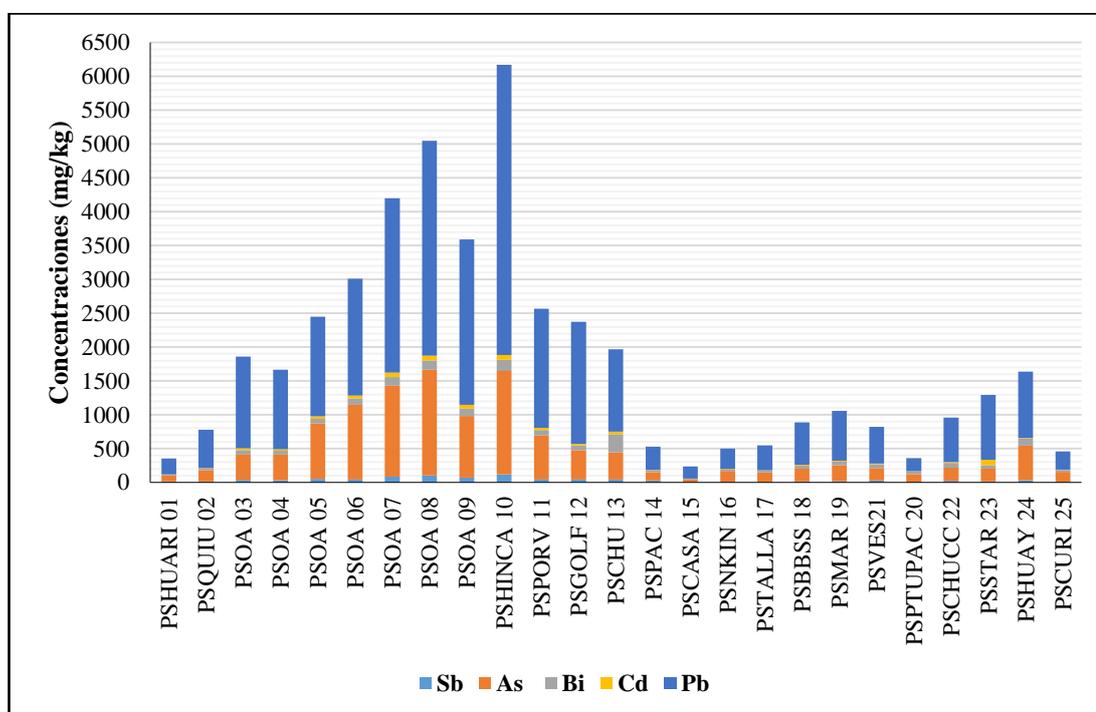
PSNKIN 16	12	158	19	8.7	304
PSTALLA 17	12	135	27	7.1	368
PSBBSS 18	15	188	44	11.7	629
PSMAR 19	17	238	53	13.9	736
PSVES21	27	186	54	12.7	543
PSPTUPAC 20	8	113	39	4.0	195
PSCHUCC 22	22	195	73	10.8	657
PSSTAR 23	16	186	52	82.5	956
PSHUAY 24	31	510	104	13.1	979
PSCURI 25	12	142	28	5.4	269
ECA (Suelo)	-	50	-	10	140
CEQG (Soil)	20	12	-	10	140

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

Gráfico 8

Concentraciones medias de los 05 metales pesados analizados.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo, (2015).

4.4.2.4 Monitoreo Participativo.

El Consorcio Filomena Tomaira, Cooperación y CENCA, desde el año 2000, vienen realizando monitoreos ambientales una vez por año de la calidad de aire, agua y suelo en la Provincia da Yauli – La Oroya, con participación de la población organizada. Estos monitoreos ambientales forman parte de un sistema de vigilancia comunitaria que se implementó debido al interés y preocupación de los pobladores por la calidad del ambiente en que viven.

Asimismo, en la Tabla 52 y Figura 26 se detalla las coordenadas UTM y altitud de los 07 puntos de muestro donde se realiza el muestreo para la Calidad del Suelo.

Tabla 52

Coordenadas de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.

Estación	Este	Norte	Altitud	Descripción
S-1	395397	8731271	3762	C.C. Paccha – Antacocha
S-2	409207	8712876	3676	C.C. Huari – Cruz Loma
S-3	395538	8721105	3865	C.C. Santa Rosa de Sacco – Tallapuquio
S-4	401993	8726358	3750	C.E. Manuel Scorza – La Oroya Antigua
S-5	399427	8724559	3762	C.E. Miguel Grau – La Oroya Nueva
S-6	381663	8718216	4365	C.C. Pucará – Carampoma Baja – Yanchaca
S-7	378302	8705399	4315	C.C. Yauli – Pucaloma

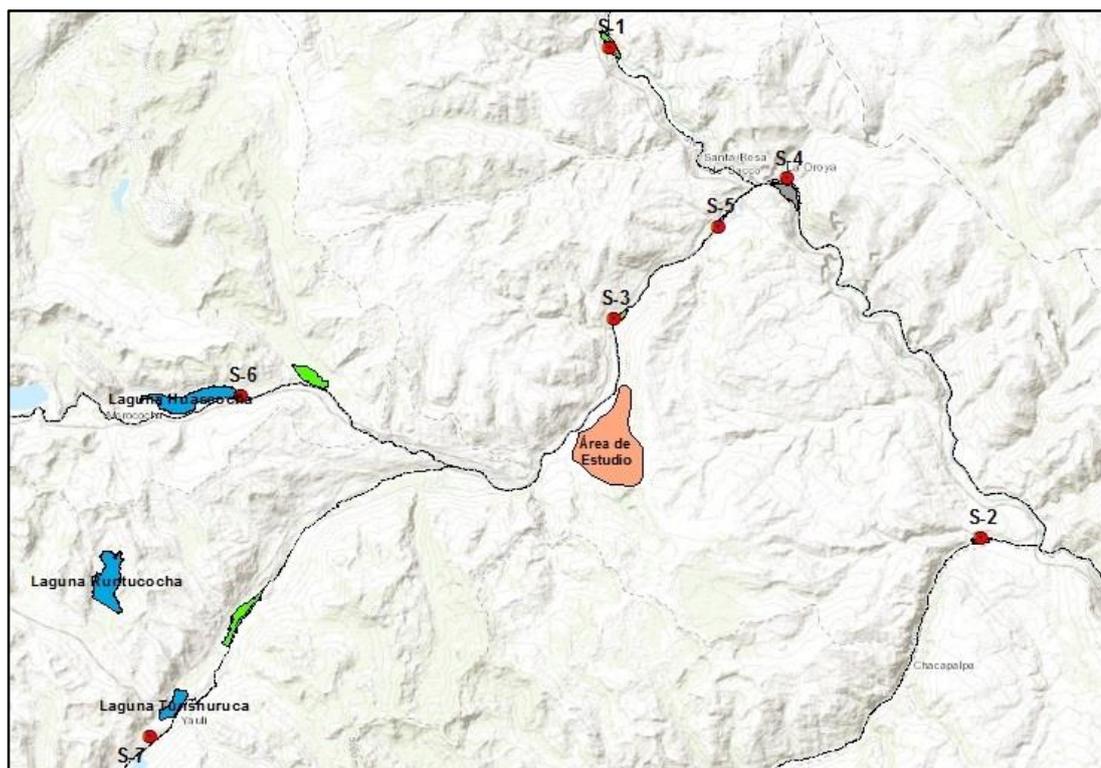
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota 1: Datos obtenidos del Consorcio Filomena Tomaira, Cooperación y CENCA.

Nota 2: Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L; Altura en “msnm”.

Figura 26

Mapa referencial de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Según el informe del Consorcio Filomena Tomaira, Cooperación y CENCA (2000), la toma de muestras de suelo se realizó de acuerdo a la fuente emisión que provoca el impacto negativo:

A. Impacto directo de las emisiones atmosféricas del CMLO:

- ***Suelos de las comunidades campesinas:*** Muestras de suelos en un radio de 10 km al Complejo Metalúrgico de La Oroya donde se ubican tres Comunidades Campesinas (Paccha – Antacocha, Huari – Cruz Loma y Santa Rosa de Sacco – Tallapuquio) las cuales reciben el impacto directo de las emisiones atmosféricas.
- ***Suelos de la zona urbana de la ciudad de La Oroya:*** Muestras de suelos de dos Centros Educativos, uno ubicado en sector de La Oroya Antigua (C.E. Manuel Scorza), y el otro, en el sector de La Oroya Nueva (C.E. Miguel Grau).

B. Impacto directo de los depósitos de relaves:

- ***Suelos de las comunidades campesinas:*** Muestra de suelos que son impactados por partículas provenientes de depósitos de relaves en las comunidades campesinas de C.C. Pucará – Carampoma Baja – Yanchaca y C.C. Yauli – Pucaloma; donde la comunidad de San Francisco de Asís de Pucará, el suelo de Carampoma Baja Yanchaca está expuesto a las partículas de relave proveniente de la Laguna Huascocha y la comunidad de Yauli, el sector Pucaloma se encuentra frente a los depósitos de relave de la Cía. Minera Volcán S.A.A Laguna Tunshuruca y Laguna Runtucocha.

Asimismo, como antecedentes de referencia se detalla en las Tablas 53 y 54 los resultados de las concentraciones medias de metales pesados y el análisis fisicoquímico presentes en el suelo, realizados por el Consorcio Filomena Tomaira, Cooperación y CENCA en el periodo 2000 – 2005.

Tabla 53*Concentraciones medias de metales pesados en el suelo.*

Estación	As (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)
S-1	234	236	405	618	4.1
S-2	441	383	574	528	5.5
S-3	308	284	610	569	5.3
S-4	542	427	1809	3001	1.3
S-5	161	298	584	656	1.0
S-6	84	150	620	607	5.7
S-7	403	123	651	828	2.9

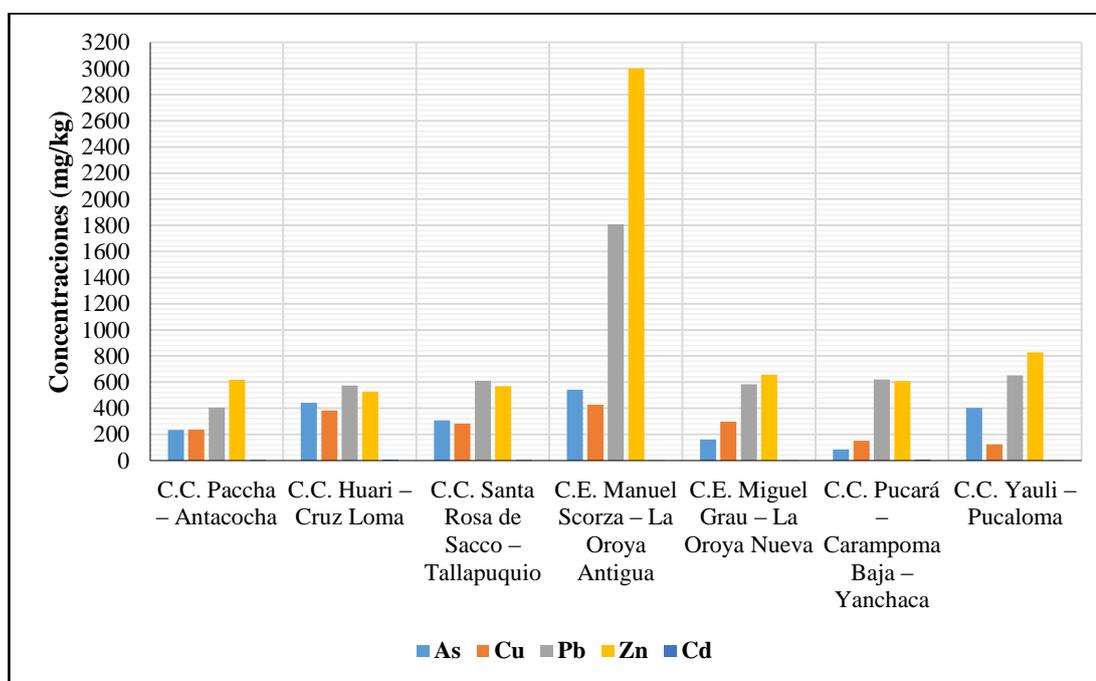
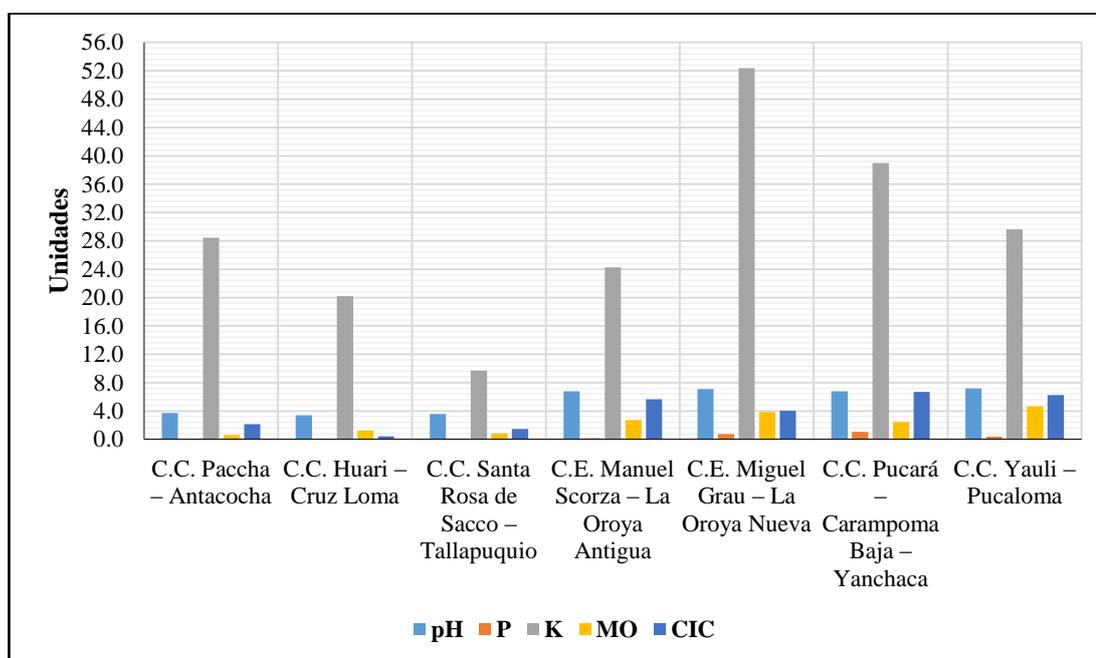
Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Consorcio Filomena Tomaira, Cooper Acción y CENCA, (2005).**Gráfico 9***Comparación de concentraciones de metales pesados en el suelo.***Fuente:** Elaboración propia, (2018).**Nota:** Consorcio Filomena Tomaira, Cooper Acción y Cenca, (2005).

Tabla 54*Parámetros fisicoquímicos medios en el suelo.*

Estación	pH (20°C)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	MO (%)	CIC (cmol/kg)
S-1	3.7	0.04	28.46	0.59	2.13
S-2	3.4	0.02	20.21	1.25	0.44
S-3	3.6	0.09	9.69	0.84	1.44
S-4	6.8	0.16	24.28	2.74	5.64
S-5	7.1	0.72	52.39	3.83	4.04
S-6	6.8	1.05	38.99	2.46	6.69
S-7	7.2	0.40	29.60	4.66	6.26

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Consorcio Filomena Tomaira, Cooper Acción y Cenca, (2005).**Gráfico 10***Comparación de los parámetros fisicoquímicos en el suelo.***Fuente:** Elaboración propia, (2018).**Nota:** Consorcio Filomena Tomaira, Cooper Acción y Cenca, (2005).

4.4.2.5 Diagnostico de la calidad del suelo del área de influencia del CMLO.

En el 2014, Ramírez M. Jehyni & Corcuera Vega Vannia realizaron un diagnóstico de la calidad del suelo del área de influencia del Complejo Metalúrgico La oroya, la cual abarco 20 puntos de muestreo divididos en 3 zonas las cuales se detallan a continuación en la Tabla 55 y la Figura 27.

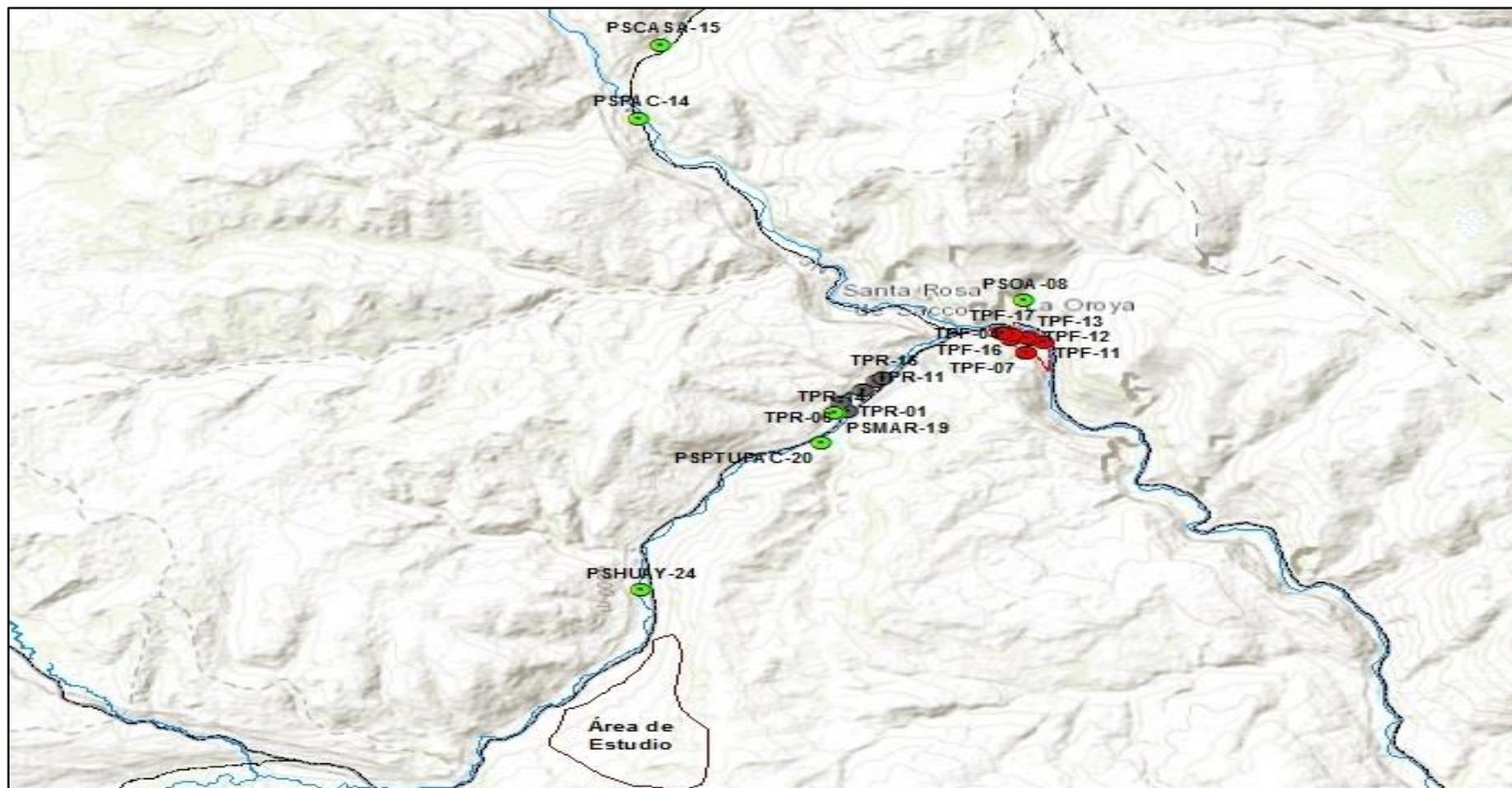
Tabla 55*Coordenadas de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.*

Estación	Este	Norte	Zonas	Descripción
TPF-07A	401661	8726068	Zona Fundición	Área de influencia PAS Pb
TPF-04	401720	8725911	Zona Fundición	Área de influencia circulación
TPF-05	401989	8725592	Zona Fundición	Frente a almacenamiento de concentrados de Cu
TPF-07	401993	8725588	Zona Fundición	Área de influencia de circulación
TPF-11	402258	8725866	Zona Fundición	Área de influencia de planta de Oxígeno
TPF-12	402070	8725936	Zona Fundición	Área de influencia de planta de horno ISASMELT
TPF-13	401996	8725953	Zona Fundición	Área de influencia torres de enfriamiento
TPF-16	401760	8726040	Zona Fundición	Área de influencia PAS Cu
TPF-17	401583	8726084	Zona Fundición	Área de influencia terminal de almacenamiento y despacho de As
TPR-01	398964	8724136	Zona Refinería	Depósito de materiales desmantelados
TPR-06	398883	8724375	Zona Refinería	Detrás de las oficinas de proyectos
TPR-11	399253	8724655	Zona Refinería	Entre bodega y refinería
TPR-14	399455	8724882	Zona Refinería	Lindero izquierdo refinería
TPR-16	399578	8724969	Zona Refinería	Delante de oficina administrativa refinería
PSMAR-19	398767	8724092	Zona Urbana	Marcavalle
PSOA-08	401934	8726881	Zona Urbana	Oroya antigua prolongación San Martín
PSPAC-14	395476	8731379	Zona Urbana	Paccha
PSCASA-15	395840	8733200	Zona Urbana	Casaracra
PSPTUPAC-20	398553	8723379	Zona Urbana	Túpac Amaru
PSHUAY-24	395485	8719732	Zona Urbana	Huaynacancha

Fuente: Rámirez & Corcuera, (2014).**Nota 1:** Datos obtenidos de la Tesis titulada “Diagnostico de la calidad del suelo del área de influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya”.**Nota 2:** Coordenadas UTM en “m”; WGS 84 – 18L.

Figura 27

Mapa referencial de los puntos de muestreo de la calidad del suelo.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Asimismo, como antecedentes de referencia se detallan en las Tablas 56, 57 y 58 los resultados de las concentraciones de los metales pesados en el suelo de las 3 zonas evaluadas para el diagnóstico de calidad ambiental; determinando así, que las zonas de fundición y refinería son las más contaminadas en relación con las zonas urbanas del área de influencia directa e indirecta del Complejo Metalúrgico de La Oroya.

Tabla 56

Concentración de metales pesados en el suelo de la zona fundición

Estación	As	Ba	Cd	Hg	Pb	Cr VI	CN Libre
TPF-07A	1195.89	256.15	208.36	0.70	2870.66	0.14	0.05
TPF-04	906.70	140.31	62.39	0.94	3116.72	0.00	0.05
TPF-05	4072.06	67.00	274.33	5.24	44845.49	0.11	0.05
TPF-07	2534.01	175.15	152.20	2.55	5044.01	1.82	0.05
TPF-11	3288.08	161.94	218.78	2.08	11528.77	0.00	0.05
TPF-12	7102.83	149.97	279.33	4.72	20421.89	0.00	0.05
TPF-13	1495.77	138.33	46.66	1.50	4116.02	0.00	0.05
TPF-16	84.01	120.01	2.58	0.00	120.01	0.00	0.05
TPF-17	634.09	124.55	58.33	1.26	3542.01	0.00	0.05
ECA (Suelo)	140	2000	22	24	800	1.4	8
CEQG (Soil)	12	2000	22	50	600	1.4	8

Fuente: Ramírez & Corcuera, (2014).

Tabla 57

Concentración de metales pesados en el suelo de la zona refinería.

Estación	As	Ba	Cd	Hg	Pb	Cr VI	CN Libre
TPR-01	454.16	355.41	38.76	0.44	1802.01	1.61	0.05
TPR-06	208.72	224.85	30.30	0.02	782.01	0.00	0.05
TPR-11	150.79	140.55	9.42	0.11	1135.93	0.00	0.05
TPR-14	546.50	190.78	11.87	1.24	6550.20	1.47	0.05
TPR-16	58.43	153.27	1.24	0.01	154.38	0.00	0.05
ECA (Suelo)	140	2000	22	24	800	1.4	8
CEQG (Soil)	12	2000	22	50	600	1.4	8

Fuente: Ramírez & Corcuera, (2014).

Tabla 58

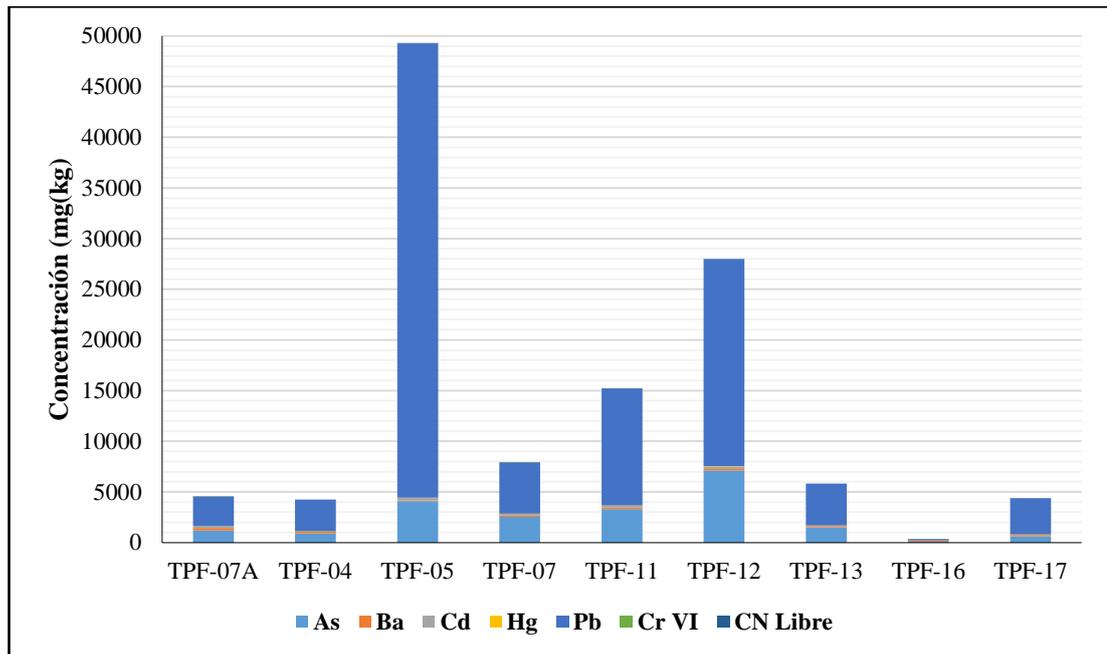
Concentración de metales pesados en el suelo de la zona urbana.

Estación	As	Ba	Cd	Hg	Pb	Cr VI	CN Libre
PSMAR-19	220.92	156.80	4.42	0.13	234.01	0.00	0.05
PSOA-08	337.01	978.53	2.53	0.02	108.01	0.00	0.05
PSPAC-14	100.01	153.90	2.04	0.00	91.01	0.00	0.05
PSCASA-15	48.54	141.52	4.30	0.18	182.32	0.00	0.05
PSPTUPAC-20	187.30	95.69	4.39	0.11	349.53	0.00	0.05
PSHUAY-24	439.36	101.17	11.60	0.51	922.37	0.00	0.05
ECA (Suelo)	50	500	10	6.6	140	0.4	0.9
CEQG (Soil)	12	500	10	6.6	140	0.4	0.9

Fuente: Ramírez & Corcuera, (2014).

Gráfico 11

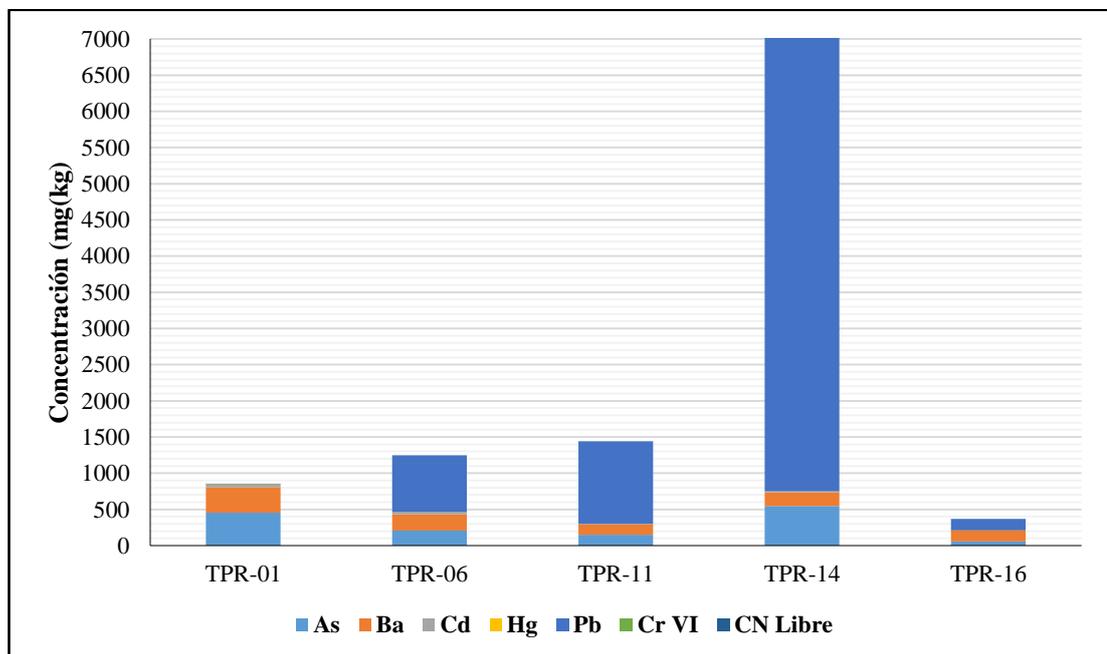
Concentración de metales pesados en la zona fundición



Fuente: Rámirez & Corcuera, (2014).

Gráfico 12

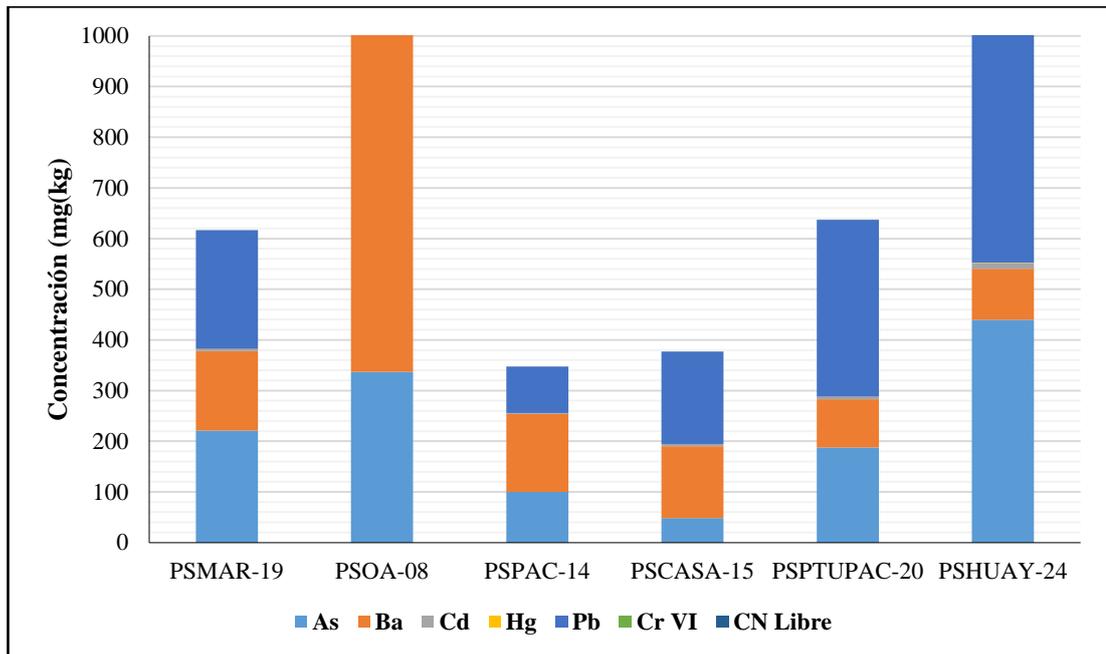
Concentración de metales pesados en la zona refinera.



Fuente: Rámirez & Corcuera, (2014).

Gráfico 13

Concentración de metales pesados en la zona urbana.



Fuente: Rámirez & Corcuera, (2014).

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Concentración de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente.

En la Tabla 59 se presentaron los resultados del análisis químico realizado a las muestras obtenidas del área de estudio (zona Huaynacancha) del 04 al 11 de noviembre del 2017, donde se analizaron las concentraciones de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente.

Tabla 59*Resultados del análisis químico.*

Est.	Ag mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Cr mg/kg	CN mg/kg	Cr VI mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Se mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg
SU-01	2	328	80	10	3.8	63	37	1.4	0.4	1.5	255	14	2.8	192	34987
SU-02	3	379	93	23	16.9	119	51	1.4	0.4	2.4	556	22	4.2	715	42588
SU-03	177	312	101	5	9.7	63	43	3.0	0.4	0.1	517	9	3.1	189	54685
SU-04	1	230	90	5	19.1	34	62	2.6	0.4	1.0	86	11	2.8	876	40607
SU-05	1	16	116	5	4.9	19	22	2.6	0.4	1.2	23	5	1.8	100	27790
SU-06	3	301	128	17	14.4	126	30	6.2	0.4	2.2	406	29	3.3	796	34681
SU-07	13	840	89	144	27.9	659	34	6.9	0.4	1.4	2963	101	4.2	845	36741
SU-08	1	25	83	5	3.5	38	19	1.7	0.4	0.9	49	5	1.1	126	33800
SU-09	1	38	137	5	8.0	31	42	2.2	0.4	2.0	61	5	3.7	345	51079
SU-10	2	370	124	16	3.7	162	28	4.5	0.4	2.5	548	18	1.7	149	32838
SU-11	1	254	56	9	4.8	75	28	1.8	0.4	1.1	409	10	1.6	72	17219
SU-12	1	148	85	5	11.6	60	49	4.3	0.4	2.2	129	5	2.6	378	49841
SU-13	10	620	78	112	34.2	527	57	6.0	0.4	2.1	2443	90	4.1	1267	46683
SU-14	2	215	71	5	14.9	44	58	0.9	0.4	2.6	102	5	2.6	1015	37369
SU-15	1	439	125	7	27.4	91	63	2.3	0.4	1.7	359	18	2.8	370	39646
SU-16	1	62	74	5	1.9	48	14	0.9	0.4	1.3	124	5	0.9	78	21181
SU-17	7	505	109	61	2.7	283	30	1.8	0.4	0.8	1066	28	2.6	323	36082
SU-18	1	33	91	5	4.6	20	23	3.1	0.4	1.9	38	5	1.2	111	26176
SU-19	2	7	47	5	4.1	8	12	1.1	0.4	2.0	12	5	0.9	59	19648
SU-20	1	7	66	5	3.7	9	9	3.6	0.4	1.7	18	5	0.9	40	13972
SU-21	17	797	64	148	10.9	695	36	7.5	0.4	1.1	3604	118	5.3	751	40448
SU-22	3	338	91	32	15.6	169	50	0.9	0.4	1.1	661	28	3.2	552	46547
SU-23	5	615	108	58	37.2	335	57	3.5	0.4	0.5	1605	72	3.3	1016	42881
SU-24	2	288	89	5	10.0	37	43	2.7	0.4	2.1	110	11	2.7	809	46538

SU-25	2	317	113	12	11.6	130	18	2.2	0.4	1.6	437	14	1.5	388	26106
SU-26	9	557	72	49	3.4	220	11	3.2	0.4	1.8	967	47	1.3	199	22709
SU-27	2	266	55	11	2.9	103	18	3.0	0.4	0.6	549	12	1.1	160	26628
SU-28	5	565	100	57	11.5	324	19	1.4	0.4	0.5	1363	57	2.0	519	27017
SU-29	1	15	58	5	3.6	11	12	1.0	0.4	2.0	13	5	0.9	71	18380
SU-30	1	132	61	5	8.1	102	20	3.1	0.4	0.8	114	5	1.3	99	33610
SU-31	1	12	43	5	3.0	29	10	1.9	0.4	0.4	42	5	0.9	61	19035
SU-32	5	552	65	59	5.9	298	26	3.1	0.4	2.3	1404	49	1.9	270	31782
SU-33	7	550	79	81	35.4	410	52	4.1	0.4	1.4	1484	64	2.7	2012	31523
SU-34	10	333	71	49	38.4	248	65	2.9	0.4	2.5	1130	33	3.0	1946	30556
SU-35	1	79	109	5	5.9	26	16	1.5	0.4	0.1	46	5	1.0	325	24872
SU-36	3	107	53	28	15.7	167	12	0.9	0.4	1.7	703	15	1.6	491	15904
SU-37	3	170	83	15	6.2	83	21	1.6	0.4	2.4	312	11	1.7	157	27818
SU-38	2	12	51	5	4.2	38	11	1.4	0.4	1.7	27	5	0.9	57	15544
SU-39	3	12	70	5	3.1	16	10	3.9	0.4	0.6	26	5	0.9	75	16872
SU-40	1	9	125	5	9.0	25	27	1.4	0.4	2.5	38	5	1.8	227	41940
SU-41	1	179	96	5	2.6	41	22	5.2	0.4	0.9	111	5	1.4	126	21366
SU-42	4	109	114	5	18.6	71	94	3.2	0.4	1.3	189	5	2.2	566	60201
SU-43	1	9	84	5	5.3	32	97	2.8	0.4	1.7	17	5	1.4	655	71726
SU-44	3	160	40	15	4.2	101	11	1.1	0.4	1.6	287	12	1.1	256	12994
SU-45	1	18	83	5	3.0	30	16	1.8	0.4	1.4	77	5	1.4	103	22578
SU-46	2	318	56	14	3.7	94	17	1.5	0.4	0.6	468	13	0.9	96	17345
SU-47	2	39	92	5	4.4	55	29	1.6	0.4	0.2	50	5	1.2	169	24968
SU-48	1	26	86	5	14.0	47	33	1.5	0.4	1.2	67	5	1.4	674	31780
SU-49	1	12	73	5	2.6	30	20	4.4	0.4	1.3	34	5	1.0	111	20324
SU-50	1	169	128	5	14.8	77	75	2.6	0.4	0.3	161	7	2.4	343	55364
SU-51	1	33	95	5	14.3	58	45	2.1	0.4	1.0	94	5	1.7	244	44070
SU-52	3	706	120	27	48.7	166	78	2.9	0.4	1.1	563	32	2.6	2254	42059
SU-53	4	813	148	35	33.0	298	43	3.0	0.4	1.0	1058	39	3.5	942	38721

SU-54	1	19	82	5	3.9	34	17	1.8	0.4	2.4	45	5	1.1	144	25542
SU-55	1	90	128	5	5.9	66	17	1.4	0.4	0.8	341	7	1.2	378	23732
SU-56	1	98	120	6	14.3	94	57	1.4	0.4	0.9	215	6	2.1	571	52027
SU-57	3	663	81	45	2.5	214	46	9.0	0.4	2.5	943	49	1.6	289	48138
SU-58	2	3	35	5	3.5	29	10	1.2	0.4	1.6	22	5	0.9	40	21265
SU-59	9	545	74	75	11.7	414	17	1.3	0.4	2.2	2031	70	2.3	483	22520
SU-60	2	45	109	5	4.1	66	24	1.1	0.4	2.5	106	5	1.6	152	29558
SU-61	3	658	95	24	11.4	280	21	2.2	0.4	0.5	997	29	1.6	731	21400
SU-62	1	150	130	5	4.6	120	59	2.0	0.4	0.1	221	5	1.4	272	51310
SU-63	2	2	58	5	3.0	14	15	2.0	0.4	2.2	19	5	1.3	75	26942
SU-64	1	9	86	5	4.3	20	23	1.2	0.4	1.4	24	5	1.0	147	28882
SU-65	1	10	91	5	2.0	17	27	7.3	0.4	1.5	22	5	1.1	151	27772
SU-66	1	47	99	5	5.1	66	42	3.0	0.4	0.2	100	5	2.0	210	34641
SU-67	1	14	86	5	5.3	31	41	2.1	0.4	0.3	42	5	1.7	188	38301
SU-68	2	180	128	11	6.3	116	47	3.9	0.4	0.2	374	10	2.5	249	48010
SU-69	1	94	91	5	5.2	106	42	2.6	0.4	2.1	153	5	1.6	193	32560
SU-70	1	31	120	5	5.4	41	43	2.6	0.4	2.4	58	5	2.0	190	48657
SU-71	10	1099	131	94	22.6	563	52	3.2	0.4	0.8	2305	48	2.8	841	42351
SU-72	4	492	243	29	4.3	214	18	3.4	0.4	2.2	859	13	1.6	193	21913
SU-73	17	1192	110	157	6.2	737	42	8.2	0.4	2.0	2916	129	3.8	658	38388
SU-74	6	527	149	47	23.8	326	48	4.5	0.4	2.1	1007	25	2.0	1175	40036
SU-75	1	162	142	10	2.5	91	11	1.5	0.4	0.8	299	7	0.9	103	17884
SU-76	4	827	158	24	10.5	378	50	7.7	0.4	2.4	1101	23	2.3	322	41020
SU-77	5	539	121	35	4.9	210	15	3.0	0.4	2.3	855	18	1.7	146	18879
SU-78	6	764	129	38	5.4	286	52	2.3	0.4	0.6	1329	32	2.7	281	39325
SU-79	2	442	51	32	1.0	121	9	1.8	0.4	0.7	597	19	0.9	61	15917
SU-80	2	241	65	18	1.3	106	13	6.5	0.4	0.3	483	11	1.3	103	23487
SU-81	3	638	107	14	5.0	213	30	1.4	0.4	1.8	909	23	2.0	200	34655
SU-82	4	1	27	5	0.3	20	2	2.1	0.4	0.1	24	5	0.9	159	28066

SU-83	3	196	19	5	2.0	51	37	2.2	0.4	0.9	337	5	1.0	517	37795
SU-84	87	62	12	5	0.5	309	6	11.8	0.4	0.3	747	6	8.9	109	63367
SU-85	4	2	79	5	0.8	43	6	2.9	0.4	0.1	82	5	0.9	71	33555
SU-86	1	22	39	5	0.3	49	2	1.6	0.4	0.1	1142	8	1.2	33	23598
SU-87	4	168	42	5	46.7	434	19	1.6	0.4	0.2	697	11	1.3	5360	36117
SU-88	4	47	25	69	2.9	17	7	1.2	0.4	0.1	2347	35	1.0	530	35428
SU-89	5	153	51	5	12.4	129	20	1.9	0.4	0.1	425	5	1.1	1804	37823
SU-90	23	609	16	5	3.1	183	32	1.5	0.4	0.2	7247	19	0.9	1963	42848
SU-91	9	136	45	8	1.8	47	8	2.0	0.4	0.1	744	13	0.9	640	43900
SU-92	32	389	74	8	47.0	298	27	1.1	0.4	0.2	7834	22	1.1	8409	72483
SU-93	2	73	79	5	1.1	6	4	1.6	0.4	0.1	211	5	0.9	141	27119
SU-94	7	96	32	5	1.2	40	5	1.2	0.4	0.1	487	5	0.9	381	51678
SU-95	4	102	81	5	1.9	16	15	0.9	0.4	0.1	290	6	0.9	367	37637
SU-96	6	101	91	13	0.6	9	40	1.3	0.4	0.4	1126	9	0.9	210	41897
ECA	-	50	750	-	1.4	-	-	0.9	0.4	6.6	70	-	-	-	-
CEQG	20	12	750	-	1.4	63	64	0.9	0.4	6.6	70	20	1	200	-

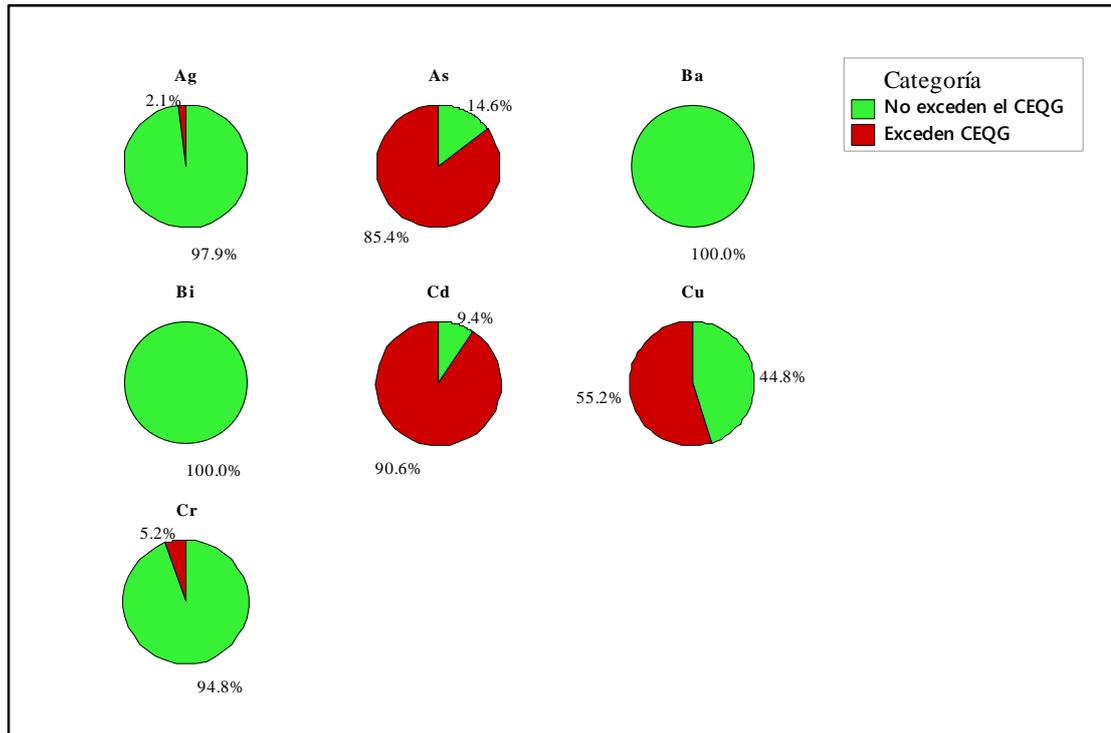
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos del informe de ensayo (NOV1091.R17) del Anexo B.

Asimismo, se presenta gráficamente el porcentaje de estaciones que exceden las normas ambientales para suelo (Ver Gráfico 11 y 12).

Gráfico 14

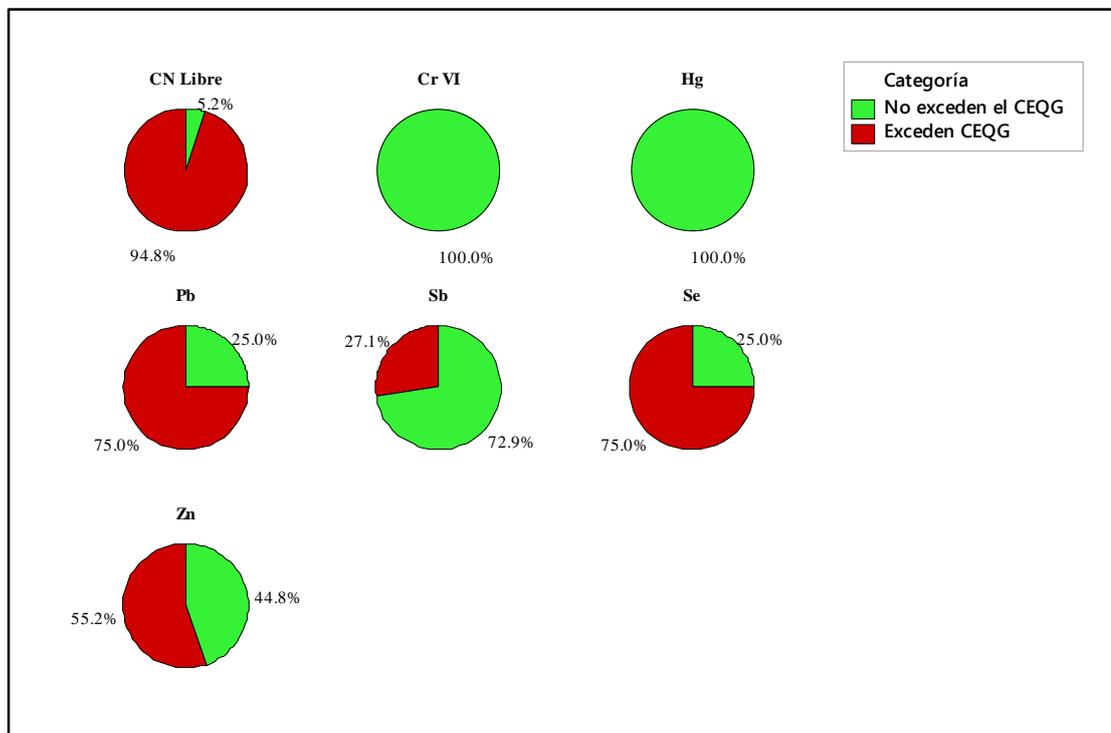
Resultados del análisis gráfico.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 15

Resultados del análisis gráfico.



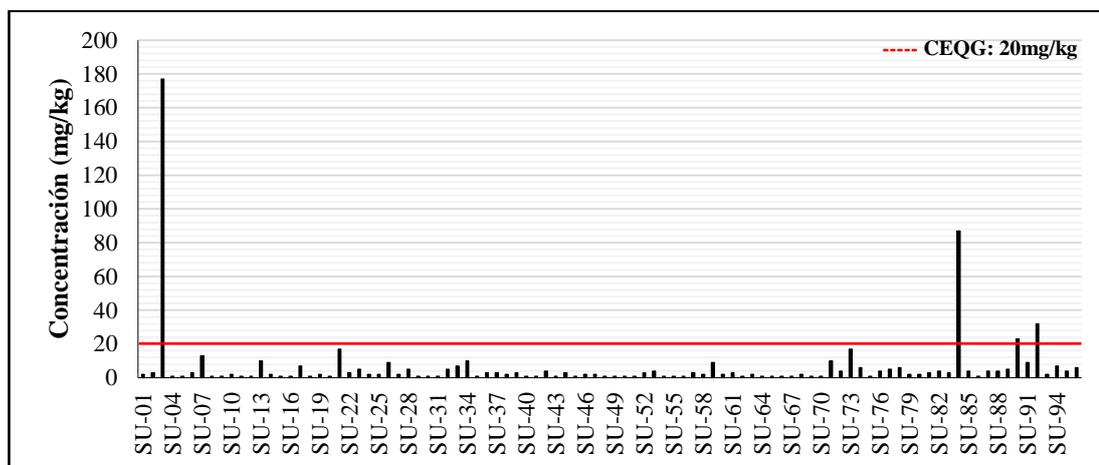
Fuente: Elaboración propia, (2018).

“Del análisis químico y gráfico se observó que los parámetros como el arsénico, cadmio, cobre, cianuro libre, plomo, antimonio, selenio y zinc exceden el ECA suelo y CEQG soil, además de ser lo parámetros con mayor concentración en el suelo”.

Asimismo, se presentan en los siguientes gráficos de columnas agrupadas la comparación de todos los puntos de muestreo para cada parámetro inorgánico analizado:

Gráfico 16

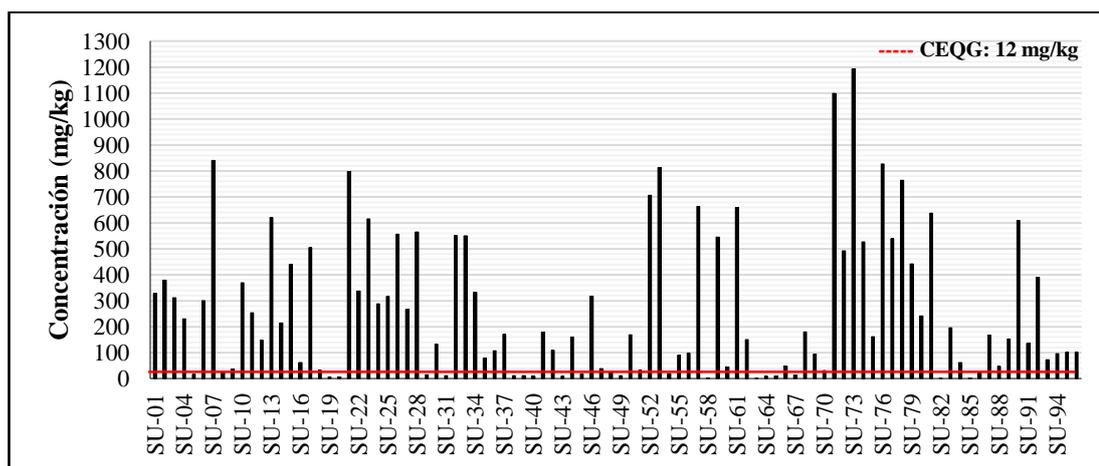
Comparación de los puntos de muestreo en función de la Ag.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 17

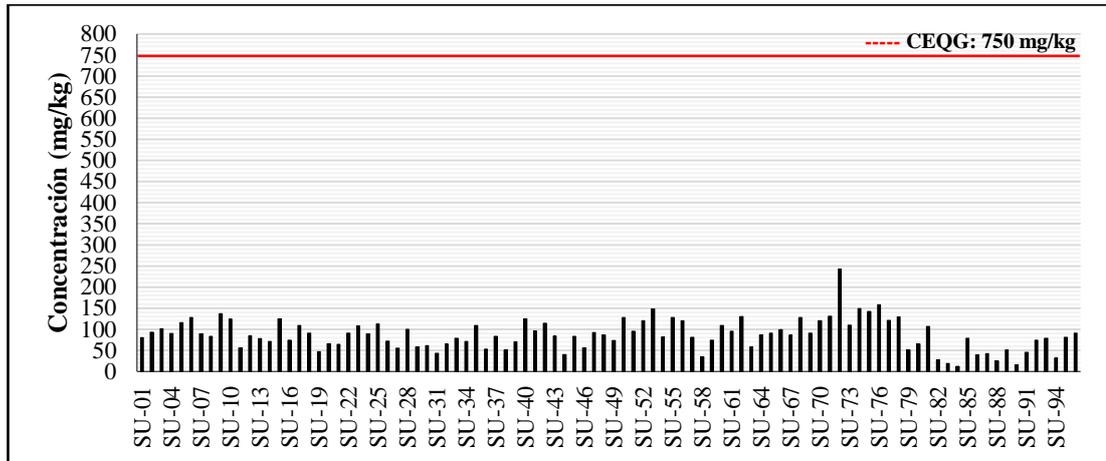
Comparación de los puntos de muestreo en función del As.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 18

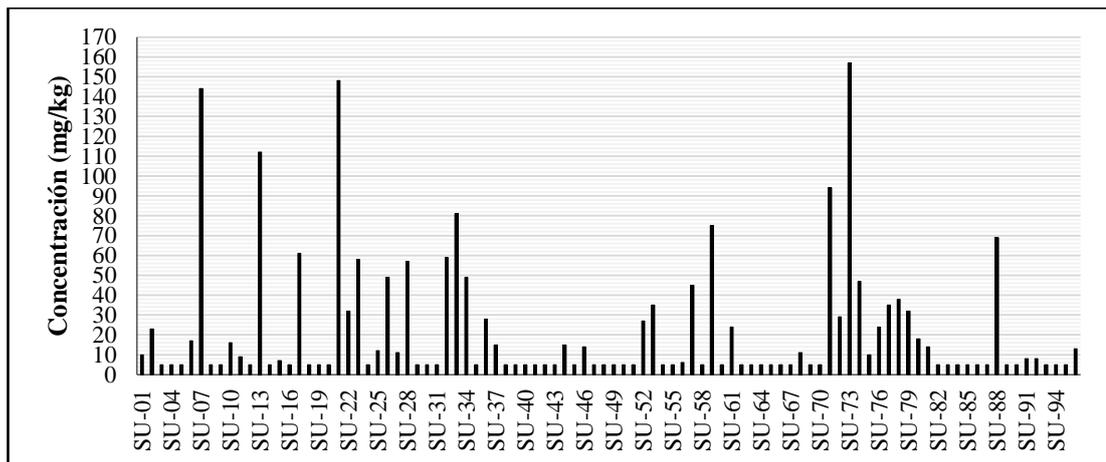
Comparación de los puntos de muestreo en función del Ba.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 19

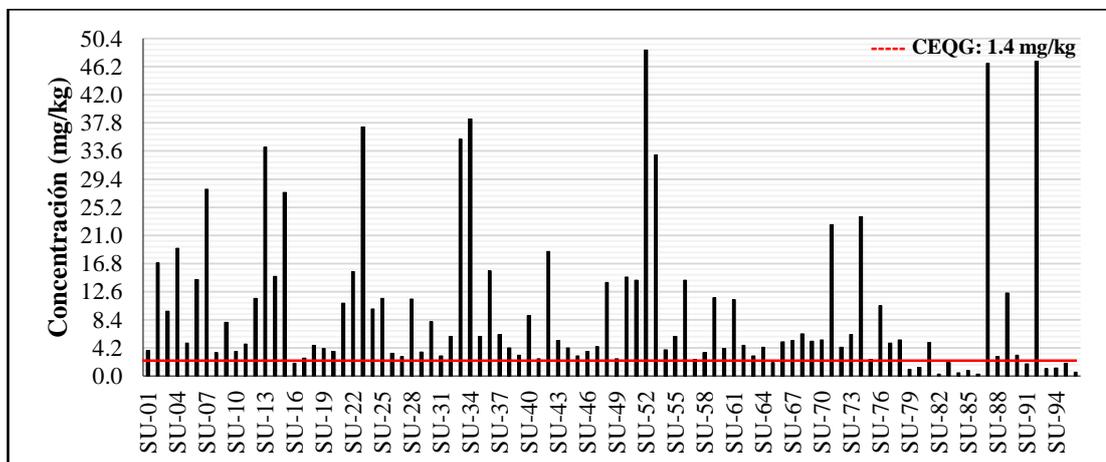
Comparación de los puntos de muestreo en función del Bi.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 20

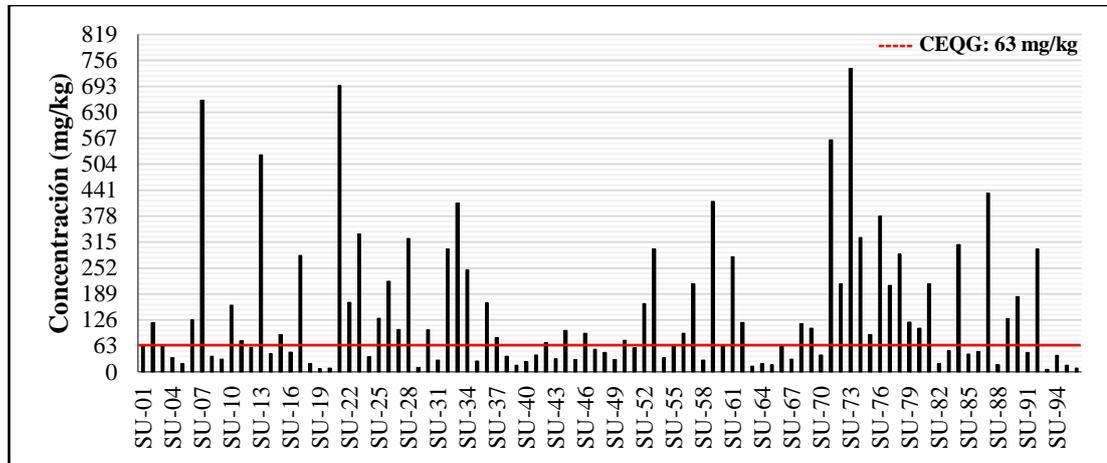
Comparación de los puntos de muestreo en función del Cd.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 21

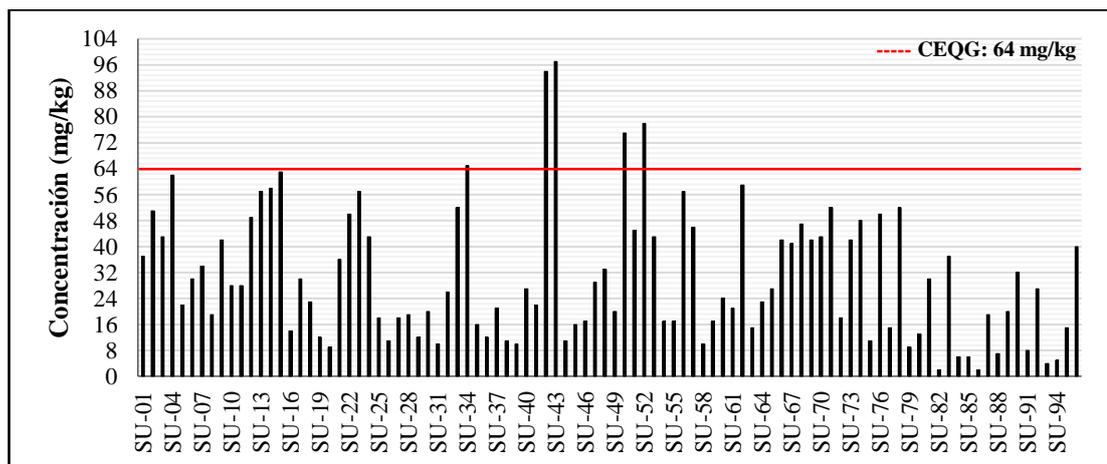
Comparación de los puntos de muestreo en función del Cu.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 22

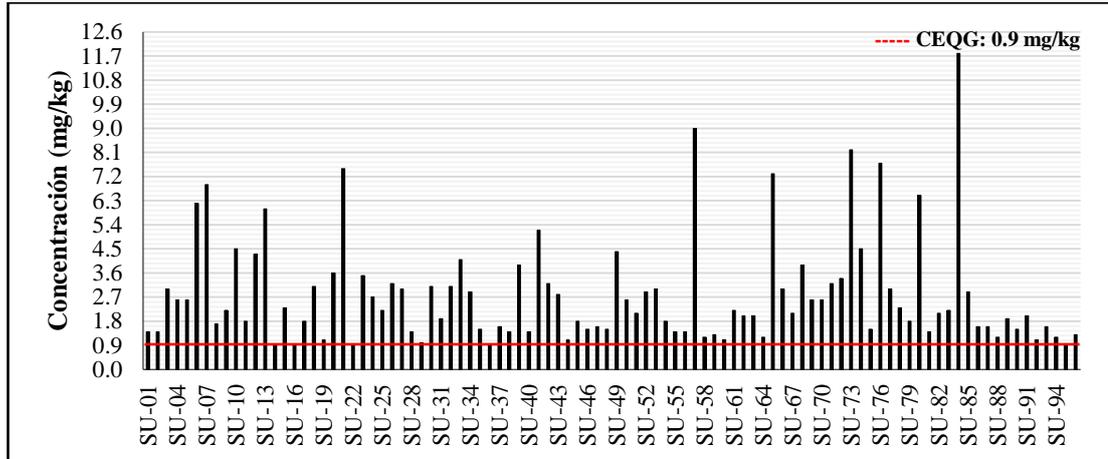
Comparación de los puntos de muestreo en función del Cr.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 23

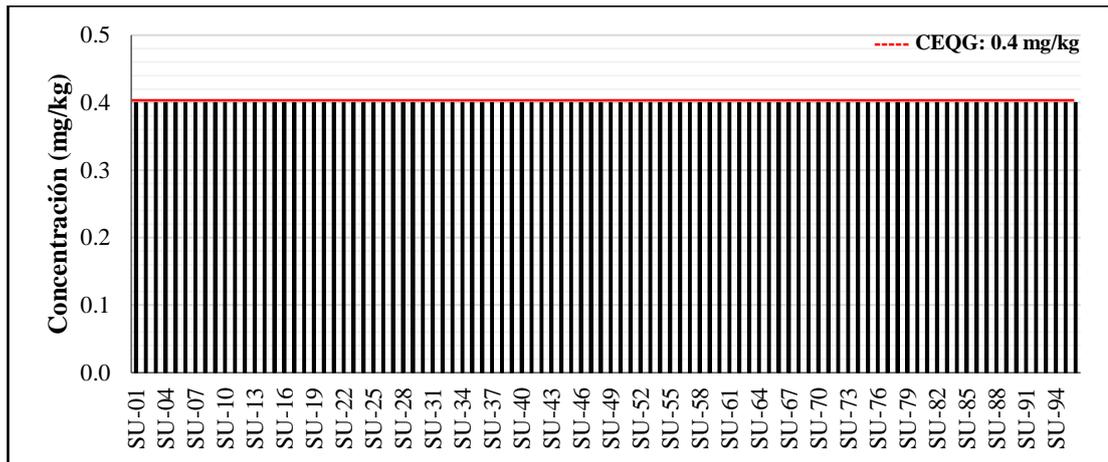
Comparación de los puntos de muestreo en función del CN libre.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 24

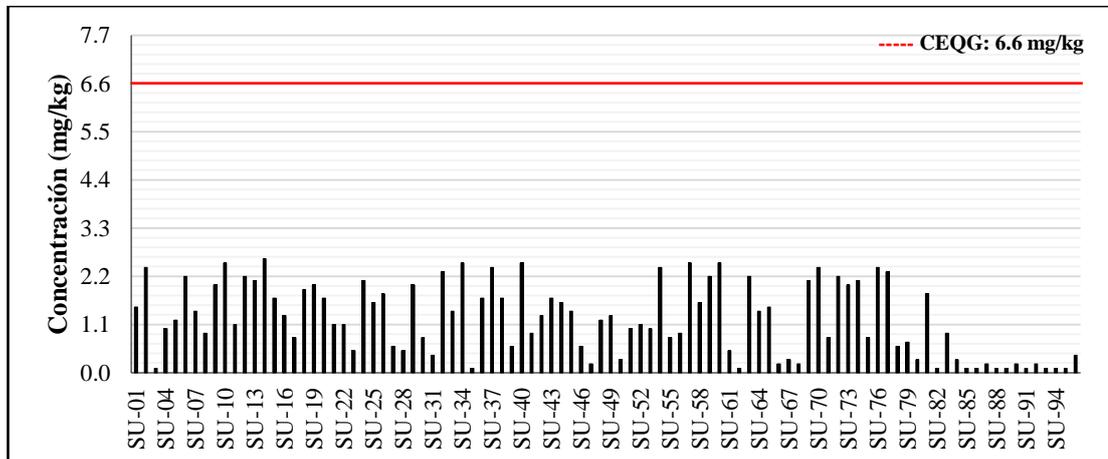
Comparación de los puntos de muestreo en función del Cr VI.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 25

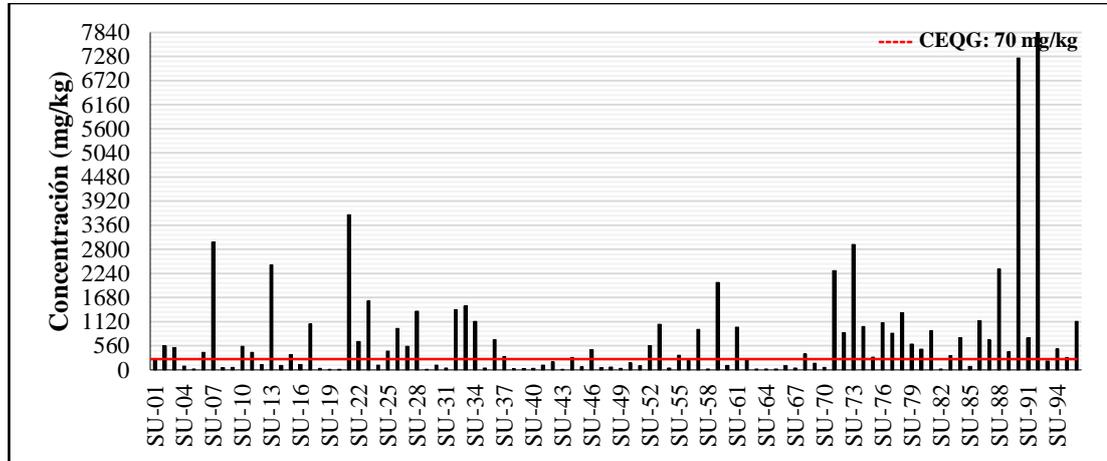
Comparación de los puntos de muestreo en función del Hg.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 26

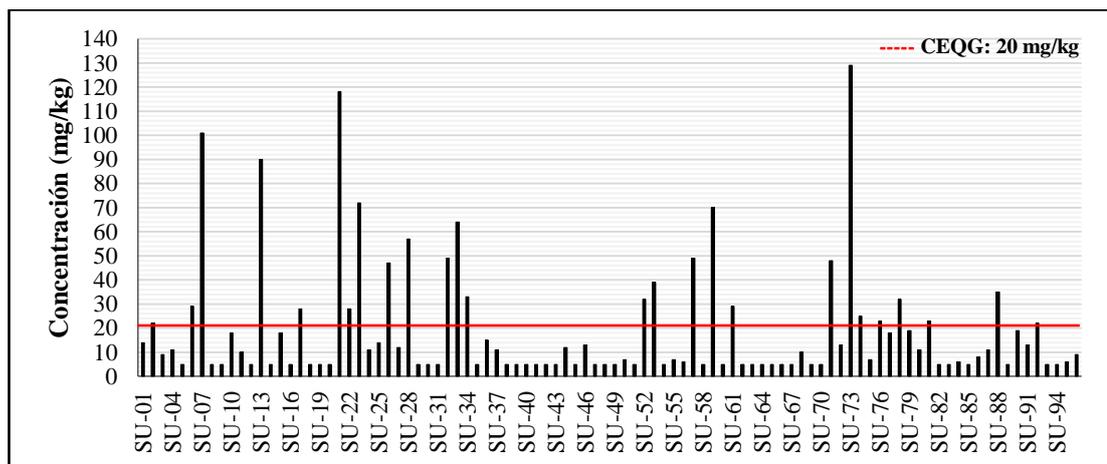
Comparación de los puntos de muestreo en función del Pb.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 27

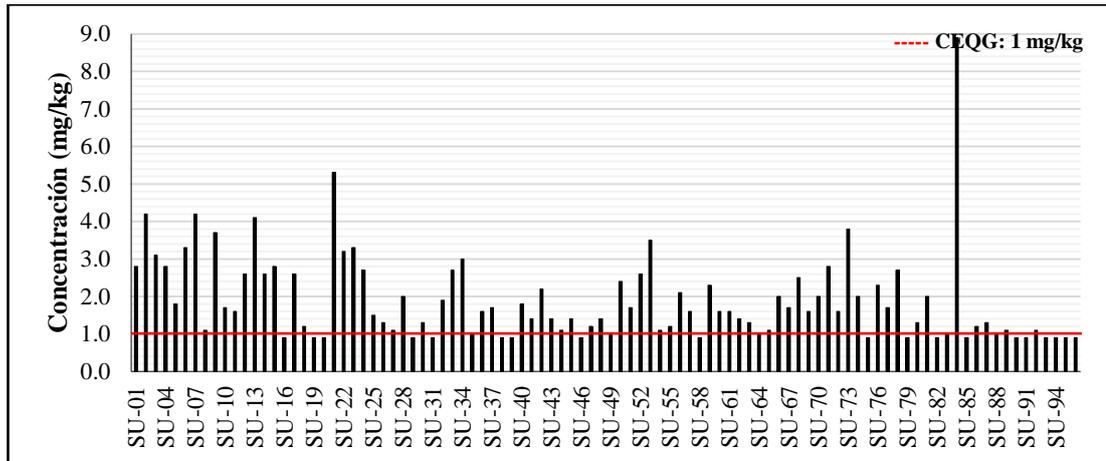
Comparación de los puntos de muestreo en función del Sb.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 28

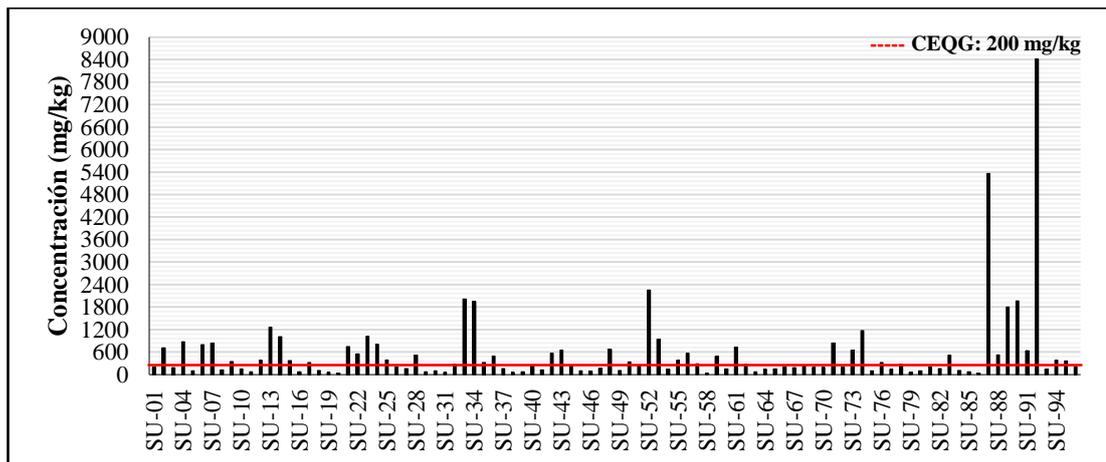
Comparación de los puntos de muestreo en función del Se.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 29

Comparación de los puntos de muestreo en función del Zn.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Tabla 60

Resultados del análisis estadístico descriptivo.

		Ag	As	Ba	Bi	Cd	Cu	Cr
N	Válido	96	96	96	96	96	96	96
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0
Media		6.53	262.33	86.97	21.89	9.80	142.39	30.66
Mediana		2	161	86	5	5.1	76	27
Moda		1	12	91	5	3.0 ^a	20 ^a	11 ^a
Desviación estándar		20.10	274.91	36.15	31.87	11.05	159.82	20.31
Varianza		404.00	75573.34	1306.98	1015.77	122.10	25541.84	412.61
Asimetría		7.27	1.19	0.70	2.61	1.99	1.86	0.95
Curtosis		57.84	0.86	2.53	7.12	3.51	3.41	0.75
Rango		176	1191	231	152	48.4	731	95
Mínimo		1	1	12	5	0.3	6	2
Máximo		177	1192	243	157	48.7	737	97
Suma		627	25184	8349	2101	941	13669	2943

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: ^a Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Tabla 61
Resultados del análisis estadístico descriptivo.

		CN L	Cr VI	Hg	Pb	Sb	Se	Zn
N	Válido	96	96	96	96	96	96	96
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0
Media		2.79	0.40	1.22	730.08	19.14	1.89	562.60
Mediana		2.2	0.4	1.2	339	9	1.6	253
Moda		1.4	0.4	0.1	22 ^a	5	0.9	103
Desviación estándar		2.01	0.00	0.82	1234.60	24.64	1.19	1060.50
Varianza		4.03	0.00	0.67	1524236.60	606.94	1.43	1124658.85
Asimetría		2.05	-	0.10	3.92	2.59	2.68	5.46
Curtosis		4.80	-	-1.36	18.62	7.16	11.80	35.42
Rango		10.9	0.0	2.5	7822	124	8.0	8376
Mínimo		0.9	0.4	0.1	12	5	0.9	33
Máximo		11.8	0.4	2.6	7834	129	8.9	8409
Suma		268	38	117	70088	1837	182	54010

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: ^a Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

“Del análisis estadístico se observó que los valores de la desviación estándar es significativo para los metales pesados como Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cu, Cr, Pb, Sb y Zn; esto significa una mayor dispersión y variabilidad en los resultados, esto se puede verificar viendo la diferencia entre el máximo y el mínimo para cada parámetro”.

5.2 Concentración de parámetros fisicoquímicos.

En las Tablas 62 y 63 se presentaron los resultados del análisis fisicoquímico realizado a las muestras obtenidas del área de estudio (zona Huaynacancha) del 04 al 11 de noviembre del 2017, donde se analizaron parámetros tal como el potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, materia orgánica, fosforo, potasio, textura, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables y saturación de bases.

Tabla 62*Resultados del análisis fisicoquímico.*

Estación	pH (20°C)	CE (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
CAL-01	3.92	0.59	0.21	1.71	6.46	192.81	60	31	6
CAL-02	3.51	0.39	0.35	1.51	6.34	194.65	62	32	5
CAL-03	3.30	0.64	0.56	1.67	6.43	192.48	63	31	5
CAL-04	3.25	0.42	0.78	1.61	6.52	190.76	60	33	6
CAL-05	3.54	0.56	0.24	1.47	6.51	194.87	61	32	5
CAL-06	3.92	0.76	0.18	1.59	6.45	196.98	67	32	5
CAL-07	3.07	0.43	0.31	1.40	6.41	197.00	60	31	5
CAL-08	3.10	0.45	0.56	1.32	6.61	199.24	65	30	5
CAL-09	3.69	0.66	0.66	1.49	6.55	195.14	66	33	6
CAL-10	3.12	0.39	0.59	1.34	6.51	198.09	61	35	6
CAL-11	3.62	0.55	0.15	1.44	6.61	196.78	65	36	6
CAL-12	3.70	0.22	0.85	1.62	6.78	197.45	69	35	5

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Datos obtenidos del informe de ensayo (NOV1092.R17) del Anexo B.

Tabla 63*Resultados del análisis fisicoquímico.*

Estación	Textura	CIC (cmol/kg)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	Suma de Bases	Saturación de Bases
CAL-01	Fr.A.	10.72	2.73	1.25	0.73	0.10	5.91	4.81	44.87
CAL-02	Fr.A.	10.84	2.94	1.63	0.56	0.11	5.60	5.24	48.34
CAL-03	Fr.A.	10.64	2.82	1.90	0.34	0.13	5.45	5.19	48.78
CAL-04	Fr.A.	10.34	2.34	1.60	0.39	0.10	5.91	4.43	42.84
CAL-05	Fr.A.	10.21	2.39	1.93	0.18	0.10	5.62	4.59	44.96
CAL-06	Fr.A.	10.99	2.26	1.63	0.52	0.12	6.46	4.53	41.22
CAL-07	Fr.A.	10.54	2.13	1.87	0.24	0.13	6.17	4.37	41.46
CAL-08	Fr.A.	10.92	3.00	1.55	0.46	0.14	5.77	5.15	47.16
CAL-09	Fr.A.	10.93	2.94	1.63	0.78	0.11	5.47	5.46	49.95
CAL-10	Fr.A.	10.25	2.82	1.54	0.45	0.12	5.32	4.93	48.10
CAL-11	Fr.A.	10.56	2.70	1.21	0.87	0.14	5.64	4.92	46.59
CAL-12	Fr.A.	10.82	2.21	1.47	0.98	0.17	5.99	4.83	44.64

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Datos obtenidos del informe de ensayo (NOV1092.R17) del Anexo B.

Del análisis fisicoquímico se observó que los suelos del área de estudio son extremadamente ácidos, no salinos, ligeramente calcáreos, de textura franco arenosa, de baja capacidad de intercambio catiónico, de moderada base intercambiable, moderadamente lixiviado por saturación de bases; además contienen bajas cantidades de materia orgánica y fósforo así como cantidades medias de potasio.

Tabla 64*Resultados del análisis estadístico descriptivo.*

		pH	CE	CaCO ₃	M.O	P	K	Arena	Limo	Arcilla
N	Válido	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	3.48	0.51	0.45	1.51	6.52	195.52	63.25	32.58	5.42
	Mediana	3.53	0.50	0.46	1.50	6.51	195.96	62.50	32.00	5.00
	Moda	3.92	0.39	0.56	1.32 ^a	6.51 ^a	190.76 ^a	60.00	31 ^a	5.00
	Desviación estándar	0.31	0.15	0.24	0.13	0.12	2.53	3.08	1.88	0.51
	Varianza	0.09	0.02	0.06	0.02	0.01	6.42	9.48	3.54	0.27
	Asimetría	0.04	-0.12	0.26	-0.04	0.92	-0.49	0.55	0.63	0.39
	Curtosis	-1.35	-0.08	-1.39	-1.11	1.57	-0.54	-0.95	-0.66	-2.26
	Rango	0.85	0.54	0.70	0.39	0.44	8.48	9.00	6.00	1.00
	Mínimo	3.07	0.22	0.15	1.32	6.34	190.76	60.00	30.00	5.00
	Máximo	3.92	0.76	0.85	1.71	6.78	199.24	69.00	36.00	6.00
	Suma	41.74	6.06	5.44	18.17	78.18	2346.25	759.00	391.00	65.00

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** ^a Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.**Tabla 65***Resultados del análisis estadístico descriptivo.*

		Textura	CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	Suma de Bases	Saturación de Bases
N	Válido	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	-	10.65	2.61	1.60	0.54	0.12	5.78	4.87	45.74
	Mediana	-	10.68	2.72	1.62	0.49	0.12	5.71	4.88	45.78
	Moda	-	10.21 ^a	2.82 ^a	1.63	0.18 ^a	0.10	5.91	4.37 ^a	41.22 ^a
	Desviación estándar	-	0.27	0.32	0.23	0.25	0.02	0.33	0.35	2.89
	Varianza	-	0.07	0.10	0.05	0.06	0.00	0.11	0.12	8.34
	Asimetría	-	-0.44	-0.29	-0.22	0.36	0.96	0.70	0.10	-0.28
	Curtosis	-	-1.15	-1.71	-0.32	-0.83	0.96	0.18	-0.99	-1.07
	Rango	-	0.78	0.87	0.72	0.80	0.07	1.14	1.09	8.73
	Mínimo	-	10.21	2.13	1.21	0.18	0.10	5.32	4.37	41.22
	Máximo	-	10.99	3.00	1.93	0.98	0.17	6.46	5.46	49.95
	Suma	-	127.76	31.28	19.21	6.50	1.47	69.31	58.45	548.91

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** ^a Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

“Del análisis estadístico se observó que los valores de la desviación estándar es significativamente baja para todos los parámetros fisicoquímicos analizados; esto significa una ligera dispersión y baja variabilidad en los resultados, esto se puede verificar viendo la diferencia entre el máximo y el mínimo para cada parámetro”.

Tabla 66*Resultados del análisis taxonómico de suelos.*

Estación	Orden	Suborden	Gran Grupo	Sub Grupo
CHE-01	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-02	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-03	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-04	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-05	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-06	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-07	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Typic Calcicryepts
CHE-08	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Typic Calcicryepts
CHE-09	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-10	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-11	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-12	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-13	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-14	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-15	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-16	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-17	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-18	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Typic Calcicryepts
CHE-19	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-20	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Typic Calcicryepts
CHE-21	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-22	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-23	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-24	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-25	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-26	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-27	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-28	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-29	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Typic Calcicryepts
CHE-30	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Typic Calcicryepts
CHE-31	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-32	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts
CHE-33	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-34	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Oxyaquic Calcicryepts
CHE-35	Inceptisols	Cryepts	Calcicryepts	Lithic Calcicryepts

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Datos obtenidos en campo.

“Del análisis taxonómico se observó que son suelos con baja tasa de descomposición de materia orgánica debido a las bajas temperaturas; ya que se forman en zonas frías, de alta montaña o de latitudes altas; no poseen permafrost; además tienen un horizonte cálcico o petrocálcico dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral.

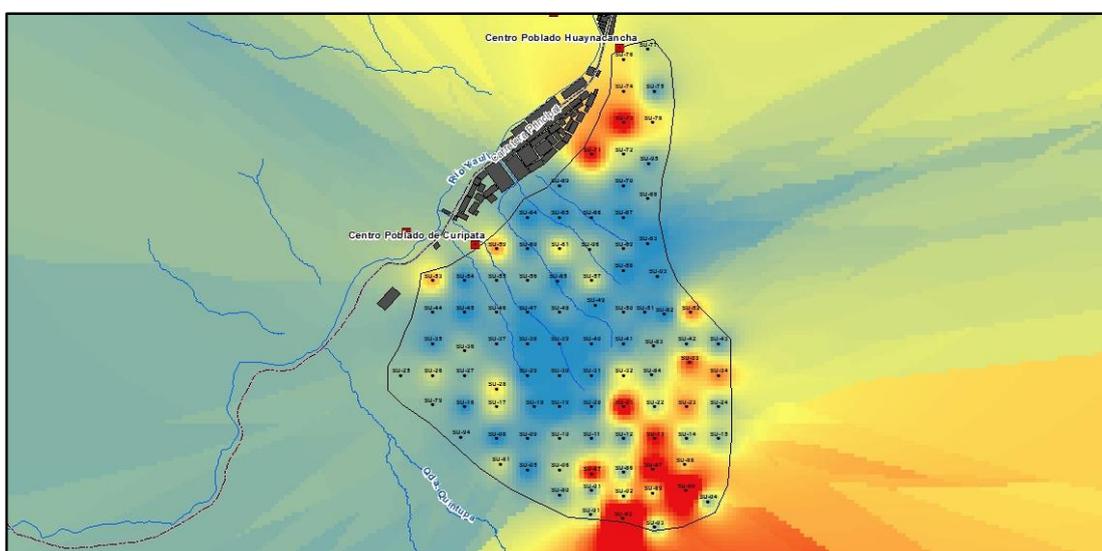
5.3 Distribución espacial de parámetros inorgánicos y fisicoquímicos.

5.3.1 Análisis geoespacial de los parámetros inorgánicos.

Se presentaron en la Figura 28 los resultados del análisis geoespacial realizado al área de estudio (zona Huaynacancha), donde se determinó la resultante de las concentraciones más altas de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente; asimismo en los Mapas A-15, A-16 y A-17 del Anexo A se mostró el comportamiento de las concentraciones por cada parámetro analizado.

Figura 28

Análisis geoespacial de los parámetros inorgánicos.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos de la sumatoria de concentraciones por cada punto de muestreo.

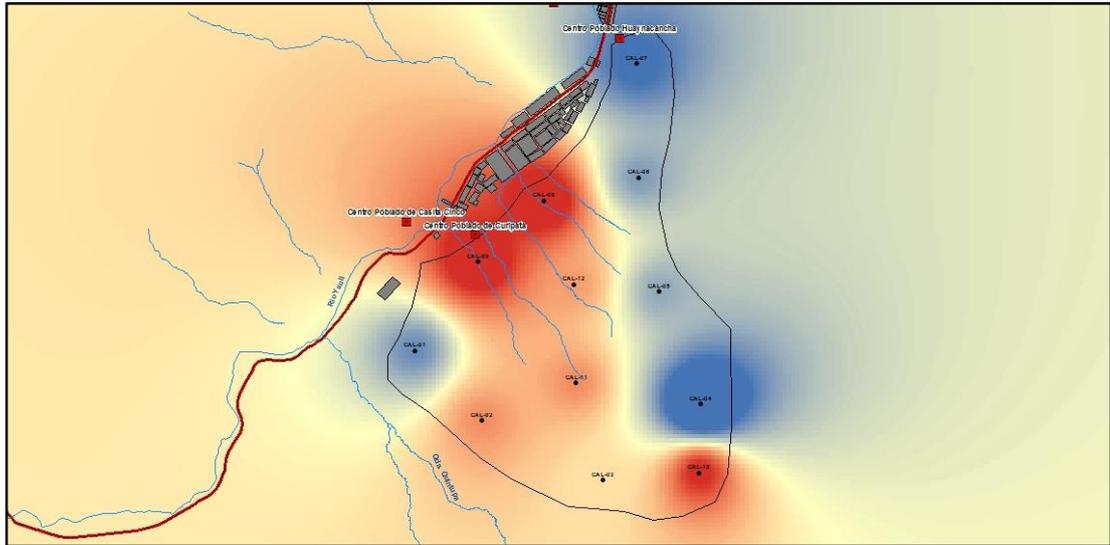
“Del análisis geoespacial se observó que los puntos críticos de excesiva concentración de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo se encuentran esparcidos en la parte alta del área de estudio; asimismo existen puntos críticos adyacentes a la zona urbana como el Centro Poblado de Huaynacancha”.

5.3.2 Análisis geoespacial de los parámetros fisicoquímicos.

Se presentaron en la Figura 29 los resultados del análisis geoespacial realizado al área de estudio (zona Huaynacancha), donde se determinó la resultante de las concentraciones más altas de pH, C.E, CaCO₃, M.O, C.IC, P, K, Suma y Saturación de bases; asimismo en los Mapas A-18 y A-19 del Anexo A se mostró el comportamiento de las concentraciones por cada parámetro analizado.

Figura 29

Análisis geoespacial de los parámetros fisicoquímicos.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Nota: Datos obtenidos de la sumatoria de concentraciones por cada punto de muestreo.

“Del análisis geoespacial se observó que los puntos críticos de los parámetros como el pH, C.E, CaCO₃, M.O, C.IC, P, K, Suma y Saturación de bases en el suelo se encuentran esparcidos en la parte alta, media y baja del área de estudio; asimismo existen puntos críticos adyacentes a la zona urbana como el Centro Poblado de Curipata”.

5.4 Impacto ambiental.

5.4.1 Determinación del nivel de fondo (fondo geoquímico).

En la Tabla 67 se presentaron los resultados del análisis químico realizado a las muestras obtenidas del área de estudio (zona Huaynacancha) del 12 al 14 de noviembre del 2017, donde se analizaron las concentraciones de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente para la determinación del fondo geoquímico o nivel de fondo.

Tabla 67*Resultados del análisis químico.*

Estación	Ag mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Bi mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Cr mg/kg	CN L mg/kg	Cr VI mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Se mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg
NF-01	0.8	38.9	19.0	5.3	0.9	17.2	3.4	0.9	0.4	0.1	24.4	5.3	1.1	35.2	15126.1
NF-02	0.6	37.7	15.0	5.3	0.7	19.2	3.4	0.9	0.4	0.1	24.0	5.9	1.0	32.7	15051.0
NF-03	0.7	32.8	19.0	5.4	0.6	16.2	3.5	0.9	0.4	0.1	20.4	5.9	1.3	38.6	15114.2
NF-04	0.5	36.5	19.0	5.2	0.8	16.3	3.6	0.9	0.4	0.1	24.3	5.2	1.2	31.5	15192.1
NF-05	0.6	32.0	12.0	5.1	0.6	19.9	3.5	0.9	0.4	0.1	22.1	5.6	1.0	38.7	15133.6
NF-06	0.6	35.3	16.0	5.3	0.9	17.2	3.9	0.9	0.4	0.1	23.2	5.3	1.1	35.3	15084.2
Promedio	0.6	35.5	16.7	5.3	0.8	17.7	3.6	0.9	0.4	0.1	23.1	5.5	1.1	35.3	15116.9

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Datos obtenidos del informe de ensayo (NOV1093.R17) del Anexo B.

Con el objetivo de determinar el impacto ambiental por la actividad minero – metalúrgica del CMLO en el suelo, se determinó el Índice de Geoacumulación (I_{geo}), el Factor de Enriquecimiento (FE) y el Índice de la Calidad de Suelo (S_oQI) en el área de estudio.

5.4.2 Índice de geoacumulación.

El Índice de Geoacumulación (I_{geo}) relaciona las cargas actuales de metales pesados con las anteriores a la civilización actual.

En la Tabla 68 y el Gráfico 30 se presentaron los resultados del cálculo del I_{geo} realizados en el área de estudio (Ver Anexo C).

Tabla 68

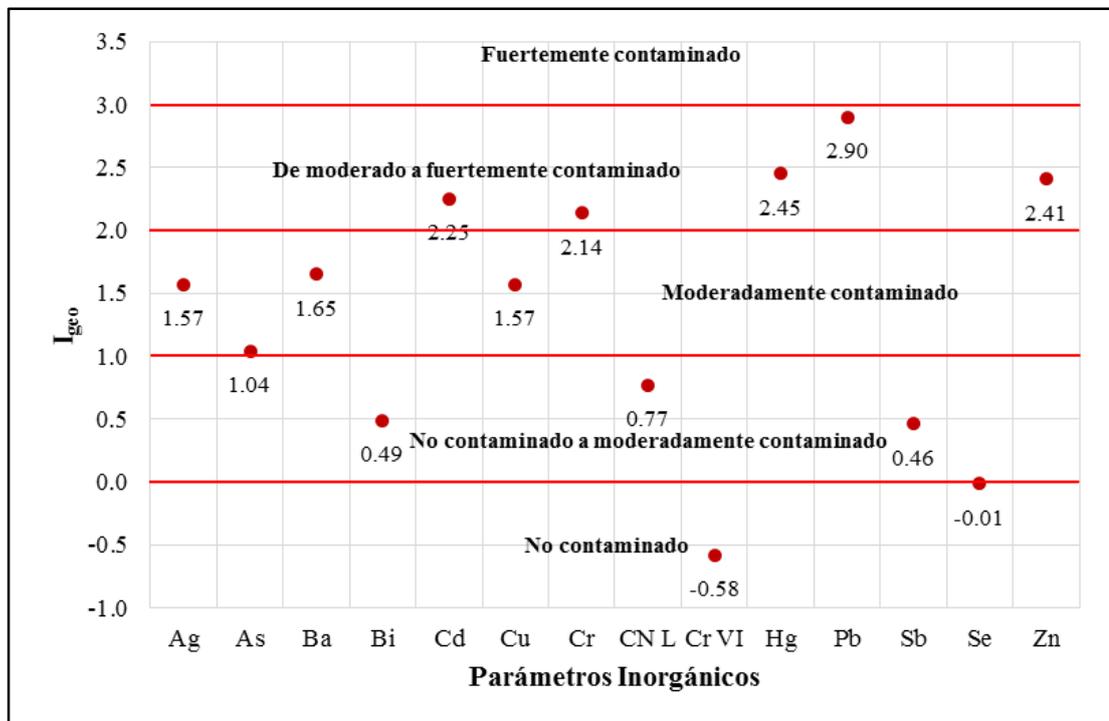
Resultados del cálculo del índice de geoacumulación.

Parámetro	I_{geo}	Parámetro	I_{geo}
Plata	1.57	Cianuro Libre	0.77
Arsénico	1.04	Cromo VI	-0.58
Bario	1.65	Mercurio	2.45
Bismuto	0.49	Plomo	2.90
Cadmio	2.25	Antimonio	0.46
Cobre	1.57	Selenio	-0.01
Cromo	2.14	Zinc	2.41

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 30

Análisis gráfico del índice de geoacumulación.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

“Del cálculo y el análisis gráfico se observó que el mayor I_{geo} lo ocupa el cadmio, cromo, mercurio, plomo y zinc por lo que el suelo del área de estudio se encuentra de moderado a fuertemente contaminado por la acumulación de estos metales pesados en el suelo”.

5.4.3 Factor de Enriquecimiento.

El Factor de Enriquecimiento (FE) permite distinguir entre origen natural o antropogénico de los metales evaluados.

En la Tabla 69 y el Gráfico 31 se presentaron los resultados del cálculo del I_{geo} realizados en el área de estudio (Ver Anexo C).

Tabla 69

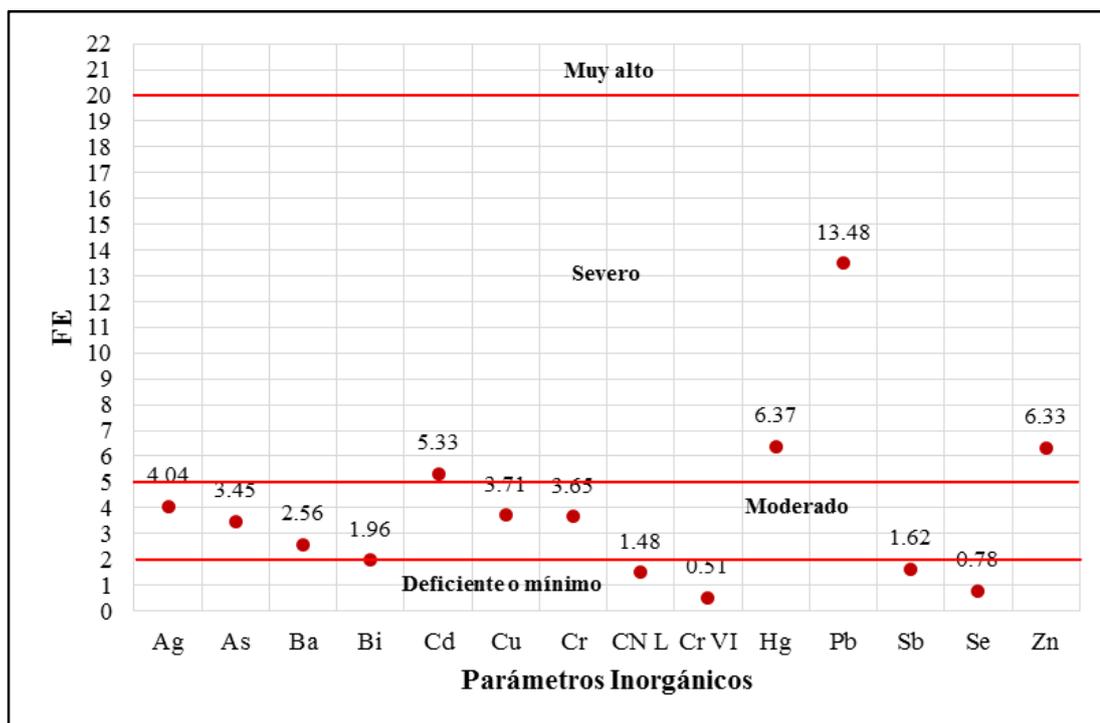
Resultados del cálculo del factor de enriquecimiento.

Parámetro	FE	Parámetro	FE
Plata	4.04	Cianuro Libre	1.48
Arsénico	3.45	Cromo VI	0.51
Bario	2.56	Mercurio	6.37
Bismuto	1.96	Plomo	13.48
Cadmio	5.33	Antimonio	1.62
Cobre	3.71	Selenio	0.78
Cromo	3.65	Zinc	6.33

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Gráfico 31

Análisis gráfico del factor de enriquecimiento.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

“Del cálculo y el análisis gráfico se observó que el mayor FE lo ocupa el cadmio, mercurio, plomo y zinc por lo que el suelo del área de estudio se encuentra con un enriquecimiento severo por acumulación de estos metales pesados en el suelo”.

5.4.4 Índice de la Calidad del Suelo.

Los índices se calculan a partir de fórmulas que introducen una o múltiples propiedades del suelo (llamadas Indicadores de la Calidad del Suelo, ICS) convenientemente normalizadas y ponderadas.

En las Tablas 70, 71, 72 y 73 se presentan los resultados del cálculo del S_oQI del suelo utilizando solo las concentraciones de los parámetros inorgánicos presentes en el suelo del área rural.

Tabla 70*Resultados del cálculo del índice de la calidad del suelo.*

Resumen	Resultados (zona rural o agrícola)
S _o QI	30
Rango	Alto
F1 (Alcance)	69.2
F2 (Frecuencia)	44.9
F3 (amplitud)	89.3
Pruebas totales	312
Pruebas fallidas	140
Suma de incumplimiento	1168.6

Fuente: Elaboración propia, (2018)**Nota:** Grupo de estaciones analizadas desde SU-01 al SU-24.**Tabla 71***Resultados del cálculo del índice de la calidad del suelo.*

Resumen	Resultados (zona rural o agrícola)
S _o QI	32
Rango	Alto
F1 (Alcance)	69.2
F2 (Frecuencia)	42.3
F3 (amplitud)	84.6
Pruebas totales	312
Pruebas fallidas	132
Suma de incumplimiento	725.1

Fuente: Elaboración propia, (2018)**Nota:** Grupo de estaciones analizadas desde SU-25 al SU-48.**Tabla 72***Resultados del cálculo del índice de la calidad del suelo.*

Resumen	Resultados (zona rural o agrícola)
S _o QI	31
Rango	Alto
F1 (Alcance)	69.2
F2 (Frecuencia)	44.9
F3 (amplitud)	86.4
Pruebas totales	312
Pruebas fallidas	140
Suma de incumplimiento	891.5

Fuente: Elaboración propia, (2018)**Nota:** Grupo de estaciones analizadas desde SU-49 al SU-72.

Tabla 73*Resultados del cálculo del índice de la calidad del suelo.*

Resumen	Resultados (zona rural o agrícola)
S _o QI	29
Rango	Muy alto
F1 (Alcance)	69.2
F2 (Frecuencia)	42.6
F3 (amplitud)	91.3
Pruebas totales	312
Pruebas fallidas	133
Suma de incumplimiento	1394.5

Fuente: Elaboración propia, (2018)**Nota:** Grupo de estaciones analizadas desde SU-73 al SU-96.

“Del cálculo del índice de la calidad del suelo se observó que el suelo del área de estudio tiene un nivel de preocupación alto a muy alto por la salud pública y el ecosistema indicando una mala a muy mala calidad del suelo.

5.4.5 Determinación de la correlación de variables (suelo – suelo).

Se determinó la relación que existe entre la concentración de metales pesados en los suelos del área de estudio (zona rural), la concentración de metales pesados en los suelos del CMLO (zona industrial) y la concentración de metales pesados en los suelos de los Centros Poblados (zona urbana).

En la Tabla 74 se detalla las variables que serán analizadas para verificar el tipo de correlación (Ver Mapa A-20 del Anexo A).

Tabla 74*Variables de correlación.*

Parámetros	1 ^{ra} Variable	2 ^{da} Variable	3 ^{ra} Variable
	Área de estudio (zona rural) (mg/kg)	CMLO (zona industrial) (mg/kg)	Centros Poblados (zona urbana) (mg/kg)
Arsénico	25184	103249	11980
Bario	8349	4376	-
Cadmio	941	24022	688
Mercurio	117	135	-
Plomo	70088	346991	29960
Antimonio	1837	-	911
Bismuto	2101	-	1790

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Datos obtenidos de la concentración total por metal pesado.

Tabla 75*Resultados de la prueba de normalidad.*

Variables	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estad.	gl	Sig.	Estad.	gl	Sig.
1 ^{ra} Variable	0.266	5	0.200*	0.800	5	0.081
2 ^{da} Variable	0.288	5	0.200*	0.754	5	0.033

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. ^a. Corrección de significación de Lilliefors.

De la **prueba de normalidad** se determinó que la 1^{ra} variable tiene una distribución normal ($p > 0.05$) y la 2^{da} variable una distribución anormal ($p < 0.05$), por lo que para determinar la correlación de esta dos variables se utilizó Spearman.

Tabla 76*Resultados de la correlación de spearman.*

			1 ^{ra} Variable	2 ^{da} Variable
Rho de Spearman	1 ^{ra} Variable	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1 5	0.900* 0.037 5
	2 ^{da} Variable	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	0.900* 0.037 5	1 1 5

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

De la **Correlación de Spearman** se determinó que existe una relación lineal positiva fuerte entre las dos variables según el valor del coeficiente de correlación y la significancia ($p < 0.05$).

Tabla 77*Resultados de la prueba de normalidad.*

Variables	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estad.	gl	Sig.	Estad.	gl	Sig.
1 ^{ra} Variable	0.326	5	0.088*	0.750	5	0.030
3 ^{ra} Variable	0.318	5	0.109*	0.771	5	0.046

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. ^a. Corrección de significación de Lilliefors.

De la **prueba de normalidad** se determinó que la 1^{ra} variable y 3^{ra} variable tienen una distribución anormal ($p < 0.05$), por lo que para determinar la correlación de esta dos variables se utilizó Spearman.

Tabla 78*Resultados de la correlación de spearman.*

			1 ^{ra} Variable	3 ^{ra} Variable
Rho de Spearman	1 ^{ra} Variable	Coefficiente de correlación	1	1.000*
		Sig. (bilateral)		0.000
	3 ^{ra} Variable	Coefficiente de correlación	1.000*	1
		Sig. (bilateral)	0.000	
		N	5	5

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

*De la **Correlación de Spearman** se determinó que existe una relación lineal positiva perfecta entre las dos variables según el valor del coeficiente de correlación y la significancia ($p < 0.05$).*

5.4.6 Determinación de la correlación de variables (suelo – producción).

Se determinó la relación que existe entre la producción de concentrados polimetálicos (Cu, Pb, Zn, Ag, Bi, Se, Sb, Cd y As) en el CMLO (zona industrial) y la concentración de metales pesados en los suelos del área de estudio (zona rural).

En la Tabla 79 se detalla las variables que serán analizadas para verificar el tipo de correlación.

Tabla 79*Comparación de variables.*

Parámetros	1 ^{ra} Variable	2 ^{da} Variable
	CMLO (zona industrial) (ton/año)	Área de estudio (zona rural) (mg/kg)
Cobre	695907	13669
Plomo	1433272	70088
Zinc	767820	54010
Plata	12731	627
Bismuto	10799	2101
Selenio	248	182
Antimonio	6460	1837
Cadmio	1364	941
Arsénico	27517	25184

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** Datos obtenidos de la concentración total por metal pesado y la producción total polimetálica.

Tabla 80*Resultados de la prueba de normalidad.*

Variables	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estad.	gl	Sig.	Estad.	gl	Sig.
1 ^{ra} Variable	0.386	9	0.000*	0.701	9	0.001
2 ^{da} Variable	0.293	9	0.025*	0.754	9	0.006

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. ^a. Corrección de significación de Lilliefors.

De la prueba de normalidad se determinó que la 1^{ra} variable y 2^{da} variable tienen una distribución anormal ($p < 0.05$), por lo que para determinar la correlación de esta dos variables se utilizó Spearman.

Tabla 81*Resultados de la correlación de spearman.*

			1 ^{ra} Variable	2 ^{da} Variable
Rho de Spearman	1 ^{ra} Variable	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	1 9	0.883* 9
	2 ^{da} Variable	Coefficiente de correlación Sig. (bilateral) N	0.883* 0.002 9	1 9

Fuente: Elaboración propia, (2018).**Nota:** *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

De la Correlación de Spearman se determinó que existe una relación lineal positiva significativa entre las dos variables según el valor del coeficiente de correlación y la significancia ($p < 0.05$).

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados se determinaron mediante: el análisis químico, fisicoquímico, gráfico y estadístico descriptivo de las concentraciones de parámetros inorgánicos y parámetros fisicoquímicos; los mapas de distribución espacial para evaluar la máximas y mínimas concentraciones de estos elementos en el suelo; el impacto ambiental generado por la actividad minero-metalúrgica de acuerdo a los niveles de contaminación e índices de la calidad del suelo; y el análisis estadístico inferencial de las variables estudiadas.

Los resultados encontrados en esta tesis indicaron que existe un impacto ambiental negativo en la calidad del suelo de la zona de Huaynacancha, Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín por efectos de las deposiciones atmosféricas en el suelo generadas por la actividad minero-metalúrgica del Complejo Metalúrgico La Oroya; estos resultados guardan relación con lo que sostiene Ramírez & Corcuera (2014), donde determinaron que las mayores concentraciones de metales pesados (As, Cd y Pb) se ubican cercanas a la fuente de emisión de estas partículas, es decir, en la zona industrial (Zona Fundición y Refinería) del CMLO. Además, Activos Mineros (2009), determinaron que solo a 3 km del CMLO la concentración de Pb en los suelos estaba entre 3000 a 16000 mg/kg, mientras que el As se situaba entre 500 a 5710 mg/kg, siendo así la zona más impactada la que se localiza a 2 km al sur del CMLO, que comprende parte del área urbana conocida como La Oroya Antigua. Asimismo, Cederstav A. & Barandiarán A. (2002), determinaron que las concentraciones atmosféricas de As y Cd se han incrementado drásticamente desde 1995 y que las elevadas concentraciones de metales pesados en el ambiente y el riesgo a la salud de la población de La Oroya y sus alrededores es sumamente severo. Por último, los resultados obtenidos en esta tesis de investigación guardan similitud con las conclusiones de los siguientes autores, donde indican que: Las concentraciones de los metales pesados en los suelos son por naturaleza bajos y que la contaminación observada es de origen derivado de las actividades industriales y humanas (García et al., 2007). La fundición y refinería de metales preciosos ha influenciado grandemente el área vecina ya que los resultados obtenidos mostraron una concentración extremadamente elevada en los suelos, vegetales y elementos particulados, con un modelo de distribución

relacionado inversamente a la distancia desde la industria (Gonzales et al., 1984). A distancias cortas, la contaminación del suelo se debió a la aparición de emisiones de partículas de composición variable, pero más allá de unos 15 km los metales pesados probablemente se dispersan principalmente como aerosoles (Cartwright et al., 1976). Los altos niveles de As, Sb y Pb en los suelos indicaron que el polvo acumulado se transporta al menos 10 km y se acumula en el suelo contaminándolo e impactándolo gravemente (Crecelius et al., 1974).

Los suelos del área de estudio (zona Huaynacancha) situados a 11.6 km del CMLO (zona industrial) y en dirección noreste estaban gravemente contaminados por As, Cd, Cu, CN Libre, Pb, Se y Zn con concentraciones tan altas como 1192, 48.7, 737, 11.8, 7834, 8.9 y 8409 mg/kg respectivamente, cabe destacar que la fundición del CMLO estuvo en funcionamiento por 92 años; estos resultados guardan relación con lo que sostiene Peizhong Li et al. (2014), donde determinaron que 60 años de funcionamiento de la fundición de Pb/Zn en China contaminaron los suelos con metales pesados Zn, Pb, Cd, As, Sb y Hg exhibieron concentraciones máximas de 8078, 2485, 75.4, 71.7, 25.3 y 2.58 mg/kg respectivamente. Asimismo Zhonggen Li et al. (2010); determinaron que los suelos situados a 4 km de la fundición Pb/Zn en China estaban gravemente contaminados con concentraciones máximas de Hg, Pb, Zn, Cd, Cu y As tan altas como 2.89, 1200, 3350, 41.1, 157 y 93 mg/kg, respectivamente.

Los suelos del área de estudio (zona Huaynacancha) situados a 11.6 km del CMLO (zona industrial) y en dirección noreste son suelos extremadamente ácidos, no salinos, ligeramente calcáreos, de textura franco arenosa, de baja capacidad de intercambio catiónico, de moderada base intercambiable, moderadamente lixiviado por saturación de bases; además contienen bajas cantidades de materia orgánica y fósforo así como cantidades medias de potasio, determinando así la alta concentración de metales pesados en el suelo ya que la disponibilidad de un elemento depende también de las características del suelo en donde se encuentra; estos resultados guardan relación con lo que sostiene Waterlot C. et al. (2012); donde determinaron que la toxicidad del metal estaba relacionada con los niveles de contaminación y las propiedades físico-químicas de los suelos, incluyendo pH, materia orgánica y, en menor medida, calcio, magnesio y contenido de fósforo, todo esto por efecto de las antiguas fundiciones de plomo y zinc en Francia. Asimismo el

Consortio Filomena Tomaira, Cooper Acción y Cenca, (2005); determinaron que los suelos adyacentes al área de estudio presentaron una acidez media entre 3.4 a 3.7, con bajo contenido de nutrientes y de materia orgánica, así como muy baja capacidad de intercambio catiónico.

La distribución espacial de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo del área de estudio (zona Huaynacancha) es heterogénea ya que existen puntos con alta y baja concentración de estos elementos en toda el área y con mayor presencia en la parte alta, asimismo, como referencia se evidenció que las mayores concentraciones de estos metales pesados se encuentra en la zona industrial del CMLO seguido de la zona urbana adyacentes a la carretera central; estos resultados guardan relación con lo que sostiene Bohdan Kríbek et al. (2015); donde determinaron que las concentraciones de SO₂ en la ciudad Tsumeb eran relativamente bajas, mientras que las concentraciones de polvo más altas se encontraron alrededor de la fundición de Tsumeb y que estos resultados fueron verificados mediante un estudio geoquímico en el suelo y el pasto de la zona. Asimismo, Xiao Qing et al. (2015); determinaron que los distritos industriales de acero en el noreste de China eran los puntos calientes de contaminación según los mapas de distribución espacial.

El impacto ambiental en los suelos del área de estudio (zona Huaynacancha) situados a 11.6 km del CMLO (zona industrial) y en dirección noreste es negativo ya que estos suelos se encuentran de moderado a fuertemente contaminado por la acumulación descendente de Pb>Hg>Zn>Cd>Cr según el I_{geo}; y con un enriquecimiento severo antropogénico por Cd, Hg, Pb y Zn según el FE.; asimismo el suelo del área de estudio tiene un nivel de preocupación alto a muy alto por la salud pública y el ecosistema indicando una mala a muy mala calidad del suelo; estos resultados guardan relación con lo que sostiene Xiao Qing et al. (2015); donde determinaron que los valores del I_{geo} de los metales pesados estaban en el orden descendente de Cd>Zn>Cu>Pb>Ni>Cr concluyendo que la contaminación en los suelos urbanos de la ciudad industrial del acero (Anshan) en China por cadmio fue moderada. Asimismo, Krzysztof Loska et al. (2003); determinaron que según el I_{geo} y el FE se permitió encontrar contenidos elevados de algunos metales tóxicos por Cd, Pb, As, Hg y Sb en los suelos de la comuna de Suszec en Polonia representando hasta el 90% de la contaminación del suelo.

CONCLUSIONES

En esta tesis se determinó que el Complejo Metalúrgico La Oroya ha influenciado e impactado negativamente en la calidad del suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha, Distrito de La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, ya que:

- Se determinó concentraciones altas de arsénico, cadmio, cobre, cianuro libre, plomo, selenio y zinc en el suelo del área de estudio, con valores máximos de 1192 mg/kg, 48 mg/kg, 737 mg/kg, 11.8 mg/kg, 7834 mg/kg, 129 mg/kg, 8.9 mg/kg y 8409 mg/kg respectivamente; además estos elementos excedieron el ECA de suelo y CEQG soil.
- Se determinó que las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del suelos son anómalos ya que el suelo es extremadamente ácido con un pH medio de 3.48, con una baja cantidad de sales minera de entre 0.22 a 0.76 mS/cm, con un valor medio de 0.45 % de contenido ligero de carbonato de calcio, se determinó además que la textura de este suelo es franco arenosa con una baja capacidad de intercambio catiónico con una media de 10.65 cmol/kg y que contienen bajas cantidades de materia orgánica y fósforo así como cantidades medias de potasio con valores medios de 1.51 %, 6.52 mg/kg y 195.52 mg/kg respectivamente. Asimismo del análisis taxonómico se determinó que estos suelos son del orden Inceptisoles por su baja temperatura y su muy baja descomposición de materia orgánica.
- Se determinó que el tipo de distribución espacial de las concentraciones de parámetros inorgánicos (Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cu, Cr, CN Libre, Cr VI, Hg, Pb, Sb, Se y Zn) y parámetros fisicoquímicos (pH, CE, CaCO₃, MO, P, K, Textura, CIC, Bases intercambiables y saturación de bases) en el suelo es heterogénea, mostrando en forma disponible escalas arbitrarias de máxima y mínima concentración, destacando su variabilidad espacial pero con valores que exceden la normativa nacional e internacional de la calidad del suelo; asimismo, se pudo identificar zonas con excesiva concentración de estos elementos que se ubicaron en la parte alta del área de estudio y adyacentes a los Centros Poblados de Huaynacancha y Curipata.
- Se evaluó el impacto ambiental en el suelo de la zona Huaynacancha resultando ser negativo, ya que el 36 % de los parámetros inorgánicos

analizados tienen un I_{geo} de entre 2 a 3 unidades, reflejando así el nivel de contaminación por cadmio, cromo, mercurio, plomo y zinc de moderado a fuerte; asimismo el FE indicó que estos suelos tienen un enriquecimiento antropogénico severo por cadmio, mercurio, plomo y zinc teniendo valores de entre 5 a 20 unidades; y por último el S_oQI indicó que el suelo del área de estudio tiene un nivel de preocupación alto a muy alto por la salud pública y el ecosistema indicando ser de muy mala calidad tanto para la agricultura, ganadería o la residencia.

- De la prueba estadística se determinó que existe una relación lineal positiva fuerte a perfecta entre las concentraciones de metales pesados del área de estudio (zona rural) vs el CMLO (zona industrial) y las concentraciones de metales pesados del área de estudio (zona rural) vs los Centros Poblados (zona urbana) con valores de coeficiente de correlación lineal $\rho=0.09$ y $\rho=1.00$ respectivamente; de la misma manera se determinó que existe una relación lineal positiva significativa entre las concentraciones de metales pesados del área de estudio (zona rural) vs la producción polimetálica del CMLO (zona industrial) por tener una correlación significativa $\rho=0.883$.

Por lo tanto, se acepta la Hipótesis General; concluyendo que la mala calidad del suelo en el área de estudio (zona Huaynacancha) influenciado por el Complejo Metalúrgico de la Oroya, son el resultado de la acumulación de metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en el suelo, por causa de la deposición atmosférica continua de material particulado rico en estos elementos y la precipitación de lluvia ácida en el suelo; hecho que ha influenciado drásticamente en los cambios fisicoquímicos del suelo.

RECOMENDACIONES

Del desarrollo de esta tesis se recomienda:

- No permitir actividades como la agricultura y ganadería hasta la pronta remediación en la zona de estudio.
- Proponer y ejecutar medidas para inmovilizar los parámetros inorgánicos del suelo para que no sean transportados por agentes físicos como el viento y el agua.
- Relacionar el tipo de suelo con la concentración de metales pesados y su efecto en la flora y fauna.
- Monitorear y dirigir el proceso de remediación de la zona de estudio, con el fin de disminuir la exposición de animales y humanos a metales pesados
- Completar a la mayor brevedad posible, el proceso de reubicación de los pobladores residentes adyacentes al area rural (Huaynacancha) a otras más seguras y menos contaminadas.
- Realizar estudios de remoción de metales pesados, integrando diferentes alternativas que disminuyan la acumulación de metales pesados, tales como la adición enmiendas y rizorremediación.
- Realizar una estudio de emisiones gaseosas y material particulado de los vehículos que transitan por la carretera central, adyacente a la zona de estudio.
- Realizar un modelamiento de dispersión atmosférica para las chimeneas secundarias del CMLO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham GMS & Parker RJ (2008). "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand". *Environ Monit Assess* 136:227–238.
- Activos Mineros (2009). "Calculan cantidad exacta de plomo, cadmio y arsénico en La Oroya". Consultoras Ground Water International, Science Integrity y Knight Piesold Consulting. El Comercio. Perú.
- Adriano Domy C. (2001). "Trace Elements in the Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals". 2nd Edition. Springer-Verlag. New York.
- Alcaide L. M. María Teresa. (2000). "Efectos ambientales del tráfico urbano: la evaluación de la contaminación atmosférica en Madrid". España.
- Alloway, Brian. J. (ed.). (2013). "Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (third edition)", Springer. Dordrecht, 613.
- Aoyama, M., and Kuroyanagi, S. (1996). "Effects of heavy metal accumulation associated with pesticide application on the decomposition of cellulose and orchard grass in: soils". *Soil Sci Plant Nutr.* 42(1): 121-131.
- Arnal, Justo; Del Rincón, Delio y Latorre, Antonio. (1994). "Investigación educativa. Fundamentos y metodología". Barcelona, España: Editorial Labor, SA.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. (1992). "Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria". *American J. of Alternative Agriculture* 7: 25-31.
- Arellano D, Javier. (2002). "Introducción a la Ingeniería Ambiental". México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Arias J. Ana C. (2001). "Suelos Tropicales". Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Bautista Z. Francisco. (1999). "Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados." México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Bazán R., Romero R., Valencia M., Nazario J., y García S. (2000). "Guía de prácticas de edafología. Departamento de suelos". Universidad Nacional Agraria la Molina. 49 p.
- Baird Colin. (2001). "Química ambiental". España: Editorial Reverte S.A.

- Baird Colin. (1999). "Environmental Chemistry". 2nd Ed. W.H. Freeman & Company.
- Barrios Napuri Carlos. (2008). "El desarrollo empresarial desde la perspectiva local". España: Red Académica Iberoamericana Local Global. Universidad de Málaga.
- Bohdan Kríbek, Vladimír Majer, Ilja Knesl, Josef Keder, Benjamín Mapani, Frederick Kamona, Martin Mihaljevic, Vojtech Ettl, Vít Penížek, Ales Vanek and Ondra Sracek. (2015). "Contamination of soil and grass in the Tsumeb smelter area, Namibia Modeling of contaminants dispersion and ground geochemical verification". ScienceDirect. 75-91.
- Brack Antonio & Mendiola Cecilia. (2000). "Ecología del Perú". Perú: Bruño.
- Buat-Menard P, Chesselet R. (1979). "Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter". Earth Planet Sci Lett; 42:398 – 411.
- Buchauer, M. (1973). "Contamination of soil and vegetation near a zinc smelter by zinc, cadmium, copper and lead". Environ. Sci. Technol 7, 131-135.
- Casas Flores Raquel. (2011). "El suelo de cultivo y las condiciones climáticas". España: Ediciones Paraninfo SA.
- Callaba Antonio, Iribarren Inés y Fernández-Cantel Paula. (2005). Protección del suelo y el desarrollo sostenible: Seminario Europeo: Soria, 15-17 de mayo de 2002. IGME. España.
- Cartwright B., Merry R. H. and Tiller K. G. (1976). "Heavy Metal Contamination of Soils around a Lead Smelter at Port Pirie, South Australia". Soil Research. Csiro Publishing.
- Cargua C. Jessica. (2010). "Determinación de las Formas". Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Caselli Maurizio. (2000). "La contaminación atmosférica. Causas y efectos. Efectos sobre el clima, la vegetación y los animales". México: Siglo XXI.
- Casanova O. Eduardo. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- CCME. (1999). "Canadian environmental quality guidelines". Canadá: Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health.
- CCME (2007). "CCME Soil Quality Index 1.0: Technical Report". Canadá: Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health.

- Cederstav Anna & Barandiarán Alberto. (2002). "La Oroya no espera". Perú: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- CGTA. (2017). "Programa de Especialización: Monitoreo y Evaluación de la Calidad Ambiental – Calidad del Suelo". Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Concepción Fabeiro, Jorge de las Heras, Ramón Meco., (2003). "Fundamentos de agricultura ecológica: realidad actual y perspectivas". España: Universidad de Castilla La Mancha.
- Consortio Filomena Tomaira, Cooperación y CENCA. (2005). Calidad del Aire, Aguas y Suelos en la Provincia de Yauli – La Oroya: Monitoreo Ambiental Participativo". La Oroya – Perú.
- Crececius Eric A., Johnson Carl J and Hofer George C. (1974). "Contamination of soils near a copper smelter by arsenic, antimony and lead". SpringerLink. 337-342.
- Cruz M. & Guzmán A. (2007). "La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales". España: Universidad de Sevilla.
- Csuros, M. & Csuros. (2002). "Environmental sampling and analysis for metals". Lewis Publisher. 372 pp.
- Custodio G. Emilio & Alcalá Francisco J. (2004). "La deposición atmosférica de cloruro al terreno en España". España: ResearchGate.
- Dalzell H. W. (1991). "Manejo del suelo, producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales". India: Food & Agriculture Org.
- Díez, M. (2006). "Valores de Fondo de Elementos Traza en Suelos de la Provincia de Granada". Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada. España. 200p.
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of América, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). "Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of América, Inc.". Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Doe Run Perú. (2015). "Desarrollo de La Oroya". Perú: <http://www.doerun.com.pe/content/pagina.php?pID=123>.
- DS N°013-2010-AG. (2010). "Reglamento para la ejecución de levantamiento de Suelos". Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.

- DS N°011-2017-MINAM. (2017). “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo”. Perú: El Peruano.
- DS N°003-2017-MINAM. (2017). “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias”. Perú: El Peruano.
- DS N°017-2009-AG. (2009). “Aprueban Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor”. Perú: El peruano. Ministerio del Ambiente.
- Dudka, S. & Adriano, D.C., (1997). “Environmental Impacts of Metal Ore Mining and Processing: A Review”. *Journal of Environmental Quality*, 26: 590-602.
- Faisal M. y Hasnain S. (2004). Microbia conversion of Cr (VI) into Cr (III) in industrial effluent. *Afr. J. Biotechnol.* 3, 1684-5315.
- Fassbender Hans W. (1975). “Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina”. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Programa de libros y textos. San José, Costa Rica.
- FAO., (2015). “Healthy soils are the basis for healthy food production”. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO., (2009). “Guía para la descripción de suelos – 4ta Edición”. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Pág. 38
- Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. (2003). “Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM2.5 and PM2.5-10 aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung”. *The Science of the Total Environment*, 308, 157-166.
- Fergusson, J.E. (1990). “The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects”. Pergamon press. USA.
- Fishman, J. (2003). “Overview: Atmospheric Chemistry”. Nueva Jersey: Handbook of Weather Climate and Water.
- Figueruelo Juan E. & Marino D. Martín. (2004). “Química física del ambiente y de los procesos medioambientales”. España: Editorial Reverte SA.
- Fyfe, W. S. (1981). “Introducción a la geoquímica”. Valencia: Ed. Reverte.
- Gallego P. Alejandrina, González F. Ignacio, Sánchez G. Benjamín, Fernández H. Pilar, Garcinuño M. Rosa, Bravo Y. Juan, Pradana P. Juan, Navarro P. Reyes y Durand A. Jesús. (2012).”Contaminación Atmosférica”. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid. Pág. 248-249.

- García L. Héctor. (2006). "Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión". Estudio de caso: Bogotá. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- García Vargas, Rubio Andrade, Rosales González, Goytia Acevedo, García Arenas, Candelas Rangel, Meza Velázquez y J. Caravanos. (2007). "Contaminación por metales en suelos de la ciudad de Torreón, Coahuila, México". Redalyc.
- Garric M. Pierre. (1979). Química general. España: Editorial Reverte S.A.
- Gary, J., & Handwerk, G. (1980). "Refino de petróleo: tecnología y economía". España: Editorial Reverte S.A.
- Galán H. Emilio & Romero B. Antonio. (2008). "Contaminación de Suelos por Metales Pesados". Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química.
- Giuffré Lidia, Raito Silvia y Pascale Carla. (2003). "Impacto Ambiental en Agrosistemas". Argentina: Editorial Facultad de Agronomía.
- Gliessman Stephen R. (2002). "Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible". Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Gómez G. Aurora. (1999). "La industria textil en México". Instituto Mora, El Colegio de Michoacán, El Colegio de México, Instituto de Investigaciones Históricas – UNAM.
- Gómez Marcelo M. (2006). "Introducción a la metodología de la investigación científica". Argentina: Editorial Brujas.
- Gómez Orea, Domingo. (2004). "Evaluación de Impacto Ambiental – Un instrumento preventivo para la Gestión Ambiental". Madrid – España: Ediciones Mundi Prensa.
- Gonzáles Sergio, Bergqvist Enrique e Ite D. Regina. (1984). "Contaminación con metales pesados del área vecina a una fundición de cobre. Catemu, V Región – Chile". Redalyc.
- Gough Larry P. (1993). "Understanding our fragile environment, lessons from geochemical studies. USGS Circular 1105. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Grytsyuk N., Arapis G., Perepelyatnikova L., Ivanova T. y Vynograds'ka V. (2006). "Heavy metals effects on forage crops yields and estimation of elements accumulation in plants as affected by soil". Sci. Total Environ. 354, 224-231.

- Grau Ríos, Mario; Grau Sáenz, María., (2006). “Riesgos ambientales en la industria”. UNED.
- Grijalbo F. Lucía. (2016). “Elaboración de inventarios de focos contaminantes”. UF1941. España: Tutor Formación. Pág. 66. 67 y 68.
- Gutiérrez, M. E. y M. Moreno. (1997). “Los residuos en la minería mexicana”. INE. México. Wastes of mining industry.
- Guevara D. Manuel. (2008). “Problemas Fundamentales en Meteorología”. Venezuela: Fondo Editorial de la Facultad de Humanidades y Educación.
- Hlavay J., Prohaska T., Weisz M., Wenzel W.W. y Stinger G.J. (2004). “Determination of trace elements bound to soil and sediment fractions. Pure Appl”. Chem.76, 415-442.
- Harmsen Teodoro E. (2005). “Diseño de Estructuras de Concreto Armado – 4ta Edición”. Perú: Fondo Editorial PUCP.
- Haygarth, P.M., & Jones, K.C., (1992). “Atmospheric deposition of metals to agricultural surfaces”. En: Adriano, D.C. (ed.) “Biogeochemistry”, pp. 249–276. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Hernández S. Roberto, Fernández C. Carlos y Baptista L. Pilar. (2014). “Metodología de la Investigación – 6ta Edición”. México: McGraw Hill.
- IGAC. (2015). “Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo de la U.P. La Oroya – Complejo Metalúrgico de La Oroya – Doe Run Perú SRL”. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. Ministerio de Energía y Minas.
- IGN. (2018). “Mapa de Ecorregiones del Perú”. Sistema de Información Geográfica. Perú.
- Instituto Agrario Nacional. (1973). “Cursos sobre informes técnicos y evaluos de finca”. Caracas: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.
- Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D. y Violante P. (2003). “Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples. City (Italy)”. Environ. Pollut. 124, 247–256.
- INE. (2005). “Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México, 1999”. México: Instituto Nacional de Ecología.
- INGEMMET. (2017). “Mapa Geomorfológico”. Geología. Perú: Sector Energía y Minas.
- INGEMMET. (2000). “Carta Geológica Nacional. Escala 1: 100,000”. Geología. Perú: Sector Energía y Minas.

- INRENA. (1995). "Mapa Ecológico del Perú – Guía Explicativa". República del Perú. Ministerio de Agricultura.
- INRENA (1996). "Mapa de Suelos del Perú". Dirección de Evaluación de Recursos Naturales. Perú: Ministerio del Ambiente.
- Jarup L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Brit. Med. Bull.* 68, 167-182.
- Jiménez M. Sebastián, S. (2002). "Centros comerciales de área urbana". Madrid: Published by ESIC Editorial.
- Jiménez B. Raimundo. (2017). "Introducción a la contaminación de suelos". España: Mundi-Prensa Libros.
- Jonathan MP, Ram Mohan V, Srinivasulu S (2004). "Geochemical variation of major and trace elements in recent sediments of the Gulf of Mannar the southeast coast of India". *Environ Geol* 45(4):466–480.
- Junhui Li, Ying Lu, Wei Yin, Haihua Gan, Chao Zhang, Xianglian Deng and Jin Lian. (2008). "Distribution of heavy metals in agricultural soils near a petrochemical complex in Guangzhou, China". *SpringerLink*. 365–375.
- Kass. Donald C. (1996). "Fertilidad de Suelos". México: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Kabata-Pendias Alina. (2004). Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *ResearchGate*, 122, 143-149.
- Kiely Gerard. (1999). "Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión". España: Mc Graw Hill. Pág. 131, 483, 454, 494.
- Koptsik, S., Koptsik, G., Livantsova, S., Eruslankina, L., Zhmelkova, T., Vologdina, Zh., (2003). "Heavy metals in soils near the nickel smelter: chemistry, spatial variation, and impacts on plant diversity". *Journal of Environmental Monitoring*, 5(3): 441-50.
- Krishna, A., & Govil, P. (2007). "Assessment of heavy metal contamination in soils around Manali industrial area, Chennai, Southern India". *SpringerLink*, 1465–1472.
- Krzysztof Loska, Danuta Wiechula and Irena Korus. (2003). "Metal contamination of farming soils affected by industry". *ScienceDirect*. 159– 165.

- Larson, W.E. y Pierce, F.J. (1991). "Conservation and Enhancement of Soil Quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world. En Proc. Of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res and Manage., Bangkok, Thailand.
- Legrand, P., Tiirne, M.-C., Sauve, S., Courchesne, E., (2005). "Speciation and bioavailability of trace metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in the rhizosphere of contaminated soils". En: Huang, RM. & Gobran, G.R. (eds.), "Biogeochemistry of Trace Elements in the Rhizosphere". 2005 Elsevier B.V.
- López Julián P. L. & Mandado Collado J. M. (2002). "Extracciones químicas secuenciales de metales pesados". Aplicación en ciencias geológicas. España: Estudios Geológicos.
- López P. Ana & González L. Iria. (2004). "Inglés marítimo. Instituto Universitario de Estudios Marítimos". España: Netbiblo SL.
- Lombardi S. Juan & Yuri P. Antonio. (1994). "La Revista Chilena de Cirugía". Chile: ETHICON.
- Malhotra Naresh K. (2004). "Investigación de mercados: un enfoque aplicado". México: Pearson Educación.
- Martínez C. Zoila., (2003). "Guías prácticas para situaciones específicas: manejo de riesgos y preparación para respuestas a emergencias mineras". Chile: United Nations Publications.
- Martínez M. Silvia. (2009). "Niveles de fondo y de referencia de metales pesados en suelos desarrollados de material parental volcánico, metamórfico y sedimentario en la Región de Murcia". España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Martí E. Alberto. (2003). "Clima y calidad ambiental". Reunión Nacional de Climatología. Universidad Santiago de Compostela.
- Mas, A. & Azcúe, JM., (1993). "Metales en sistemas biológicos". Promociones y Publicaciones Universitarias, S.A. LCT-74. Barcelona.
- Mason Benjamín J.. (1992). "Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies". US EPA, EPA/600/R-92/128. 169 pp.
- Martínez de Osés, F. (2006). "Meteorología aplicada a la navegación". España: Universidad Politécnica de Cataluña. Pág. 53.

- Martínez A. Ernesto & Díaz de M. M. Yolanda., (2004). “Contaminación atmosférica”. España: Universidad de Castilla La Mancha.
- MINAM. (2015). “Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: Memoria Descriptiva”. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural – Lima.
- Miller, W. P., and W. W. Mc-Fee. (1983). “Distribution of cadmium, zinc, copper, and lead in soils of industrial northwestern Indiana”. *J. Environ. Quality*. 12(1): 29-33.
- Miller G. Tyler (1994). “Ecología y medio ambiente”. México: Grupo Editorial Iberoamericana. Pág. 15, 867.
- Moreno J., Moral R., García J. L., Pascual J. A., y Bernal M. P. (2015). “Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión aeróbica”. España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Morgan, R.K. et al., (1993). “Copper accumulation in soils from two different-aged apricothorchards in Central Otago, New Zealand”. *International Journal of Environmental Studies*, 43: 161-167.
- Morral, F., Jimeno, E., & Molera, P. (1985). “Metalurgia general, Volumen 2”. España: Editorial Reverte S.A.
- Morales Raúl G. E. (2006). “Contaminación atmosférica urbana: episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago”. Chile: Editorial Universitaria.
- MPYLO. (2012). “Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Yauli – Junín 2012-2021”. Municipalidad Provincial de Yauli – La oroya.
- Müller G. (1969). “Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River”. *Geojournal*, 2:108 – 18.
- Müller G. (1981). “Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflus-se”. *Chemiker-Zeitung*; 6: 157 – 64.
- Navarro G. Gines & Navarro G. Simón. . (2013). “Química Agrícola. Química del suelo y de nutrientes esencial”. España: Mundi-Prensa Libros.
- Navarro-Pedreño J., Gómez I., Almendro-Candel M. B. and Meléndez-Pastor I. (2008). “Heavy metals in Mediterranean soils. In: Soil Contamination Research Trends, chapter 7”, 161-176. Nova Science Publishers, Inc.

- Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M.B., Jordán-Vidal, M.M., Mataix-Solera, J., García-Sánchez, E. (2003). "Mobility of cadmium, chromium and nickel through the profile of a calcisol treated with sewage-sludge in the southeast of Spain". *Env. Geology* 44, 545- 553.
- Newman, M.C. & Jagoe, C.H. (1994). "Inorganic toxicants-ligands and the bioavailability of metals in aquatic environments". In *Bioavailability-Physical, Chemical, and Biological Interactions*, SETAC Spec. Pub. Series, J.L. Hameling, P.F. Landrum, H.L. Bergman & W.H. Benson, eds. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 39-61.
- Nieto Martín Santiago & Rodríguez Conde María José. (2009). "Investigación y evaluación educativa en la sociedad del conocimiento". España: Ediciones Universidad de Salamanca.
- Nriagu, J.O., (1990). "Global metal pollution. Poisoning the biosphere". *Environment*, 32: 7-33.
- Núñez Solís Jorge. (1981). "Fundamentos de Edafología". Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Omar A, Al-Khashman (2004). "Heavy metal distribution in dust, Street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan". *Atmos Pollut* 38:6803–6812.
- Orozco B. Carmen, Pérez S. Antonio, Gonzales D. M. Nieves, Rodríguez V. Francisco y Alfayate B. José M. (2003). "Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química". España: Thompson. Pág. 325, 328, 331, 332.
- Orozco B. Carmen, Pérez S. Antonio, Gonzales D. M. Nieves, Rodríguez V. Francisco y Alfayate B. José M. (2008). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química*. Thomson Ed., Spain: 681 p.
- Orescanin, V., Mikelic, L., Lovrencic, I., Barisic, D., Mikulic, N., Lulic, S., (2006). "Environmental contamination assessment of the surroundings of the ex-ferrochromium smelter Dugi Rat, Croatia". *Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 41(11): 2547-55.
- Pacyna JM & Winchester JW. (1990). "Contamination of the global environment as observed in the Arctic". *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 1990; 82:149 – 57.

- Pettersson, O. (1976). "Heavy-metal ion uptake by plants from nutrient solutions with metal ion, plant species and growth period variations". *Plant and Soil* 45:445-459.
- Peizhong Li, Chunye Lin, Hongguang Cheng, Xiaoli Duan and Kai Lei. (2014). "Contamination and health risks of soil heavy metals around a lead/zinc smelter in southwestern China". *ScienceDirect*. 391–399.
- PIGARS. (2004). "Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos – Municipalidad Provincial de Yauli – La oroya". *Gestión* 2 003 – 2 006.
- PNUMA. (2003). "GEO América Latina y el Caribe: perspectivas del medio ambiente 2003". Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C. (2003). "Edafología para la agricultura y el medio ambiente". 3ª Edición. Ed. Mundi-prensa. Madrid. 960 p
- Puga Soraya; Sosa Manuel; Lebgue Toutcha, Quintana Cesar y Campos Alfredo. (2006). "Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera". *SciELO. Ecol. Apl.* v.5 n.1-2.
- Pulgar Vidal Javier. (1987). "Geografía del Perú. Las ocho regiones naturales". Novena edición. Editorial Inca S.A. Lima.
- Quevauviller P, Lavigne R, Cortez L. (1989). "Impact of industrial and mine drainage wastes on the heavy metal distribution in the drainage basin and estuary of the Sado River (Portugal)". *Environ Pollut*; 59:267 – 86.
- Rábago I. (2010). "Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y cadmio en suelos de la Comunidad de Madrid". Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Ramírez M. Jehyni & Corcuera V. Vannia. (2015). Diagnóstico de la calidad de suelo del área de influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya (CMLO)". Universidad Nacional de Trujillo. Escuela de Ingeniería Ambiental.
- Ramos C. Pedro., (2005). "Gestión del medio ambiente (1996-2005)". España: Universidad de Salamanca.
- Ramos B., R., L. Cajuste, D. Flores y N. García. (2001). "Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México". *Agrociencia* 35: 385-395.
- Ramos M. José J. (2009). "Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos en los invernaderos del poniente almeriense". España: Universidad Almería.

- Reimann C, de Caritat P. (2000). "Intrinsic flaws of element enrichment factors (EFs) in environmental geochemistry". *Environ Sci Technol*; 34: 5084 – 91.
- RE N°406. (2013). "Aprueba Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes y sus Anexos". Chile: Ministerio del Medio Ambiente.
- Rico M. Favio, López C. Rafael y Jaimes F. Ezequiel. (2001). "Daños a la salud por contaminación atmosférica". México: Instituto Mexicano del Seguro Social.
- RM N°315-96-EM/VMM. (1996). *Aprueba Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las Unidades Minero – Metalúrgicas*. Perú: Dirección General de Asuntos Ambientales.
- RM N°085-2014-MINAM. (2014). "Guía para el Muestreo de Suelos". Dirección General de Calidad Ambiental. Perú: Ministerio del Ambiente.
- Ross, S. M. (1994). "Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. In: Toxic metals in soil-plant systems. 1ra edition. ed. Ross S. M. Ed. John Wiley and Sons. Toronto, Canadá. p. 3-26.
- Roser B. Tomás. (2004). "La escuela rural: funcionamiento y necesidades". Madrid: Ciss Praxis.
- Rosales Posas Ramón. (2005). "Formulación y la evaluación de proyectos, con énfasis en el sector agrícola". Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Ruda de Schenquer E., Mongiello A. y Acosta A. (2004). "Contaminación y salud del suelo". Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- Ruiz Morales Álvaro & Morillo Zárate Luis Enrique. (2004). "Epidemiología clínica: investigación clínica aplicada". Colombia: Editorial medica panamericana.
- Sánchez Carlessi Hugo & Reyes Meza Carlos. (2015). "Metodología y Diseños en la Investigación Científica". Lima – Perú: 5ta Edición. Business Support Anneth SRL.
- Sánchez, M.I. (2003). "Determinación de metales pesados en suelos de Medina del Campo – Valladolid: contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia". Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Valladolid. España. 298p.
- Santabárbara S. Javier, López A. Raúl, Rubio A. Encarnación., (2015). "Cálculo del tamaño de la muestra en estudios biomédicos (ejercicios resueltos con Epidat 4.1)". España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.

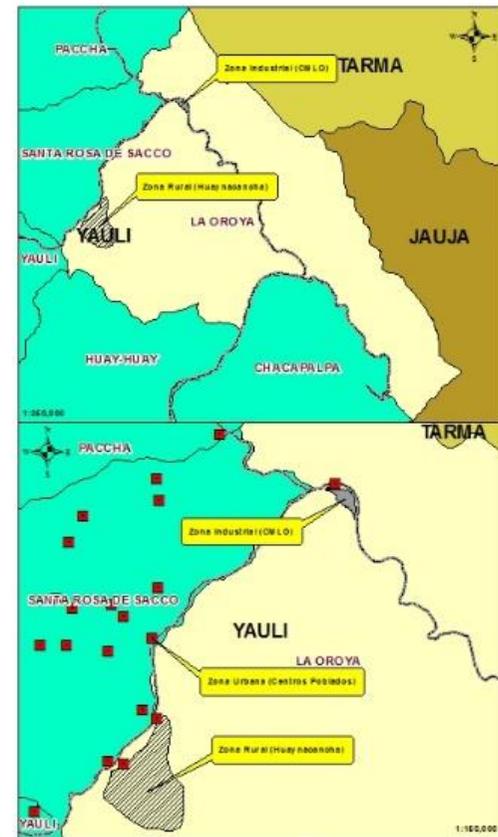
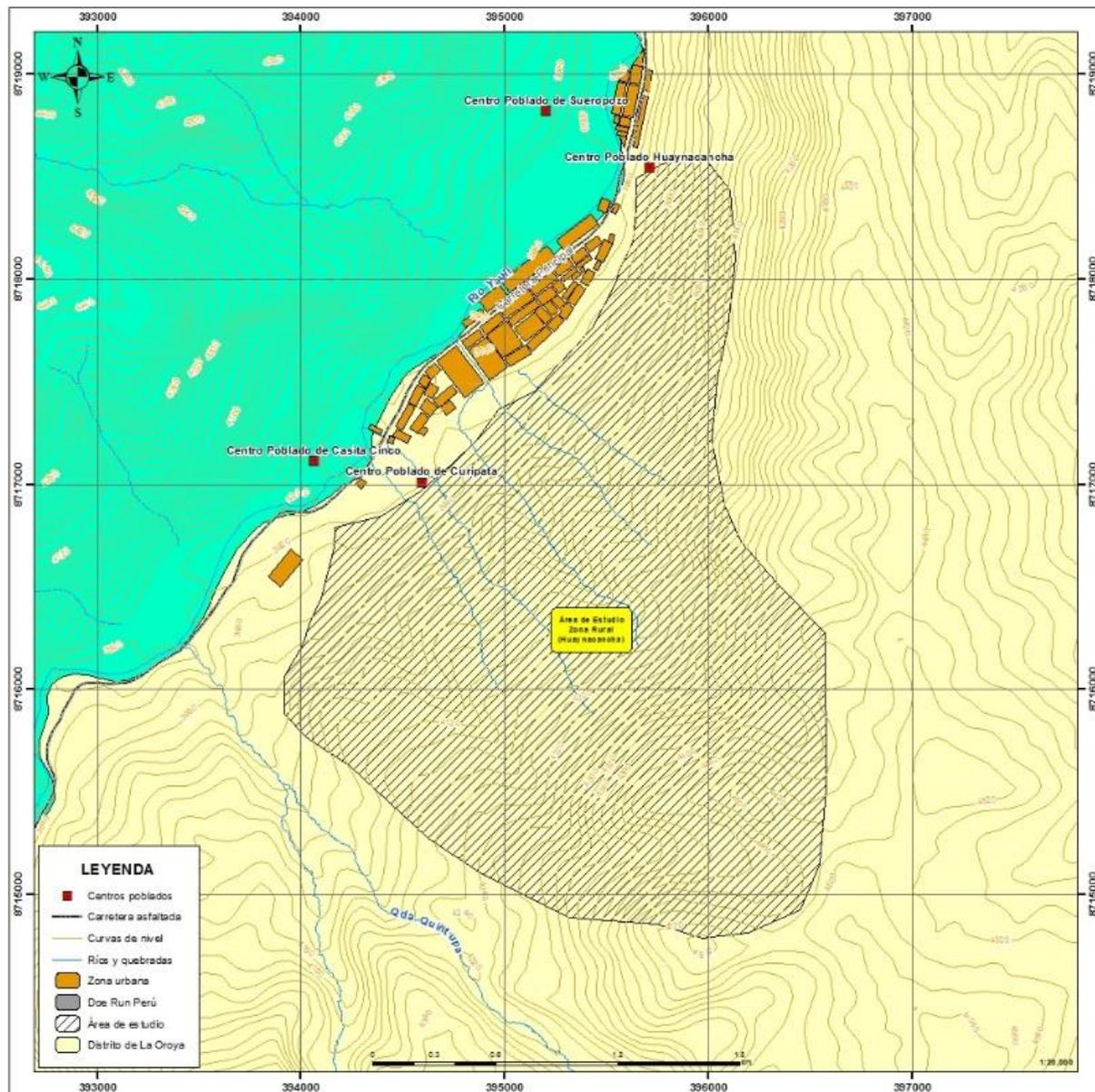
- Salinas José G. & Valencia Carlos A. (1983). "Oxisoles y Ultisoles en América Tropical II. Mineralogía y Características Químicas. Guía de Estudio". Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Salinas José G. & Ramiro García. (1985). "Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras". Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Sanín C. Nancy. (2002). "Construcción de un modelo tridimensional para ajuste de campos de viento y dispersión de contaminantes en la atmósfera". España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Schiff KC, & Weisberg SB. (1999). "Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments". *Mar Environ Res* 1999; 48:161 – 76.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. y Rogers, H.H. (1997). "Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle*" (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- SEA. (2017). "Guía sobre el Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental". Servicio de Evaluación Ambiental – Gobierno de Chile.
- SENAMHI. (2018). "Datos Históricos – Estación: La Oroya – 000604". Perú: Ministerio del Ambiente.
- Soledad R. Beatriz E. (2009). "La contaminación ambiental y sus consecuencias toxicológicas". España: Lulu.com.
- Soil Survey Staff. (1999). "Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil Surveys. 2nd edition". *Agricultural Handbook 436*. Natural Resources Conservation Service. USDA. Washington DC. USA.
- Soil Survey Manual. (2017). "Soil Science División Staff. United States Department of Agriculture". Pág. 199, 202.
- Soil Quality Index. (2007). "Quality Index 1.0. Technical Report". Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. CCME Soil.
- Spedding D. J. (1981). "Contaminación atmosférica". España: Ed. Reverte S.A. Pág. 1.
- Stocking Michael & Murnaghan Niamh. (2003). "Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra". España: Mundi-Prensa Libros.

- Sutherland RA. (2000). "Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii". *Environ Geol*; 39:611 – 27.
- Thompson, L., & Troeh, F. (1988). "Los Suelos y su Fertilidad". Barcelona: Ed. Reverte S.A.
- Universidad Pablo Olavide de Sevilla. (1997). "Dispersión de contaminantes atmosféricos: Modelo gaussiano de la columna de humo". España: Área de Química Física.
- United Nations. (2009). "Manual sobre la infraestructura geoespacial en apoyo de las actividades censales. Nueva York: United Nations Publications.
- USDA. (2013). "Planeta Tierra, Ambiente y Recursos Naturales". National Agricultural Library.
- USDA. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. 12 Ed. EE.UU - Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Valencia I. E. & B.A Hernández. (2002). "Muestreo de suelos, preparación de muestras y guía de campo". UNAM. 131 pp.
- Van Deuren, J., T Lloyd, S. Chetry, R., Liou Y Peck. (2002). "Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 4th Edition". Technology Innovation Office.
- Villarrubia L., Miguel. (2012). Ingeniería de la Energía Eólica. Nuevas Energías. España: Marcombo.
- Villegas V. Leonardo, Marroquín P. Roberto, Narro V. del Castillo, Sánchez Q. Rogil. (2011). "Teoría y praxis de la investigación científica. Tesis de Maestría y Doctorado". Lima: San Marcos.
- Vivanco Manuel, (2005). "Muestreo Estadístico. Diseño y Aplicaciones". Editorial Universitaria.
- Villegas Ana María & Jiménez Esteban. (2005). "Diseño de un sistema de biofiltración para la remoción de estireno". Colombia: SciELO.
- Vladislav Chrastny, Ales Vanek, Leslaw Teper, Jerzy Cabala, Jan Procházka, Libor Pechar, Petr Drahota, Vít Penízek, Michael Komárek and Martin Novák. (2011). "Geochemical position of Pb, Zn and Cd in soils near the Olkusz mine/smelter, South Poland: effects of land use, type of contamination and distance from pollution source". SpringerLink. 2517–2536.

- Waterlot C., Bidar G., Pelfrene A., Roussel H., Fourrier H. and Douay F. (2012). "Contamination, Fractionation and Availability of Metals in Urban Soils in the Vicinity of Former Lead and Zinc Smelters, France". *Pedosphere*. 143–159.
- Wilson Bob, Brennan Lang, Brian Pyatt F (2005). "The dispersion of heavy metals in the vicinity of Britannia Mine, British Columbia, Canadá". *Ecotoxicol Environ Saf* 60(3): 269–276.
- Xiao Qing, Zong Yutong and Lu Shenggao. (2015). "Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of Steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China". *ScienceDirect*. 377–385.
- Yasuda M., Miwa A. y Kitagawa M. (1995). "Morphometric studies of renal lesions in "Itai-itai" disease: chronic cadmium nephropathy". *Nephron* 69, 14-19.
- Zamora J. Carlos & Bao E. Raúl. (1972). "Regiones edáficas del Perú". Perú: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, ONERN.
- Zhonggen Li, Xinbin Feng, Guanghui Li, Xiangyang Bi, Guangyi Sun, Jianming Zhu, Haibo Qin and Jianxu Wang. (2010). "Mercury and other metal and metalloid soil contamination near a Pb/Zn smelter in east Hunan province, China". *ScienceDirect*. 160–166.

ANEXOS

Anexo A



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: **ÁREA DE ESTUDIO**

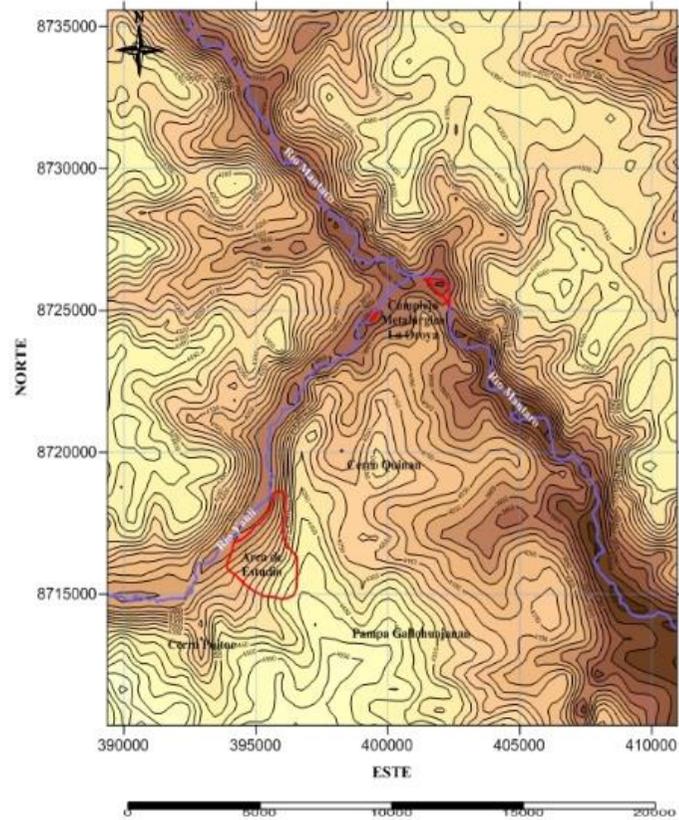
DATUM: **UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR**

FUENTE: **Instituto Geográfico Nacional (IGN)**

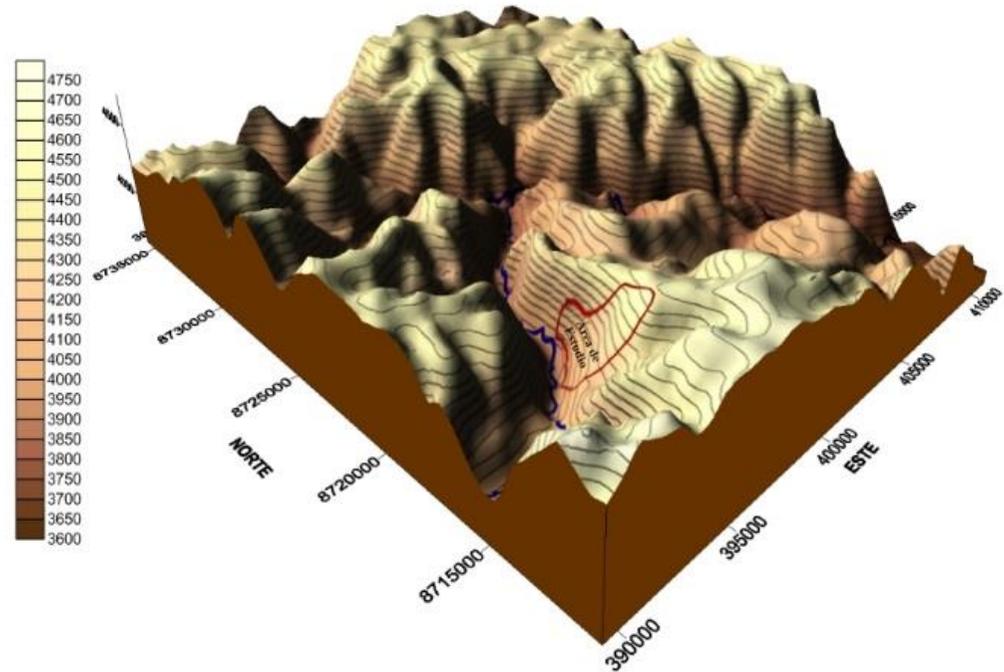
DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	1:20000	LÁMINA:	A-2
PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	La Oroya		
REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	2006/2018		

Mapa de Elevación

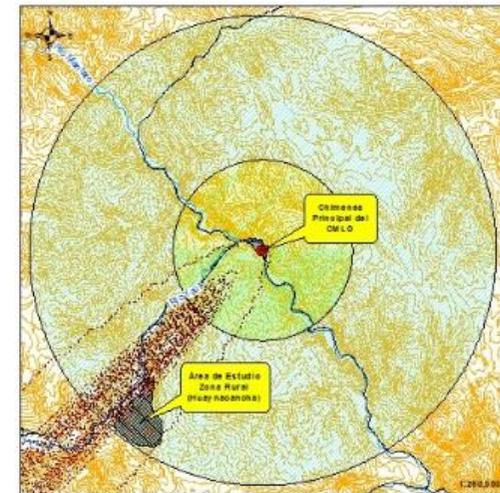
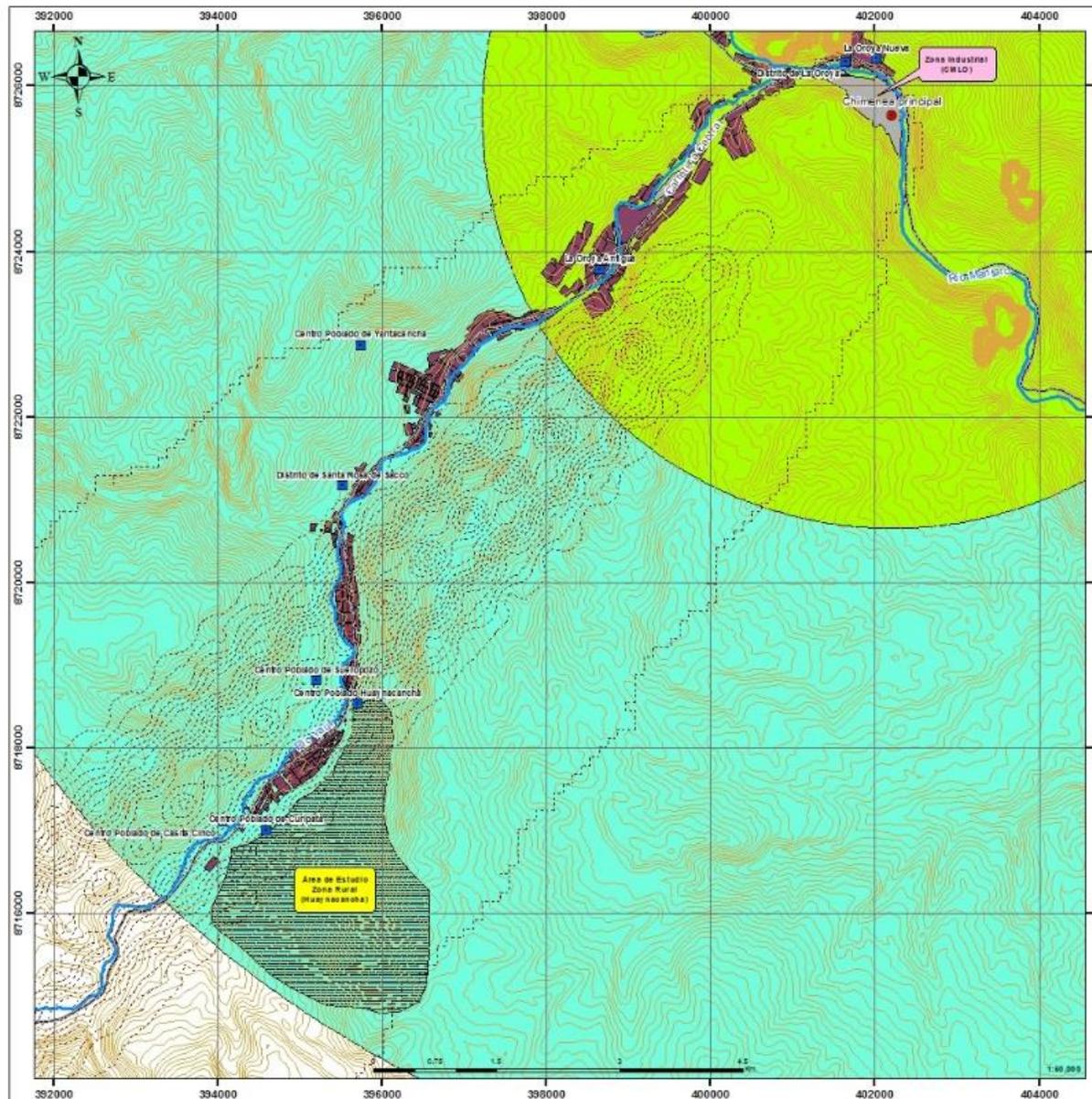
Vista en 2D



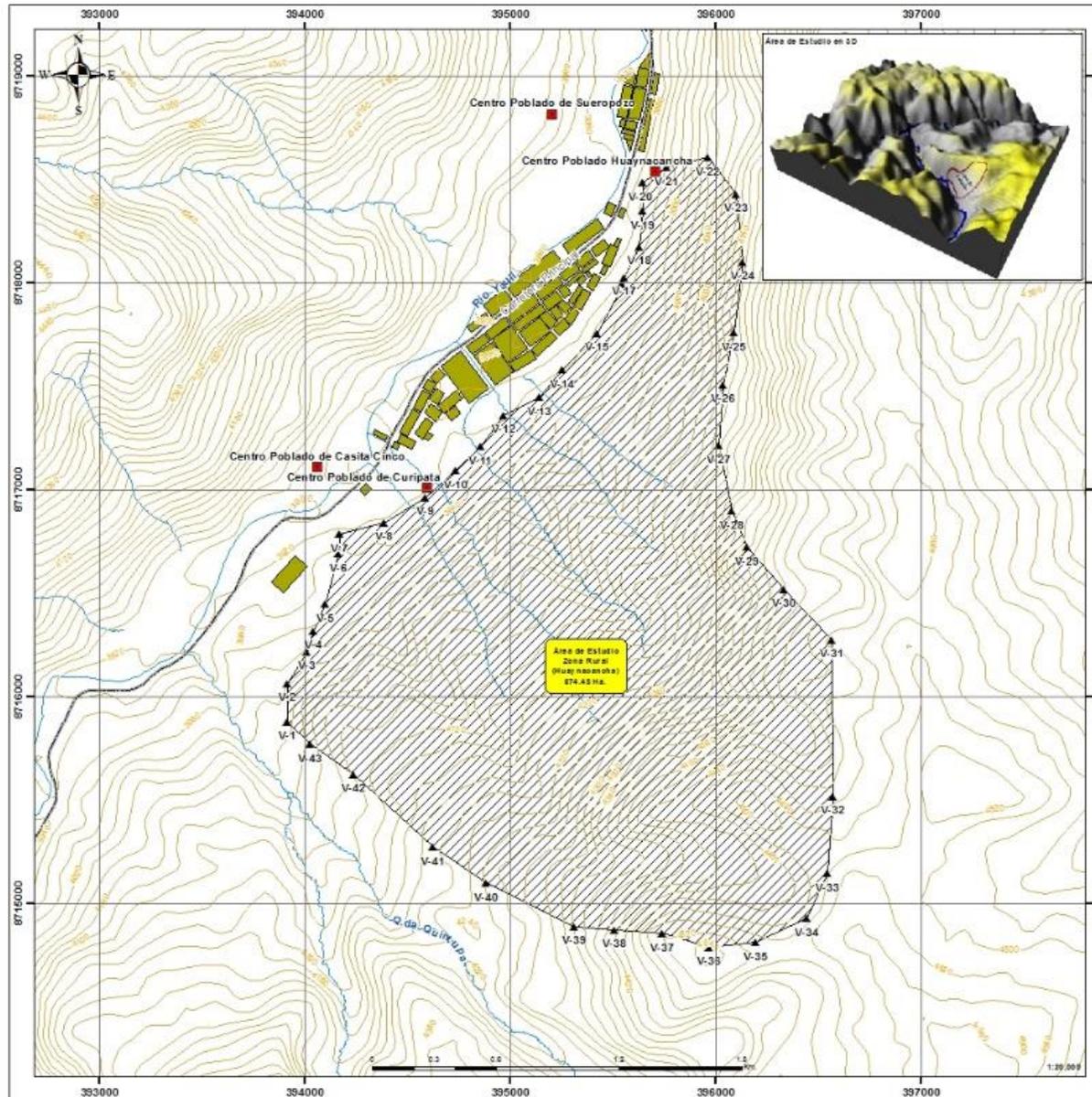
Vista en 3D



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO			
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"			
MAPA:	ELEVACIÓN		
DATUM:	UTM WGS 84 - ZONA 18 SUR		
FUENTE:	Instituto Geográfico Nacional (IGN)		
DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	
PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	
REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	
		La Oroya	LAMINA:
		20/06/2018	A-3



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO			
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huayracancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"			
MAPA: ÁREA DE INFLUENCIA			
DATUM: UTM WGS 84 - ZONA 18 SUR			
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)			
	DEPARTAMENTO:	ESCALA:	LÁMINA:
	PROVINCIA:	DISTRICTO:	A-4
	REALIZADO:	FECHA:	
	Junín	1:50000	
	Yauli	La Oroya	
	D.P.B.	2006/2018	



Vértices	Este	Norte	Vértices	Este	Norte
V-1	393918	8715880	V-23	396106	8718434
V-2	393919	8716066	V-24	396134	8718105
V-3	394010	8716220	V-25	396095	8717763
V-4	394042	8716321	V-26	396040	8717511
V-5	394101	8716449	V-27	396017	8717217
V-6	394165	8716693	V-28	396080	8716899
V-7	394169	8716789	V-29	396157	8716724
V-8	394389	8716844	V-30	396335	8716521
V-9	394587	8716967	V-31	396570	8716278
V-10	394738	8717096	V-32	396575	8715521
V-11	394861	8717212	V-33	396548	8715149
V-12	394969	8717363	V-34	396449	8714930
V-13	395147	8717452	V-35	396197	8714814
V-14	395256	8717583	V-36	395969	8714790
V-15	395427	8717760	V-37	395746	8714856
V-16	395550	8717995	V-38	395512	8714874
V-17	395557	8718030	V-39	395316	8714890
V-18	395632	8718179	V-40	394886	8715100
V-19	395646	8718351	V-41	394625	8715275
V-20	395646	8718490	V-42	394242	8715626
V-21	395766	8718562	V-43	394026	8715771
V-22	395968	8718609	V-44	393918	8715880

Legenda

- Centros poblados
- ▲ Vértices del área de estudio
- Carretera asfaltada
- Curvas de nivel
- Ríos y quebradas
- Zona urbana
- ▨ Área de estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

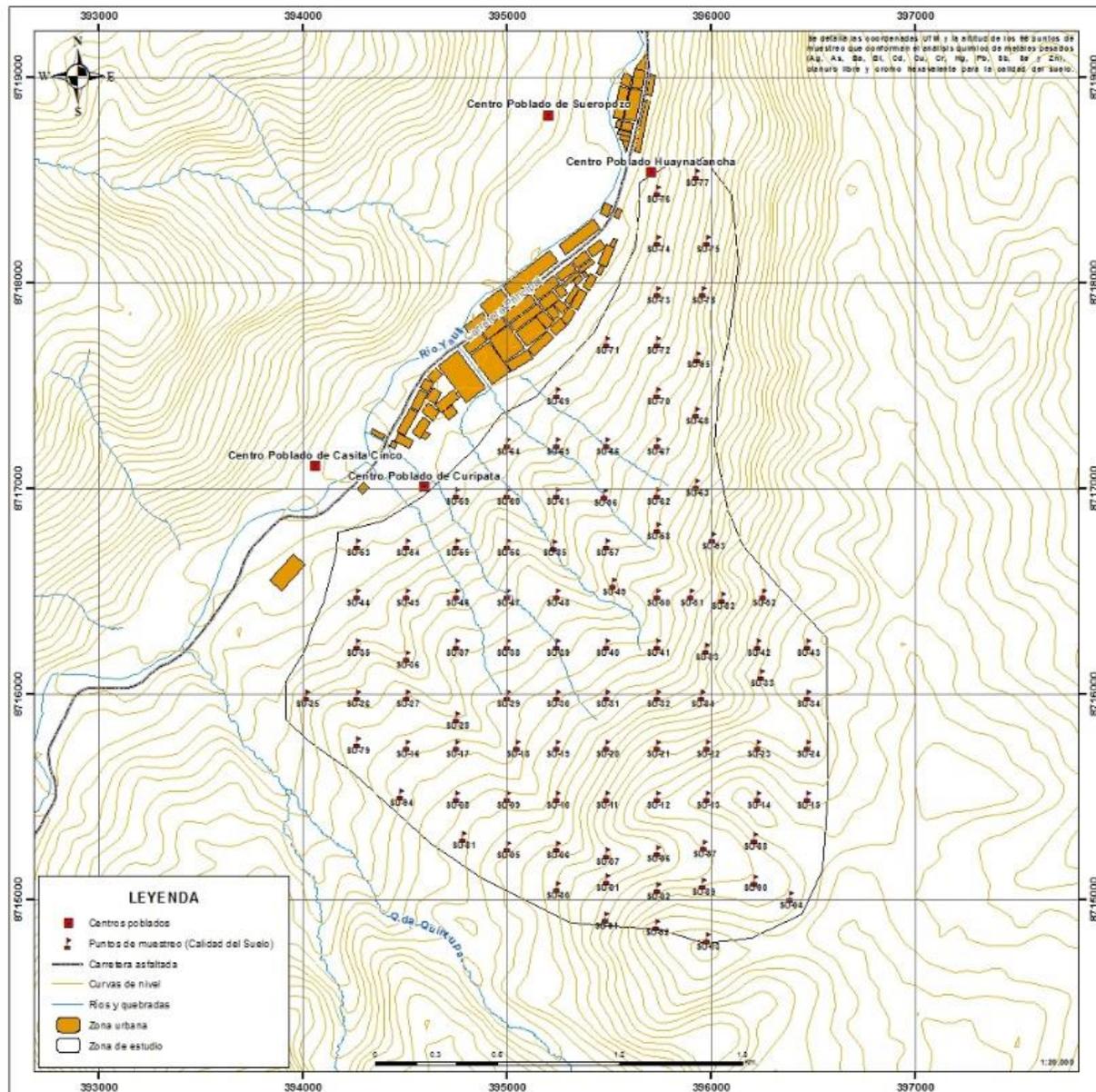
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO

DATUM: UTMWGS 84 - ZONA 18 SUR

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:20000	LÁMINA:
PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	A-5
REALIZADO: D.P.B.	FECHA: 2006/2018	



Se detallan las coordenadas UTM y la altitud de los puntos de muestreo que conforman el análisis químico de metales pesados (Pb, As, Ba, Cu, Cd, Ni, Cr, Hg, Mn, Zn, Fe y Zn), utilizando sobre y sobre el sistema de muestreo para la zonificación del suelo.

Estación	Este	Norte	Altitud	Estación	Este	Norte	Altitud
SU-01	395497	8715009	4367	SU-25	394033	8715006	4043
SU-02	395742	8715059	4420	SU-26	394269	8715096	4076
SU-03	395988	8714814	4532	SU-27	394515	8715096	4059
SU-04	396394	8715014	4474	SU-28	394760	8715800	4115
SU-05	395008	8715260	4280	SU-29	395006	8715006	4141
SU-06	395251	8715260	4282	SU-30	395251	8715006	4178
SU-07	395497	8715250	4341	SU-31	395497	8715096	4213
SU-08	394760	8715505	4190	SU-32	395742	8715096	4261
SU-09	395006	8715505	4212	SU-33	396234	8716006	4388
SU-10	395251	8715505	4253	SU-34	396479	8715006	4425
SU-11	395497	8715505	4351	SU-35	394269	8716242	4028
SU-12	395742	8715505	4433	SU-36	394515	8716187	4047
SU-13	395988	8715505	4469	SU-37	394760	8716242	4095
SU-14	396234	8715505	4492	SU-38	395006	8716242	4110
SU-15	396479	8715505	4448	SU-39	395251	8716242	4134
SU-16	394515	8715751	4135	SU-40	395497	8716242	4160
SU-17	394760	8715751	4151	SU-41	395742	8716242	4176
SU-18	395056	8715751	4178	SU-42	396234	8716242	4372
SU-19	395251	8715751	4281	SU-43	396479	8716242	4424
SU-20	395497	8715751	4290	SU-44	394269	8716487	3949
SU-21	395742	8715751	4357	SU-45	394515	8716487	4016
SU-22	395988	8715751	4397	SU-46	394760	8716487	4055
SU-23	396234	8715751	4410	SU-47	395006	8716487	4080
SU-24	396479	8715751	4414	SU-48	395251	8716487	4098

Estación	Este	Norte	Altitud	Estación	Este	Norte	Altitud
SU-49	395529	8716640	4116	SU-73	395742	8717961	3976
SU-50	395742	8716487	4169	SU-74	395742	8718207	3957
SU-51	395908	8716487	4203	SU-75	395908	8718207	4062
SU-52	396264	8716487	4343	SU-76	395742	8718452	3928
SU-53	394269	8716793	3939	SU-77	395936	8718530	4010
SU-54	394515	8716793	3993	SU-78	395968	8717961	4075
SU-55	394760	8716793	3993	SU-79	394269	8715766	4110
SU-56	395006	8716793	4044	SU-80	395251	8715064	4323
SU-57	395497	8716793	4099	SU-81	394790	8715307	4222
SU-58	395742	8716813	4125	SU-82	394603	8716470	4264
SU-59	394760	8716979	3944	SU-83	395980	8716223	4262
SU-60	395006	8716979	3970	SU-84	395962	8715096	4291
SU-61	395251	8716979	4038	SU-85	395336	8716729	4031
SU-62	395742	8716979	4112	SU-86	395744	8715241	4379
SU-63	395935	8717021	4159	SU-87	395971	8715266	4424
SU-64	395006	8717224	3945	SU-88	396210	8715302	4473
SU-65	395251	8717224	3977	SU-89	395968	8715080	4434
SU-66	395497	8717224	4023	SU-90	396211	8715068	4444
SU-67	395742	8717224	4074	SU-91	395492	8714914	4409
SU-68	395933	8717370	4112	SU-92	395739	8714881	4501
SU-69	395251	8717470	3949	SU-93	396011	8716765	4237
SU-70	395742	8717470	4048	SU-94	394483	8715514	4149
SU-71	395497	8717715	3952	SU-95	395939	8717645	4077
SU-72	395742	8717715	4004	SU-96	395484	8716976	4048

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

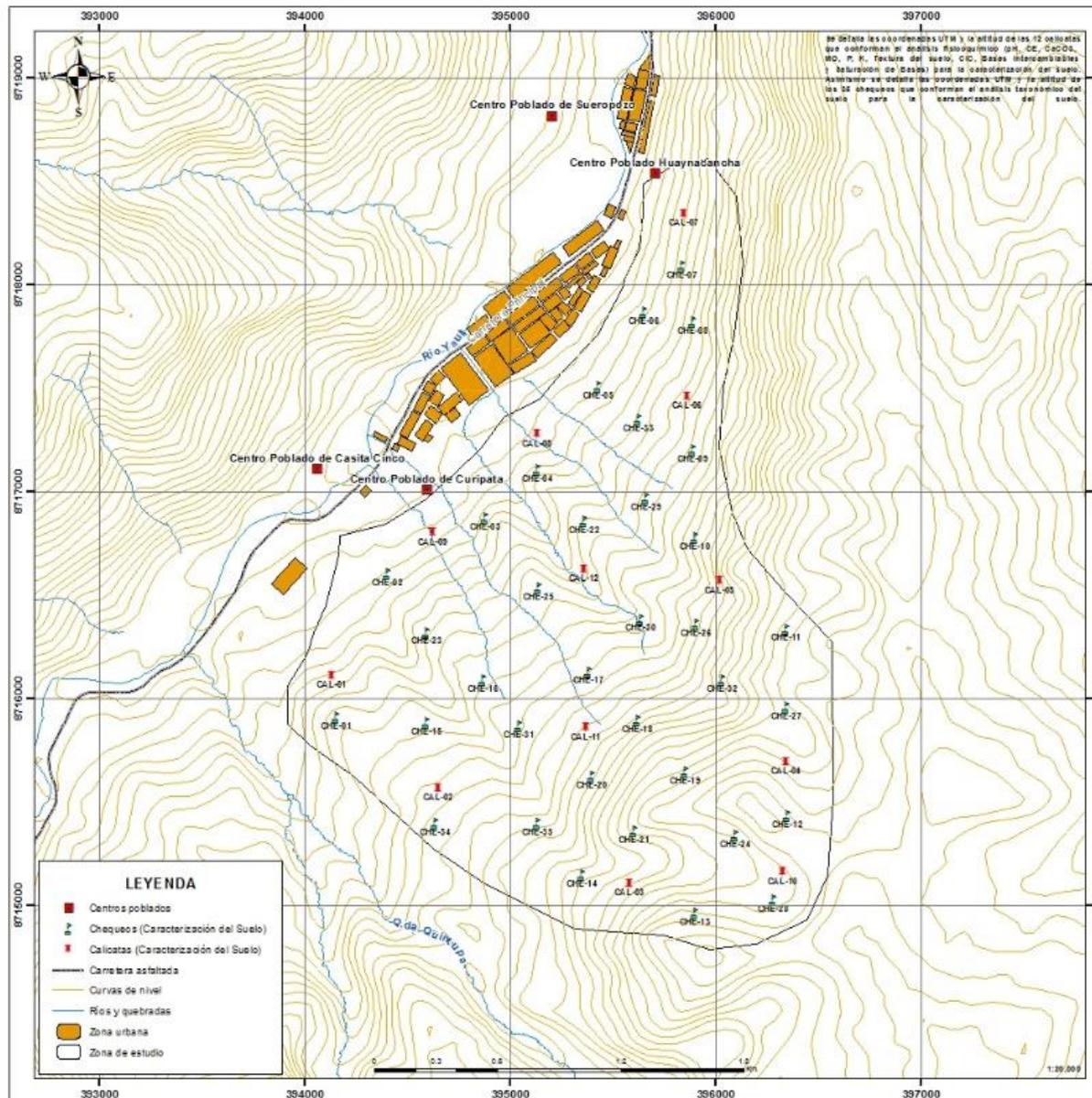
MAPA: PUNTOS DE MUESTREO

DATUM: UTMWGS 84 - ZONA 18 SUR

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

	DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	1:20000	
	PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	La Oroya	
	REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	2006/2018	

A-6



Estación	Este	Norte	Altitud	Estación	Este	Norte	Altitud
CHE-01	394156	8715908	4088	CHE-25	395140	8716536	4090
CHE-02	394402	8716607	3968	CHE-26	395910	8716861	4215
CHE-03	394878	8716877	3989	CHE-27	396346	8715956	4401
CHE-04	395132	8717107	3988	CHE-28	396283	8715027	4454
CHE-05	395434	8717512	3965	CHE-29	395664	8716972	4095
CHE-06	395656	8717869	3963	CHE-30	395640	8716385	4136
CHE-07	395838	8718091	4001	CHE-31	395044	8715869	4162
CHE-08	395894	8717821	4052	CHE-32	396034	8716091	4311
CHE-09	395894	8717202	4117	CHE-33	395629	8717350	4027
CHE-10	395902	8716782	4185	CHE-34	394638	8715396	4187
CHE-11	396346	8716337	4392	CHE-35	395134	8715399	4243
CHE-12	396354	8715432	4475				
CHE-13	395902	8714964	4475	CAL-01	394133	8716108	4024
CHE-14	395354	8715146	4330	CAL-02	394654	8715564	4172
CHE-15	394592	8715885	4118	CAL-03	395587	8715101	4381
CHE-16	394870	8716091	4118	CAL-04	396345	8715690	4422
CHE-17	395386	8716131	4166	CAL-05	396024	8716567	4252
CHE-18	395624	8715895	4276	CAL-06	395865	8717457	4077
CHE-19	395854	8715647	4407	CAL-07	395848	8718342	3982
CHE-20	395402	8715623	4285	CAL-08	395133	8717275	3054
CHE-21	395608	8715561	4399	CAL-09	394624	8716800	3956
CHE-22	395362	8716861	4063	CAL-10	396333	8715157	4463
CHE-23	394592	8716321	4058	CAL-11	395375	8715856	4223
CHE-24	396100	8715337	4457	CAL-12	395364	8716623	4072

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

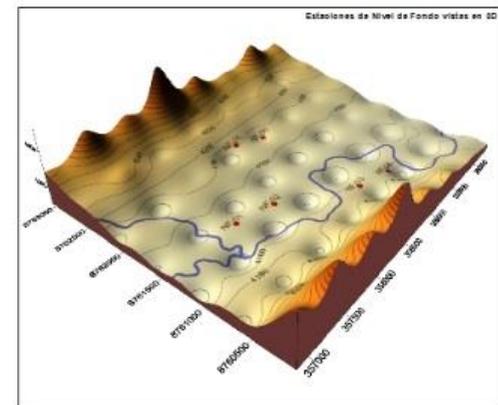
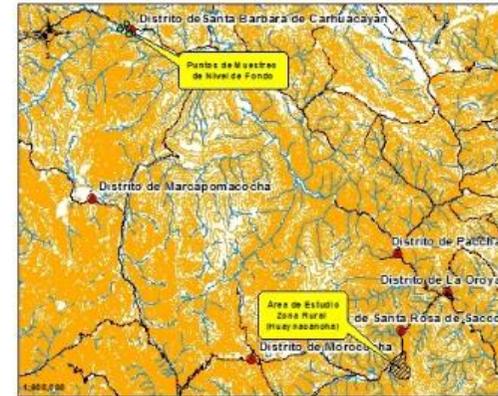
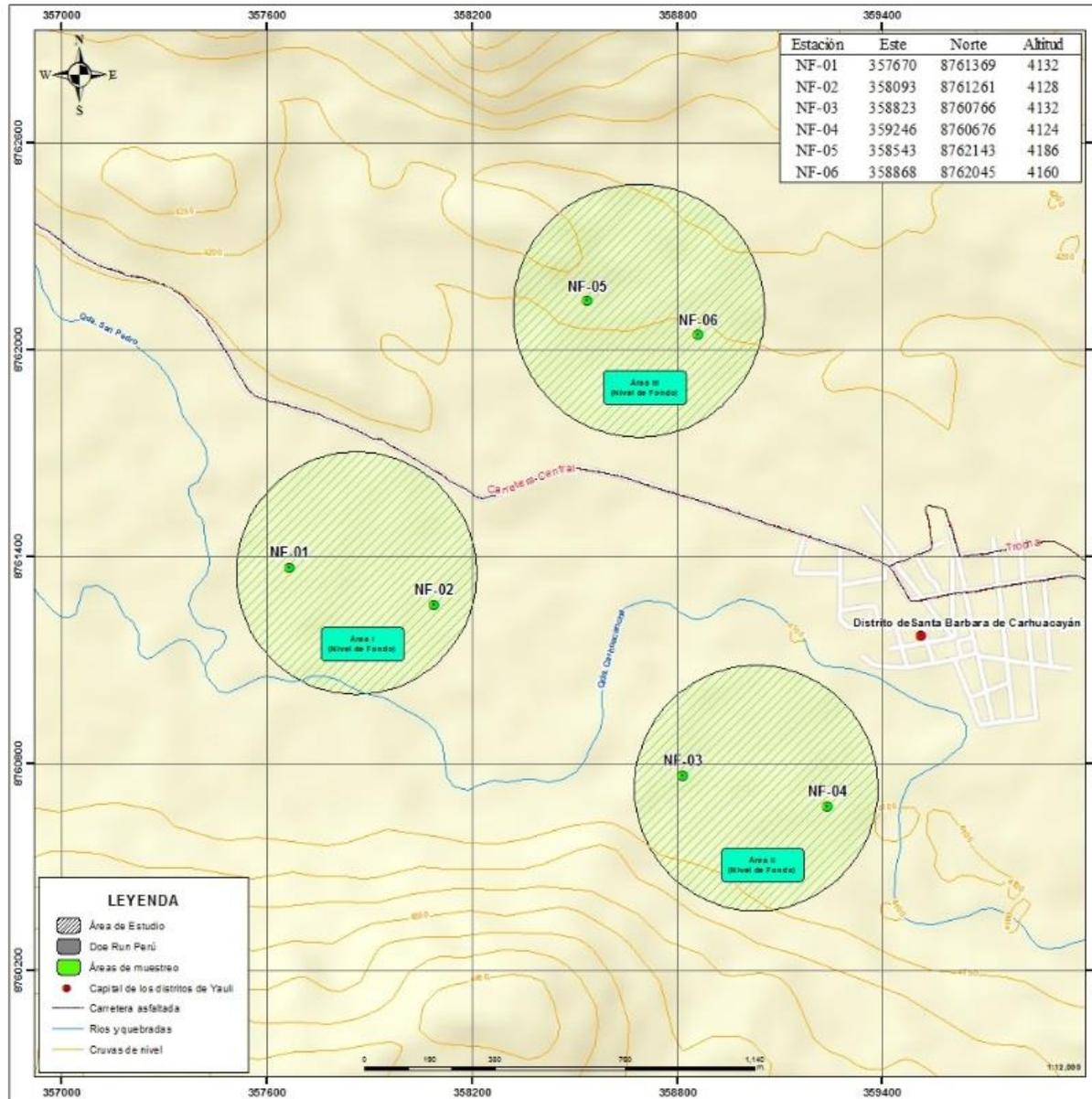
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: CALICATAS Y CHEQUEOS

DATUM: UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

	DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	1:20000	LÁMINA: A-7
	PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	La Oroya	
	REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	2006/2018	



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

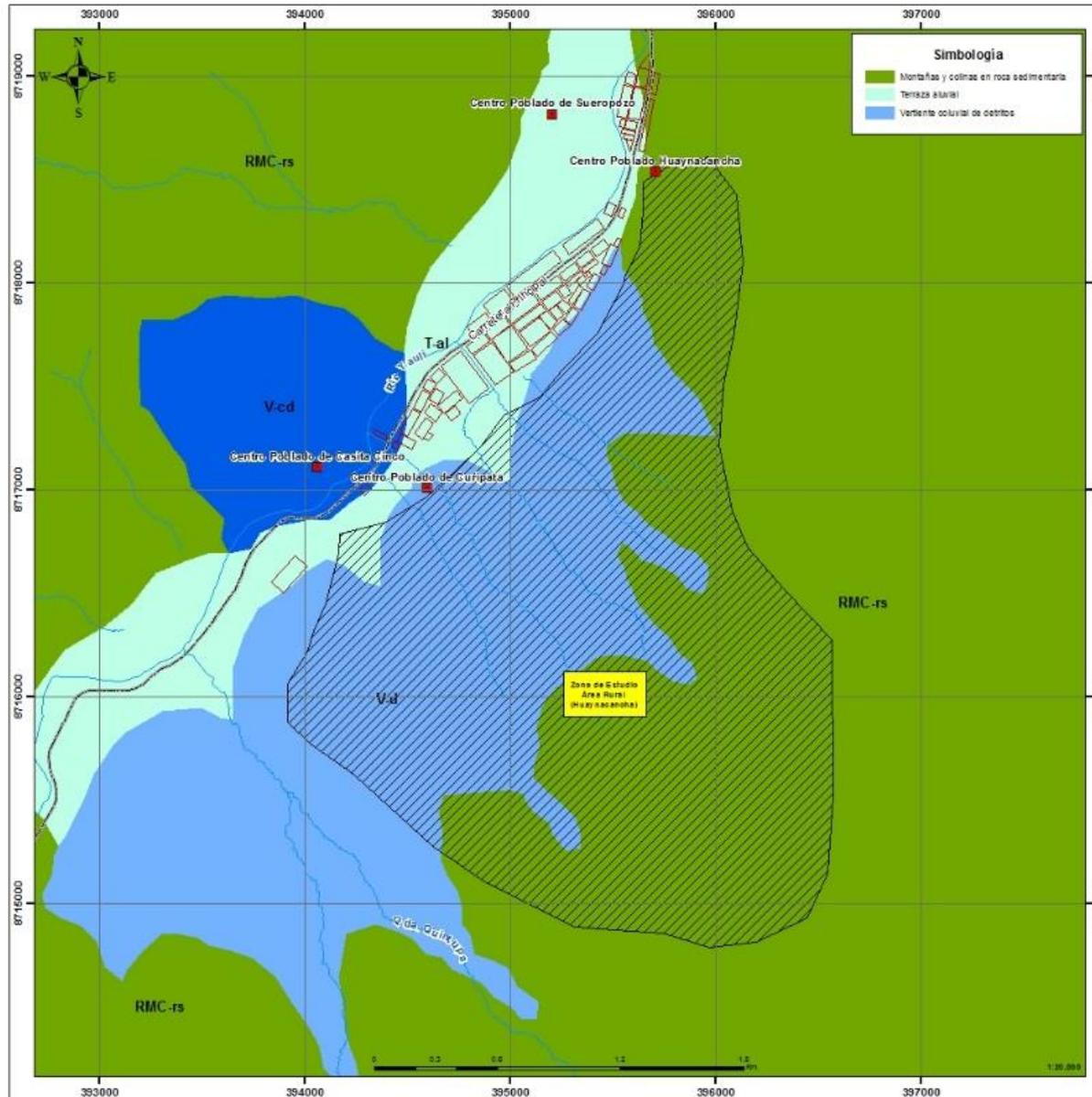
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huayracancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: PUNTOS DE MUESTRO DE NIVEL DE FONDO

DATUM: UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

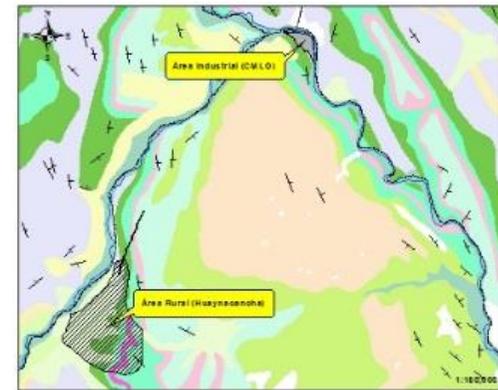
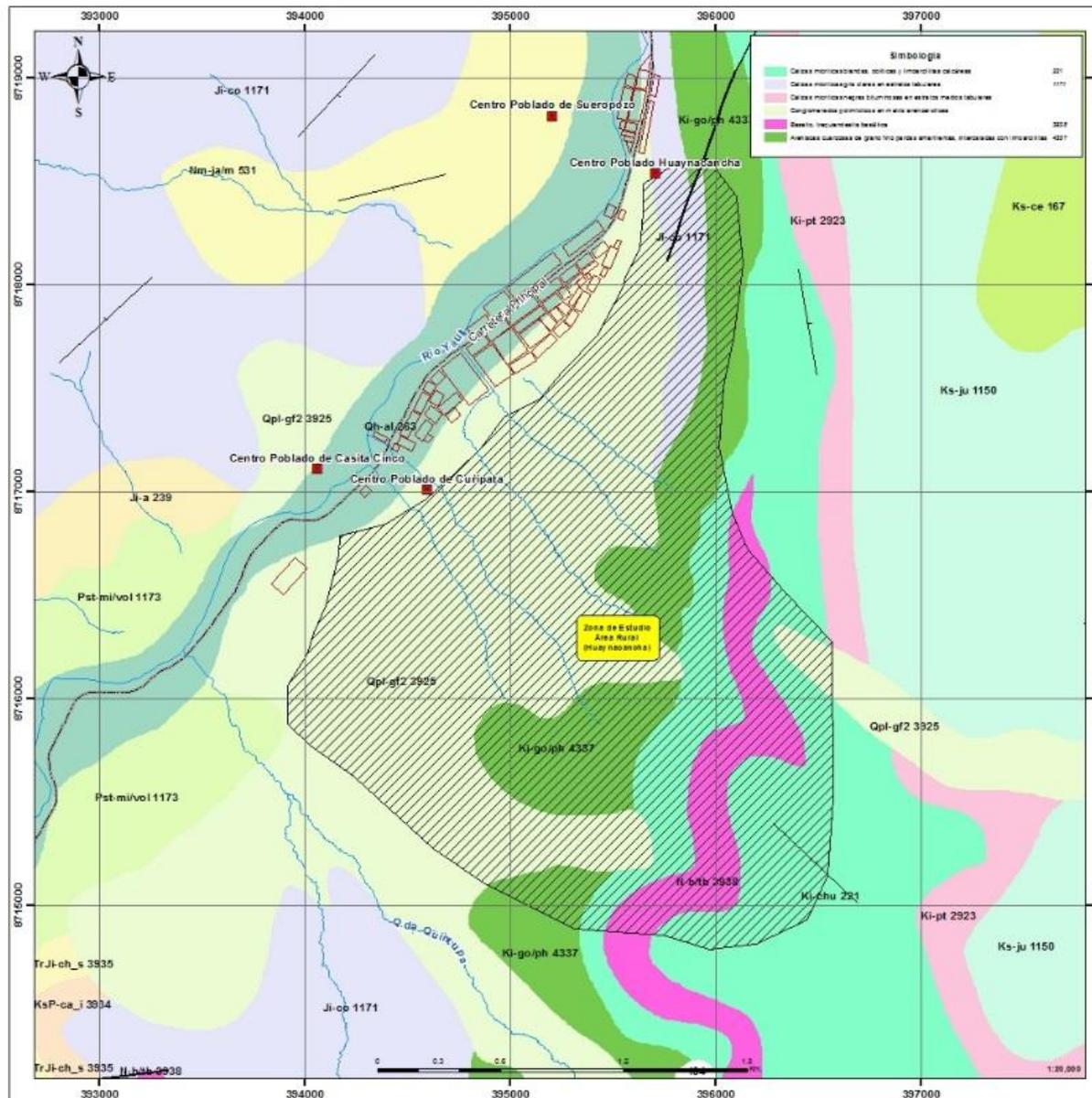
DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	1:12000	LÁMINA:	A-8
PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	La Oroya		
REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	2006/2018		



Simbología	Descripción
RMC-rs	Montañas y colinas en roca sedimentaria.
V-d	Vertiente coluvial de detritos.
T-al	Terraza aluvial.



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO			
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huayracancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"			
MAPA:		GEOMORFOLOGÍA	
DATUM:		UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR	
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)			
DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	1:20000
PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	La Oroya
REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	21/06/2018
			LAMINA A-9



Simbología	Descripción
Qpl-gf2	Conglomerados porfíricos en matriz arenarolítica.
Ki-go-ph	Areniscas cuarzosas de grano fino pardas amarillentas, intercaladas con arenarolitas.
N-b/b	Basalto, trachandita basáltica.
Ki-cho	Calizas micríticas blancas, oolíticas y micarolíticas calcáreas.
Ki-pt	Calizas micríticas negras bituminosas en estratos medios tabulares.
Ji-co	Calizas micríticas gris claras en estratos tabulares.

Leyenda

- Centros poblados
- Ríos y quebradas
- Carretera asfaltada
- Área urbana
- Doe Run Perú
- ▨ Zona de estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

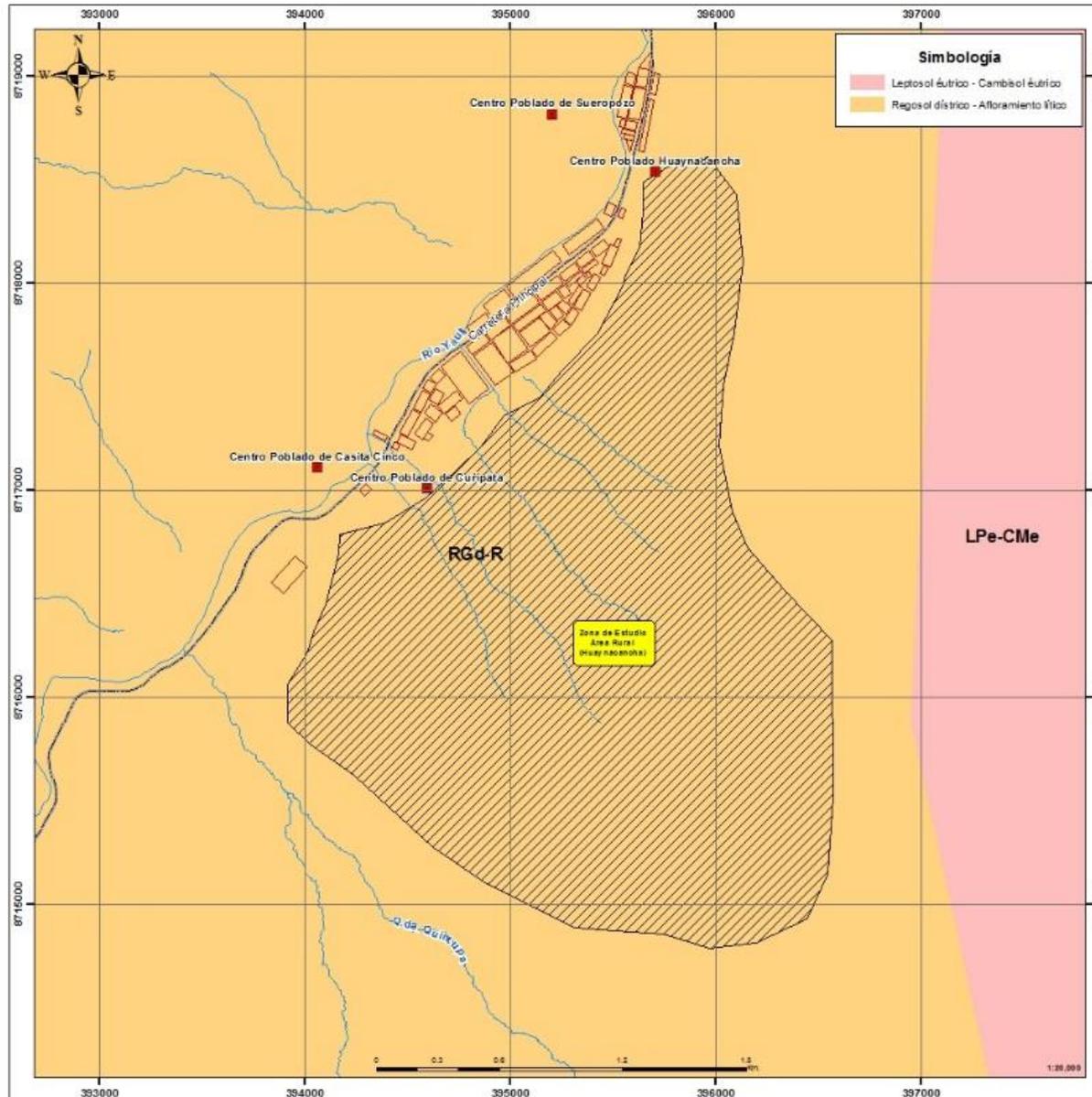
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: GEOLOGÍA

DATUM: UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR

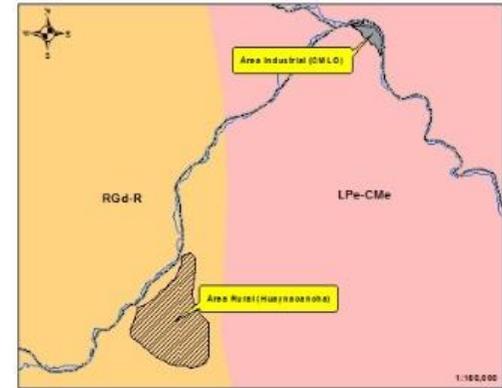
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:20000	LÁMINA:
PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	A-10
REALIZADO: D.P.B.	FECHA: 21/06/2018	



Simbología

- Leptosol éutrico - Cambisol éutrico
- Regosol distrito - Aforamiento lítico



Simbología	Descripción
RGd-R	Regosol distrito - Aforamiento lítico

LEYENDA

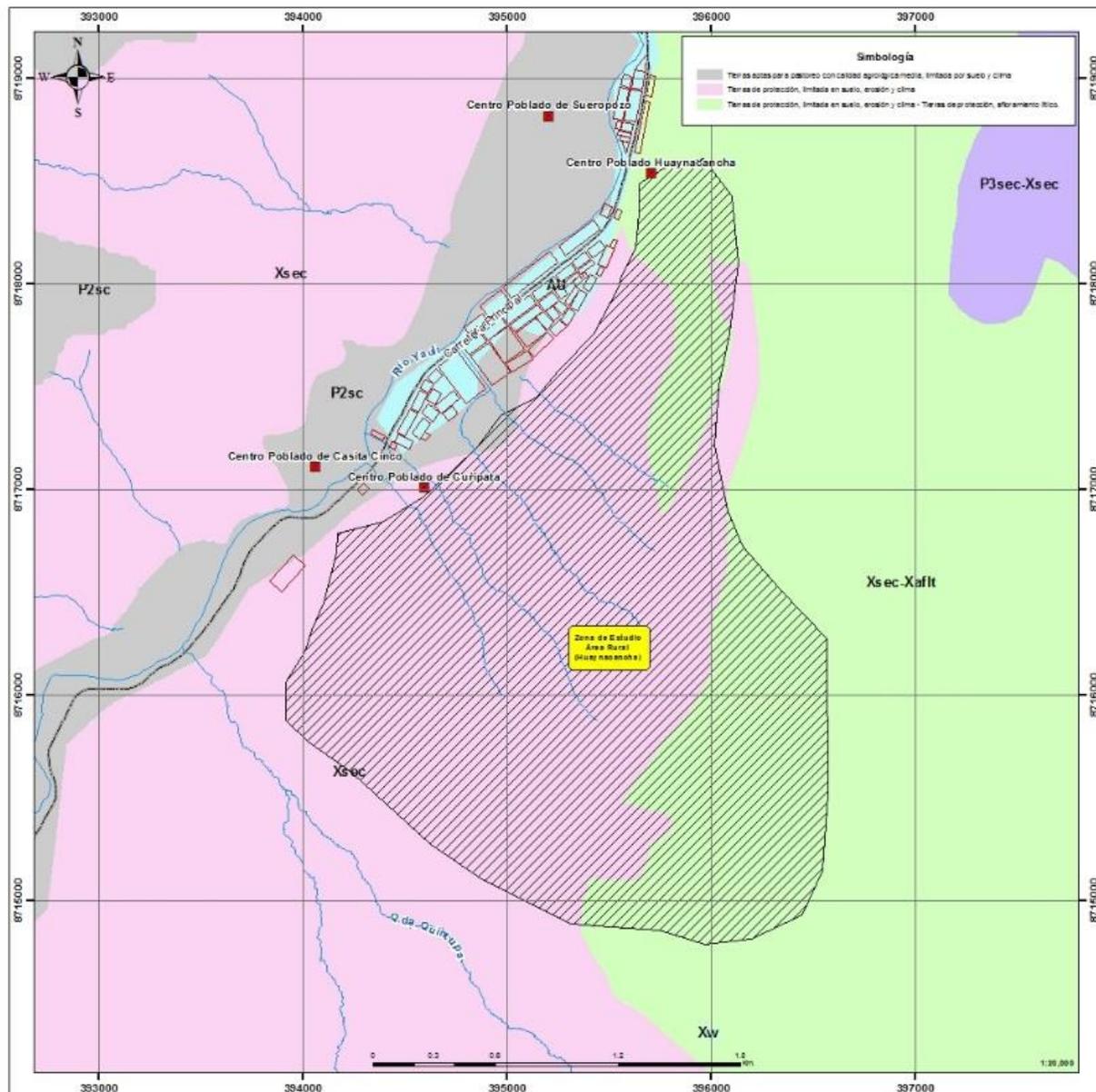
- Centros poblados
- Ríos y quebradas
- Carretera asfaltada
- Área urbana
- Doe Run Perú
- Zona de estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: CLASIFICACIÓN DE SUELOS
 DATUM: UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR
 FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:20000	LÁMINA:
PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	A-11
REALIZADO: D.P.B.	FECHA: 21/06/2018	



Simbología	Descripción
P2sc	Tierras aptas para pastoreo con calidad agrícola media, limitada por suelo y clima.
Xsec	Tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima.
Xsec-Xaft	Tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima - Tierras de protección, afloramiento lítico.

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

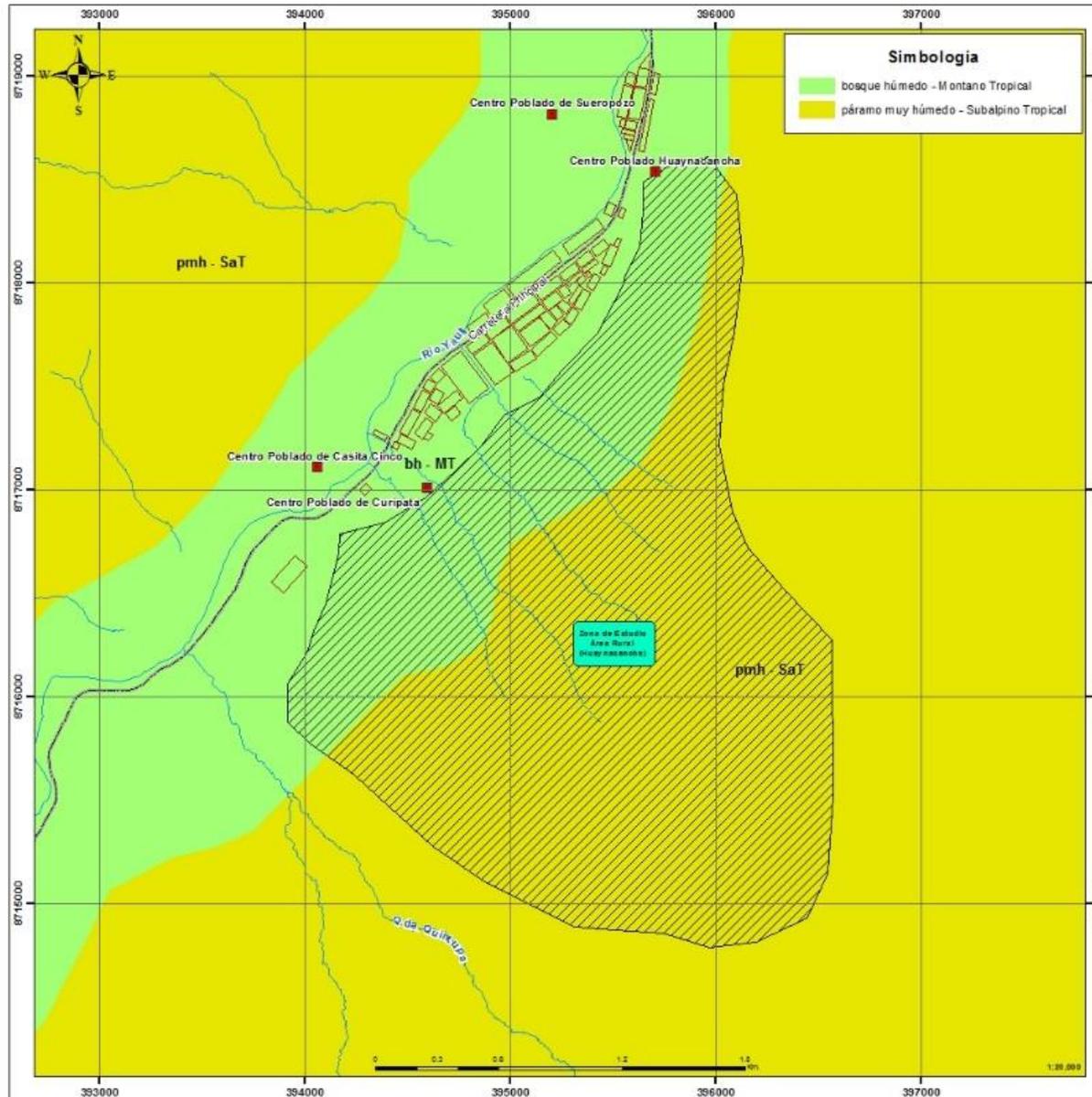
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LAS TIERRAS

DATUM: UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR

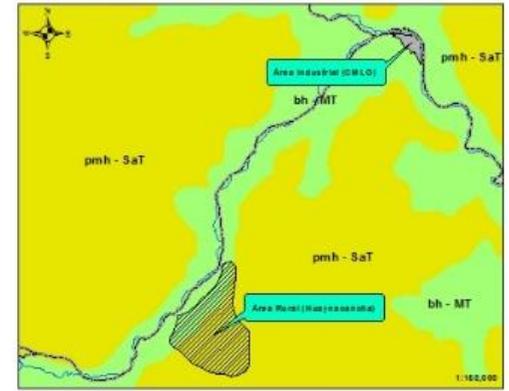
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:20000	LÁMINA:
PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	A-12
REALIZADO: D.P.B.	FECHA: 21/06/2018	



Simbología

■	bosque húmedo - Montano Tropical
■	páramo muy húmedo - Subalpino Tropical



Simbología	Descripción
bh-MT	bosque húmedo - Montano Tropical.
pmh-SaT	páramo muy húmedo - Subalpino Tropical.

Legenda

■	Centros poblados
	Ríos y quebradas
	Carretera asfaltada
	Área urbana
	Doe Run Perú
	Zona de estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

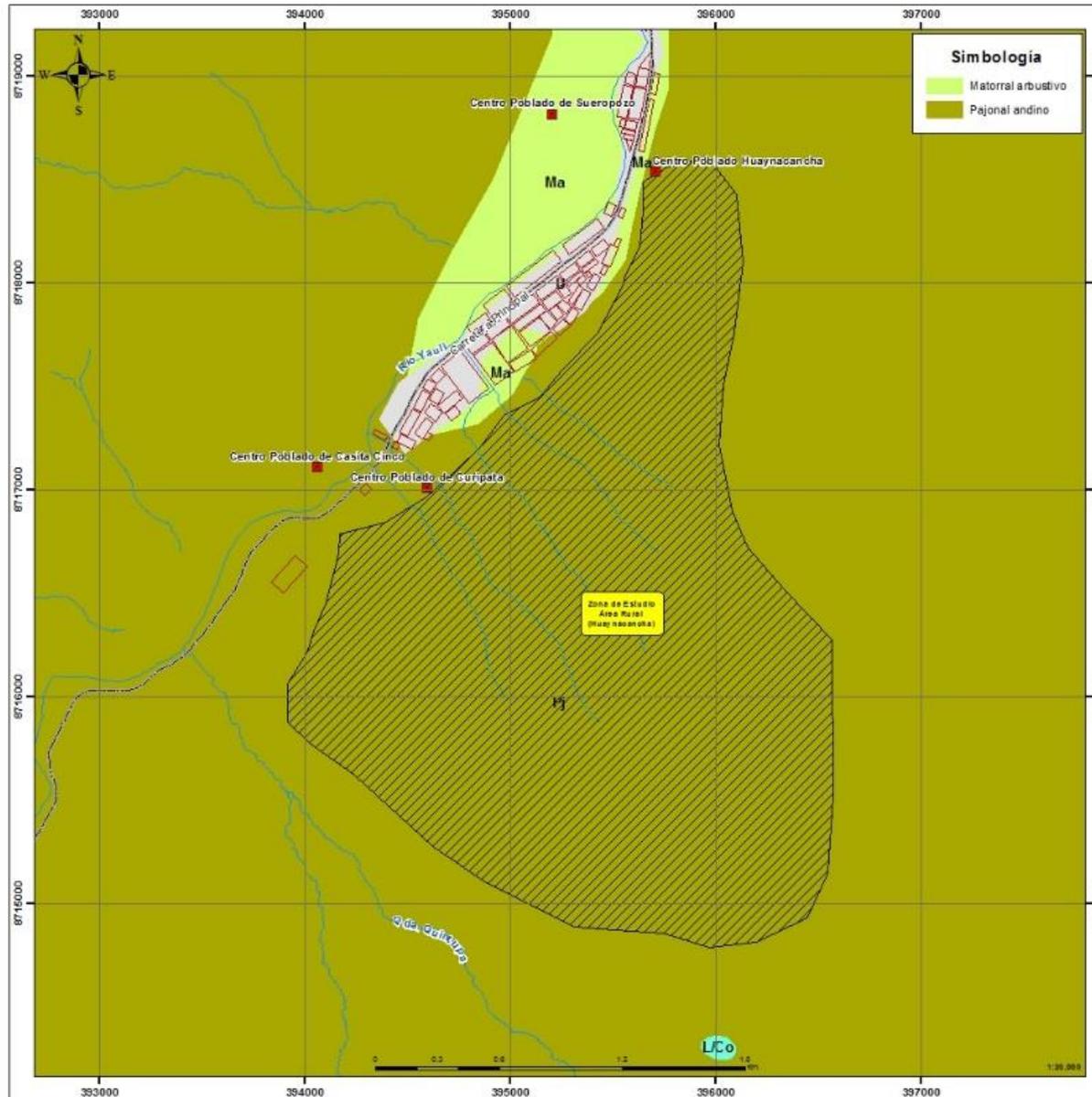
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynañacha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: ZONAS DE VIDA

DATUM: UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:20000	LÁMINA:
PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	A-13
REALIZADO: D.P.B.	FECHA: 21/06/2018	



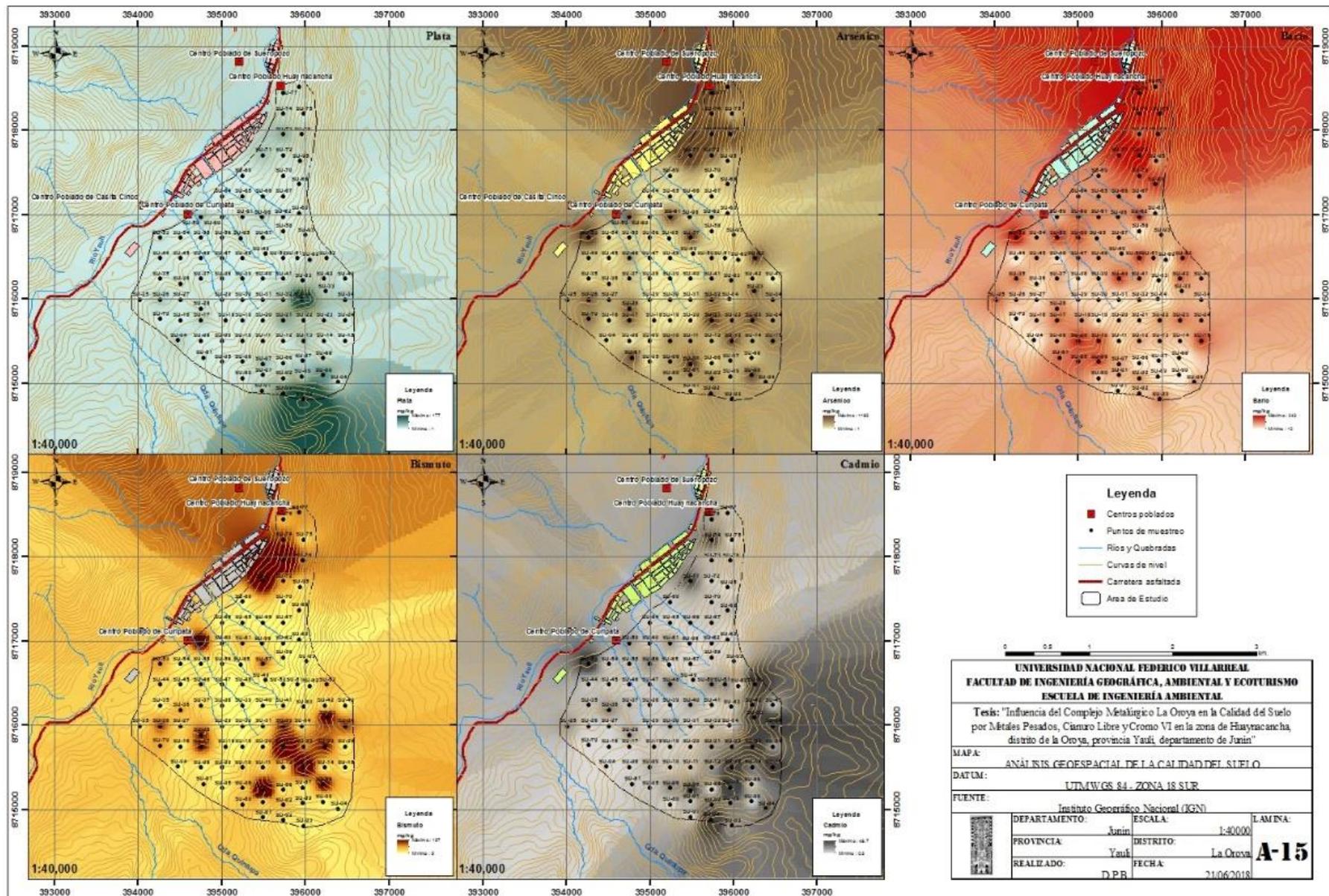
Simbología	Descripción
Pj	Pajonal andino

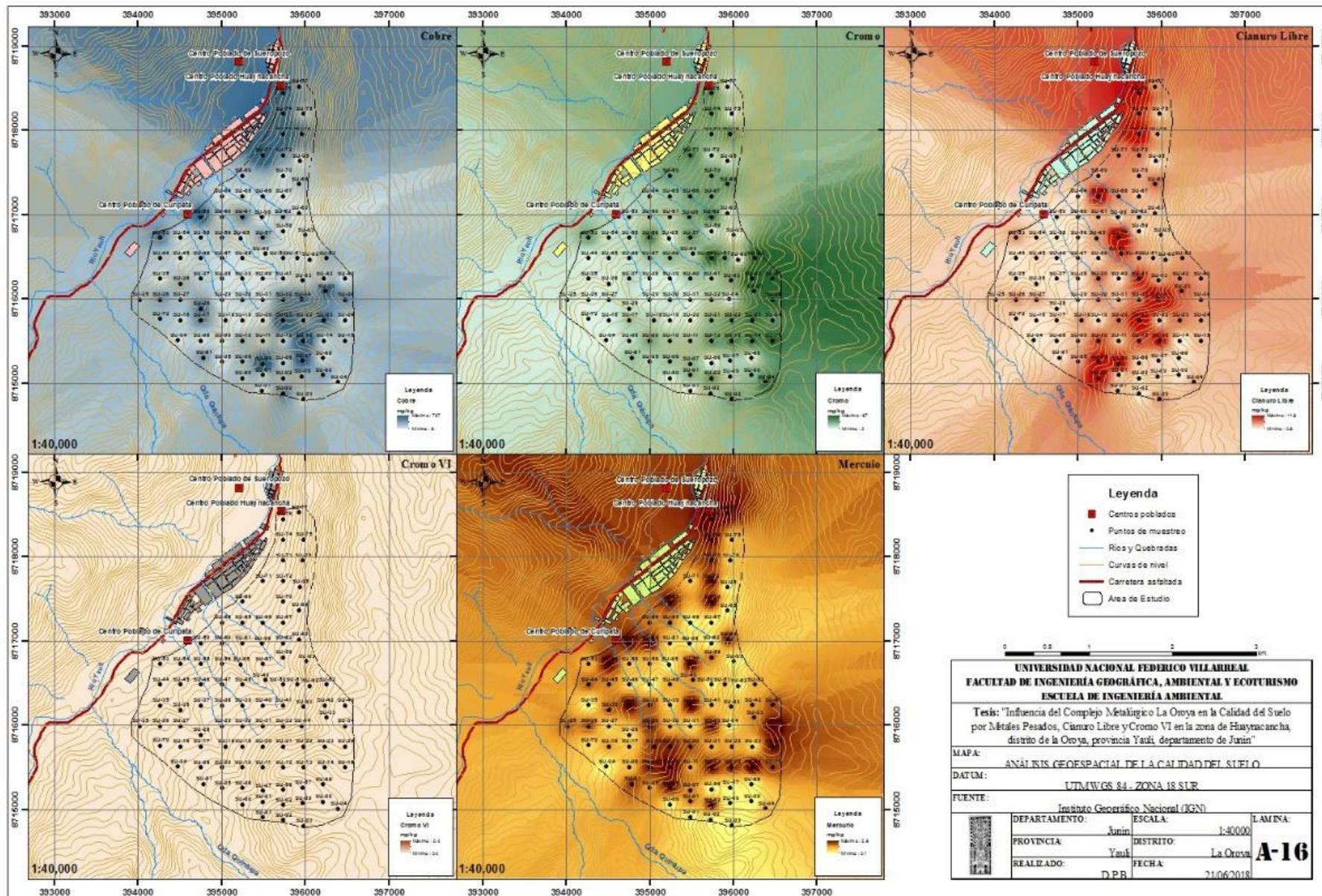
LEYENDA

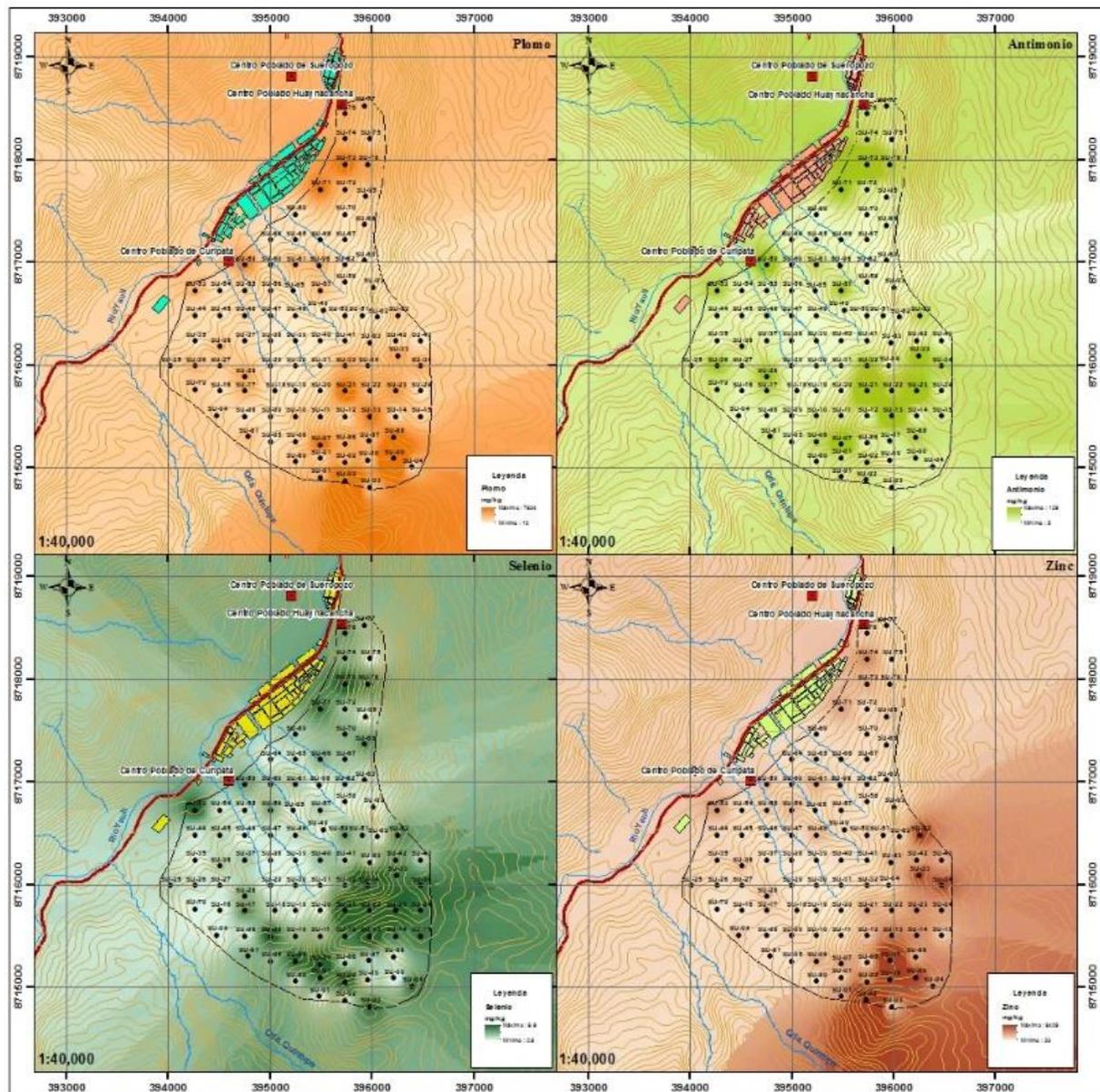
- Centros poblados
- Ríos y quebradas
- Carretera asfaltada
- Área urbana
- Doe Run Perú
- Zona de estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO			
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"			
MAPA:	COBERTURA VEGETAL		
DATUM:	UTM/WGS 84 - ZONA 18 SUR		
FUENTE:	Instituto Geográfico Nacional (IGN)		
DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	1:20000
PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	La Oroya
REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	21/06/2018

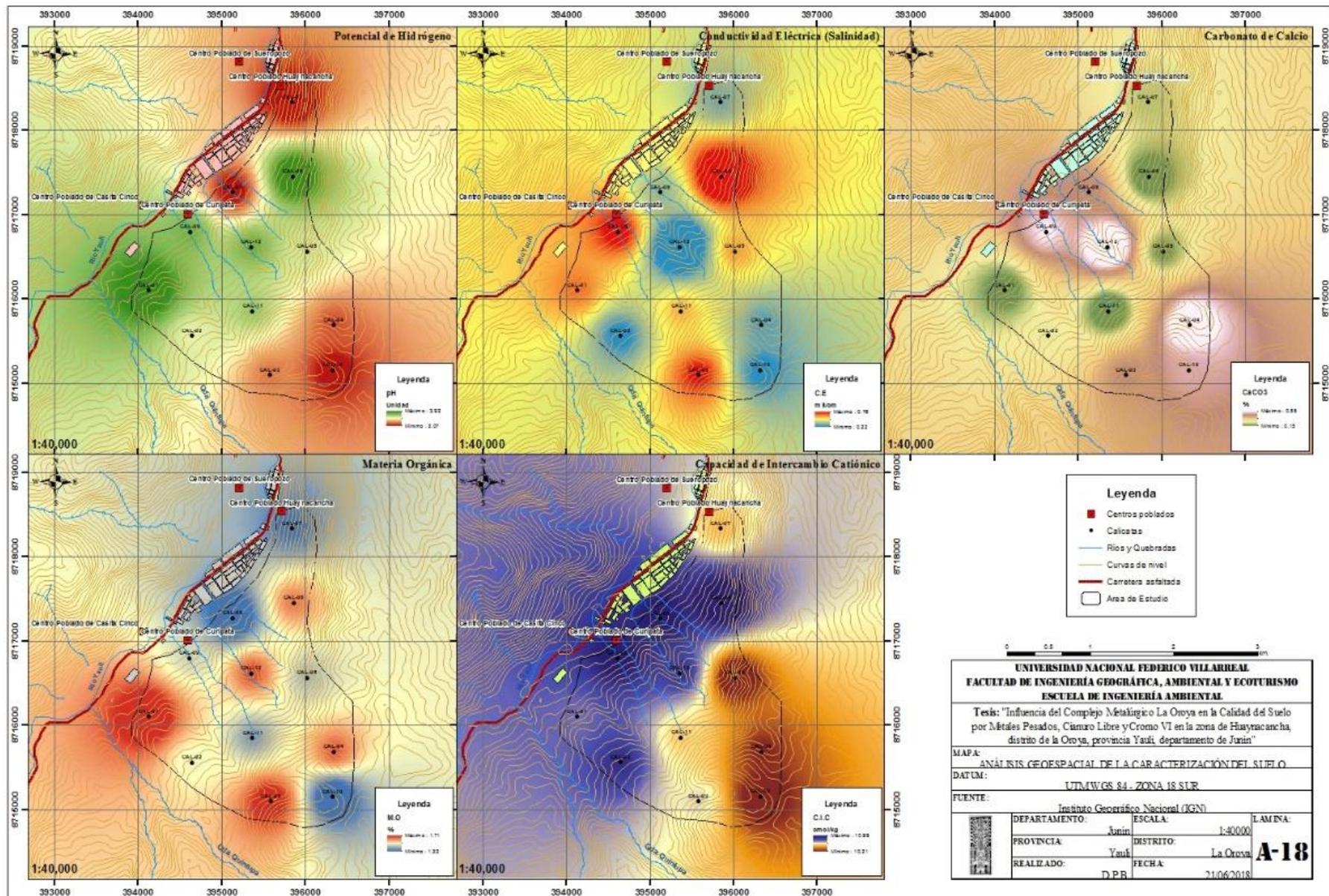
LAMINA A-14







UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILARREAL FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cadmio Libre y Cromo VI en la zona de Huaynacancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"			
MAPA: ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA CALIDAD DEL SUELO			
DATUM: UTM WGS 84 - ZONA 18 SUR			
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)			
	DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:40000	LAMINA: A-17
	PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	
	REALIZADO: D.P.B.	FECHA: 21/06/2018	



Potencial de Hidrógeno

Conductividad Eléctrica (Salinidad)

Carbonato de Calcio

Materia Orgánica

Capacidad de Intercambio Catiónico

Leyenda

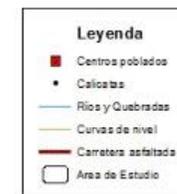
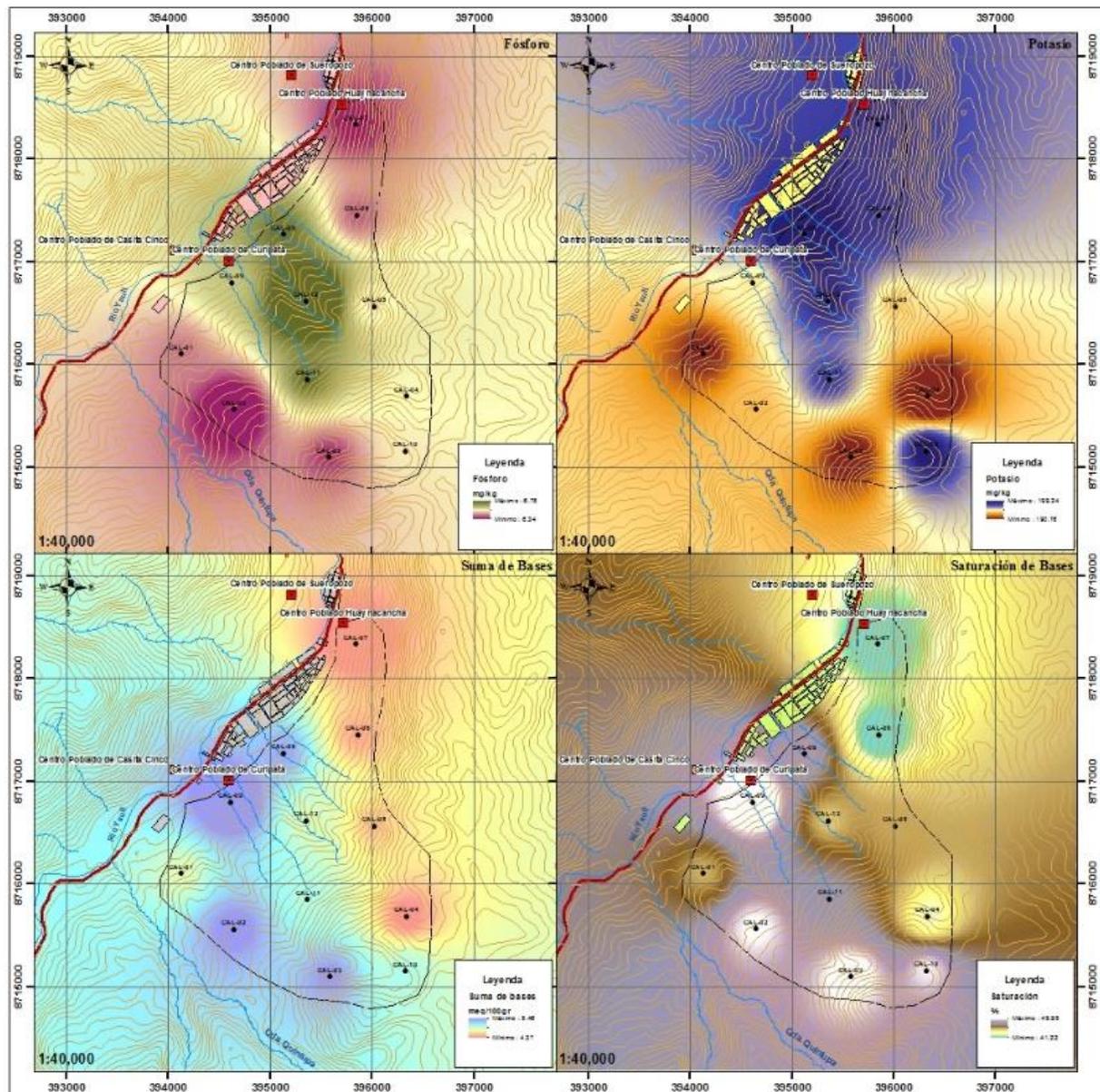
- Centros poblados
- Caliches
- Ríos y Quebradas
- Curvas de nivel
- Carretera asfaltada
- Área de Estudio

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

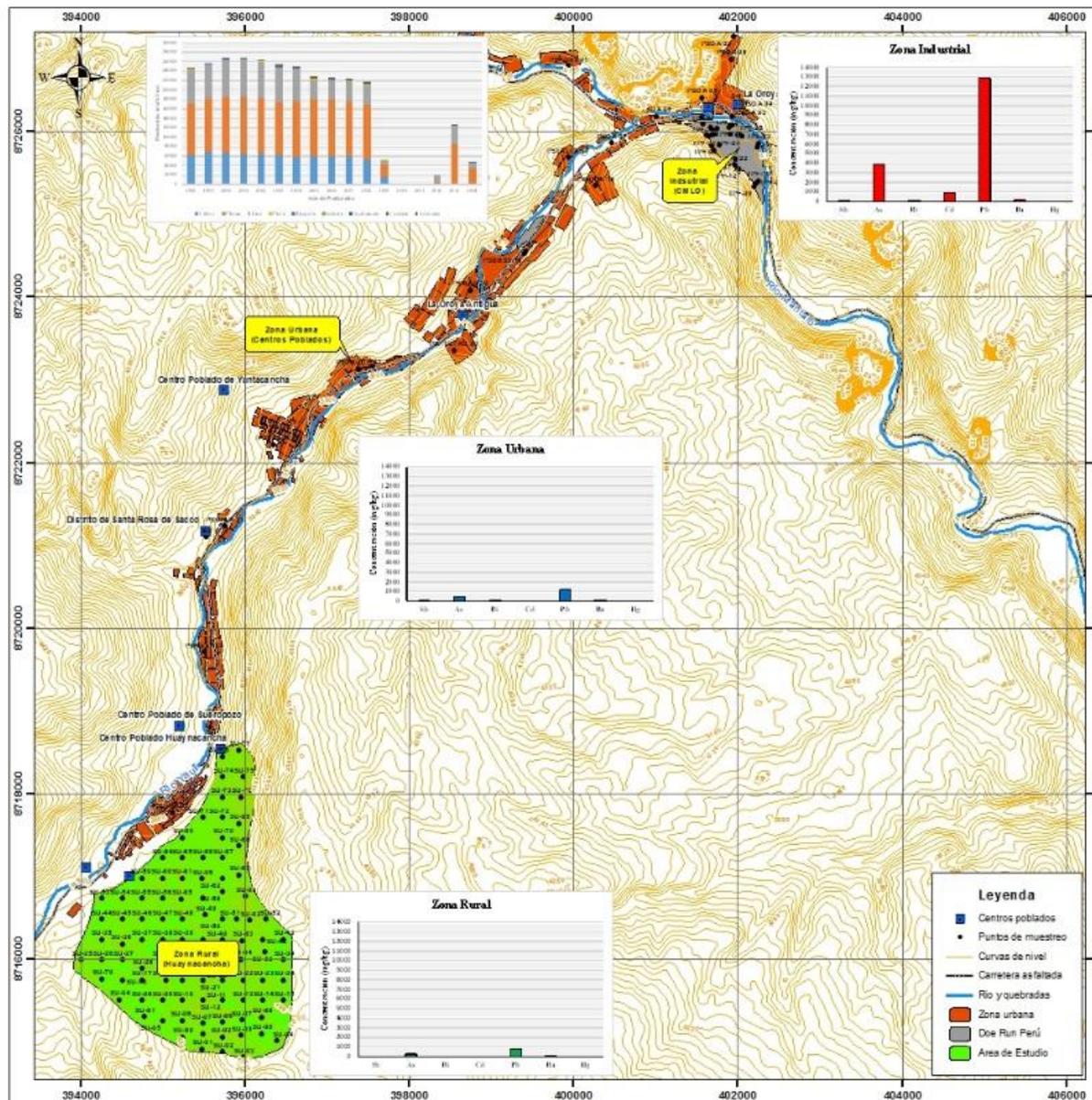
Tesis: "Influencia del Complejo Metálico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cincuro Libre y Cromo VI en la zona de Huayracancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: ANÁLISIS GEOSPACIAL DE LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO
 DATUM: UTMWGS 84 - ZONA 18 SUR
 FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:40000	LAMINA:
PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	A-18
REALIZADO: D.P.R.	FECHA: 21/06/2018	



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL		
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO		
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
Tesis: "Influencia del Complejo Metálico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cíamuro Libre y Cromo VI en la zona de Huayracancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"		
MAPA: ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO		
DATUM: UTMWGS 84 - ZONA 18 SUR		
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)		
DEPARTAMENTO: Junín	ESCALA: 1:40000	LAMINA: A-19
PROVINCIA: Yauli	DISTRITO: La Oroya	
REALIZADO: D.P.R.	FECHA: 21/06/2018	



Concentraciones medias de metales pesados (mg/kg)

Estación	Sb	As	Bi	Cd	Pb	Ba	Hg
Zona Rural	19	262	22	9.8	730	87	1.2
Zona Industrial	45	3824	95	889.7	12852	162	4.9
Zona Urbana	36	479	72	27.5	1198	120	3.2

		Zona Rural (Suelo)	Zona Industrial (Suelo)
Rho de Spearman	Zona Rural	1	0.900*
	Sig. (bilateral)		0.037
N		5	5
Zona Industrial	Coefficiente de correlación	0.900*	1
	Sig. (bilateral)	0.037	
N		5	5

		Zona Rural (Suelo)	Zona Urbana (Suelo)
Rho de Spearman	Zona Rural	1	1.000*
	Sig. (bilateral)		0.000
N		5	5
Zona Urbana	Coefficiente de correlación	1.000*	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
N		5	5

		Zona Rural (Suelo)	Zona Industrial (Producción)
Rho de Spearman	Zona Rural	1	0.883*
	Sig. (bilateral)		0.002
N		9	9
Zona Urbana	Coefficiente de correlación	0.883*	1
	Sig. (bilateral)	0.002	
N		9	9

0 0.5 1 2 3 m

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis: "Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por Metales Pesados, Cianuro Libre y Cromo VI en la zona de Huayracancha, distrito de la Oroya, provincia Yauli, departamento de Junín"

MAPA: CORRELACIÓN DE VARIABLES

DATUM: UTMWGS 84 - ZONA 18 SUR

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

DEPARTAMENTO:	Junín	ESCALA:	1:50000	LÁMINA:	A-20
PROVINCIA:	Yauli	DISTRITO:	La Oroya	FECHA:	
REALIZADO:	D.P.B.	FECHA:	21/06/2018		

Anexo B

ANALISIS DE RIESGOS : CALIDAD DEL SUELO



Objetivo: Definir el nivel de riesgo de contaminación de los suelos por los productos de uso agrícola.
Responsable: Gerente de Operaciones, Gerente de Recursos Humanos, Gerente de Finanzas, Gerente de Marketing y Gerente de Tecnología.
Fecha de Emisión: 15/05/2018
Fecha de Revisión: 15/05/2018
Revisión: 1
Elaborado por: Gerente de Operaciones, Gerente de Recursos Humanos, Gerente de Finanzas, Gerente de Marketing y Gerente de Tecnología.
Revisado por: Gerente de Operaciones, Gerente de Recursos Humanos, Gerente de Finanzas, Gerente de Marketing y Gerente de Tecnología.
Aprobado por: Gerente de Operaciones, Gerente de Recursos Humanos, Gerente de Finanzas, Gerente de Marketing y Gerente de Tecnología.

Actividad	Ubicación	Descripción	Material	Condiciones	Exposición	Acción	Responsable	Fecha	Estado	Impacto	Grado de Exposición	Grado de Contaminación	Grado de Riesgo	Medidas de Control	Fecha de Revisión
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION



Solicitante: Dianthony Ponce Bravo
 Departamento: Junín
 Distrito: La Oroya
 Referencia: NOV1092.R17

Provincia: Yauli
 Predio: Zona Huaynacancha
 Fecha: 12/11/17

Numero de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Analisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Estaciones							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H			
2794	CS-01	3.92	0.59	0.21	1.71	6.46	192.81	60	31	6	Fr.A.	10.72	2.73	1.25	0.73	0.10	5.91	4.81	4.81	44.87
2795	CS-02	3.51	0.39	0.35	1.51	6.34	194.65	62	32	5	Fr.A.	10.84	2.94	1.63	0.56	0.11	5.60	5.24	5.24	48.34
2796	CS-03	3.30	0.64	0.56	1.67	6.43	192.48	63	31	5	Fr.A.	10.64	2.82	1.90	0.34	0.13	5.45	5.19	5.19	48.78
2794	CS-04	3.70	0.42	0.78	1.61	6.52	190.76	60	33	6	Fr.A.	10.34	2.34	1.60	0.39	0.10	5.91	4.43	4.43	42.84
2795	CS-05	3.54	0.56	0.24	1.47	6.51	194.87	61	32	5	Fr.A.	10.21	2.39	1.93	0.18	0.10	5.62	4.59	4.59	44.96
2796	CS-06	3.92	0.76	0.18	1.59	6.45	196.98	67	32	5	Fr.A.	10.99	2.26	1.63	0.52	0.12	6.46	4.53	4.53	41.22
2796	CS-07	3.77	0.43	0.31	1.40	6.41	197.00	60	31	5	Fr.A.	10.54	2.13	1.87	0.24	0.13	6.17	4.37	4.37	41.46
2797	CS-08	3.81	0.45	0.56	1.32	6.61	199.24	65	30	5	Fr.A.	10.92	3.00	1.55	0.46	0.14	5.77	5.15	5.15	47.16
2797	CS-09	3.12	0.66	0.66	1.49	6.55	195.14	66	33	6	Fr.A.	10.93	2.94	1.63	0.78	0.11	5.47	5.46	5.46	49.95
2794	CS-10	3.69	0.39	0.59	1.34	6.51	198.09	61	35	6	Fr.A.	10.25	2.82	1.54	0.45	0.12	5.32	4.93	4.93	48.10
2795	CS-11	3.62	0.55	0.15	1.44	6.61	196.78	65	36	6	Fr.A.	10.56	2.70	1.21	0.87	0.14	5.64	4.92	4.92	46.59

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

Dr. Sady García Bendezi
Jefe del Laboratorio

ANALISIS DE SUELOS : CALIDAD DEL SUELO



LabJobNo : NOV1093.R17
DispatchNo : La Oroya / Yauli / Jurin, "Monitoreo de Estado de Suelo Huaymacocha"
CLIENT : Dianthony Ponce Bravo
of SAMPLES : 6
DATE RECEIVED : 03/11/2017
DATE FINALIZED : 04/11/2017
PROJECT : -
CERTIFICATE : Las muestras perecibles fueron analizadas dentro de las 24 horas.
COMMENTS : Las Coordenadas*, Altitud*: son mediciones realizadas en campo.

MCN0000	SAMPLE	DESCRIPTION	MIN DETECTION	MAX DETECTION	NF-01	NF-02	NF-03	NF-04	NF-05	NF-06
MCN0000	Fecha	Monitoreo			03/11/2017 09:00	03/11/2017 09:30	03/11/2017 10:00	03/11/2017 10:30	03/11/2017 11:00	03/11/2017 11:00
MCN0000	Tipo	Muestra			Suelos	Suelos	Suelos	Suelos	Suelos	Suelos
MA0460	Norte	WGS-84		IC-WAT-87	8761369	8761261	8760766	8760676	8762143	8762045
MA0460	Este	WGS-84		IC-WAT-87	357670	358093	358823	359246	358543	358868
MA0460	Altitud	norm		IC-WAT-87	4132	4128	4132	4124	4186	4160
MA1044	CN Libre	mg/Kg	0.9	IC-SOE-150	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
MA1045	Cr(VI)	mg/Kg	0.4	IC-SOE-140	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
MA0370	Hg	mg/Kg	0.01	IC-SOE-04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MA1124	Ag	mg/Kg	0.2	IC-SOE-165	0.8	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6
MA1124	Al	mg/Kg	100	IC-SOE-165	4418.36	5141.6	3209.52	6418.69	2373.55	3955.77
MA1124	As	mg/Kg	0.2	IC-SOE-165	38.9	37.7	32.8	36.5	32.0	35.3
MA1124	Ba	mg/Kg	1	IC-SOE-165	19.0	15.0	19.0	19.0	12.0	16.0
MA1124	Be	mg/Kg	0.4	IC-SOE-165	0.5	0.6	0.5	0.6	<0.4	<0.4
MA1124	Bi	mg/Kg	5	IC-SOE-165	5.3	5.3	5.4	5.2	5.1	5.3
MA1124	Ca	mg/Kg	100	IC-SOE-165	83299.79	83958.48	86902.99	100937.59	79322.72	110077.02
MA1124	Cd	mg/Kg	0.3	IC-SOE-165	0.9	0.7	0.6	0.8	0.6	0.9
MA1124	Co	mg/Kg	0.04	IC-SOE-165	6.12	14.6	11.46	9.37	33.1	11.93
MA1124	Cr	mg/Kg	0.3	IC-SOE-165	3.4	3.4	3.5	3.6	3.5	3.9
MA1124	Cu	mg/Kg	0.5	IC-SOE-165	17.2	19.2	16.2	16.3	19.9	17.2
MA1124	Fe	mg/Kg	100	IC-SOE-165	15126.1	15051.0	15114.2	15192.1	15133.6	15084.2
MA1124	K	mg/Kg	100	IC-SOE-165	399.72	464.12	281.21	615.48	305.3	328.97
MA1124	Mg	mg/Kg	100	IC-SOE-165	6593.81	6789.08	5622.11	7778.53	3374.4	4286.64
MA1124	Mn	mg/Kg	2	IC-SOE-165	4849.79	3756.04	4793.22	4069.34	3134.95	2600.97
MA1124	Mo	mg/Kg	0.09	IC-SOE-165	4.37	6.5	2.02	4.73	3.11	3.19
MA1124	Na	mg/Kg	100	IC-SOE-165	<100.00	<100.00	<100.00	144.08	<100.00	105.52
MA1124	Ni	mg/Kg	1	IC-SOE-165	9.78	20.76	14.02	18.07	15.32	14.4
MA1124	P	mg/Kg	100	IC-SOE-165	931.45	488.84	628.69	932.15	920.19	768.76
MA1124	Pb	mg/Kg	0.3	IC-SOE-165	24.4	24.0	20.4	24.3	22.1	23.2
MA1124	Sb	mg/Kg	5	IC-SOE-165	5.3	5.9	5.9	5.2	5.6	5.3
MA1124	Se	mg/Kg	0.9	IC-SOE-165	1.1	1.0	1.3	1.2	1.0	1.1
MA1124	Sn	mg/Kg	10	IC-SOE-165	<10.00	<10.00	<10.00	<10.00	<10.00	<10.00
MA1124	Sr	mg/Kg	0.5	IC-SOE-165	131.47	121.93	158.2	155.22	154.33	242.15
MA1124	Ti	mg/Kg	100	IC-SOE-165	<100.00	136.5	<100.00	189.7	<100.00	127.05
MA1124	Tl	mg/Kg	0.03	IC-SOE-165	0.05	0.42	<0.03	0.13	0.25	0.07
MA1124	V	mg/Kg	2	IC-SOE-165	10.79	17.67	11.04	19.79	8.62	11.76
MA1124	Zn	mg/Kg	0.5	IC-SOE-165	35.2	32.7	38.6	31.5	38.7	35.3

Anexo C

Soil Quality Index 1.0

File Used:

Date the Index was Calculated:

#####

Site SoQI Summary	Guidelines Used
SoQI	30
Rank	High
F1 (Scope)	69.2
F2 (Frequency)	44.9
F3 (Amplitude)	89.3
Total Tests	312
Tests Failed	140
Sum of Non-Compliance	1168.6

In-depth Report Options	Calculations Summary	Data Outliers	Indexed Test Data

Site Name:

Huaynacancha

Site Description:

Suelos del SU-01 al SU-24.

Project Number:

1

Ranking Categories

Level of Concern	Minimum Value
Very Low	90
Low	70
Medium	50
High	30
Very High	0

Soil Quality Index 1.0

File Used:

Date the Index was Calculated:

#####

Site SoQI Summary	Guidelines Used
SoQI	32
Rank	High
F1 (Scope)	69.2
F2 (Frequency)	42.3
F3 (Amplitude)	84.6
Total Tests	312
Tests Failed	132
Sum of Non-Compliance	725.1

In-depth Report Options	Calculations Summary	Data Outliers	Indexed Test Data

Site Name:

Huaynacancha

Site Description:

Suelos del SU-25 al SU-48.

Project Number:

2

Ranking Categories

Level of Concern	Minimum Value
Very Low	90
Low	70
Medium	50
High	30
Very High	0

Soil Quality Index 1.0

File Used:

Date the Index was Calculated:

#####

Site SoQI Summary	Guidelines Used
SoQI	31
Rank	High
F1 (Scope)	69.2
F2 (Frequency)	44.9
F3 (Amplitude)	86.4
Total Tests	312
Tests Failed	140
Sum of Non-Compliance	891.5

In-depth Report Options	Calculations Summary	Data Outliers	Indexed Test Data

Site Name:

Huaynacancha

Site Description:

Suelos del SU-49 al SU-72.

Project Number:

3

Ranking Categories

Level of Concern	Minimum Value
Very Low	90
Low	70
Medium	50
High	30
Very High	0

Soil Quality Index 1.0

File Used:

Date the Index was Calculated:

#####

Site SoQI Summary	Guidelines Used
SoQI	Agricultural Coarse
Rank	29
F1 (Scope)	Very High
F2 (Frequency)	69.2
F3 (Amplitude)	42.6
Total Tests	91.3
Tests Failed	312
Sum of Non-Compliance	133
	1394.5

In-depth Report Options	Calculations Summary	Data Outliers	Indexed Test Data

Site Name:

Huaynacancha

Site Description:

Suelos del SU-73 al SU-96.

Project Number:

4

Ranking Categories

Level of Concern	Minimum Value
Very Low	90
Low	70
Medium	50
High	30
Very High	0

Anexo D

ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA OROYA

I. Objetivo.

Determinar el desplazamiento de los gases y partículas que emergen de la fuente contaminante existente.

II. Datos generales.

Doe Run Perú es una compañía minera-metalúrgica con operaciones localizadas en los Andes centrales del Perú. La empresa es dueña del Complejo Metalúrgico de La Oroya desde octubre de 1997 y de la Mina Cobriza en Huancavelica desde setiembre de 1998.

III. Proceso minero-metalúrgico.

El Complejo Metalúrgico de La Oroya (CMLO) está compuesto de un conjunto único de fundiciones y refinarias especialmente diseñadas para transformar el mineral poli-metálico típico de los Andes centrales peruanos en diez metales (Cobre, Zinc, Plata, Plomo, Indio, Bismuto, Oro, Selenio, Telurio y Antimonio) y siete subproductos (Sulfato de Zinc, Sulfato de Cobre, Ácido Sulfúrico de Zinc, Ácido Sulfúrico de Plomo, Trióxido de Arsénico, Polvo de Zinc y Concentrado Zinc/ Plata).

El Complejo Metalúrgico de La Oroya maneja cuatro circuitos integrados y con sinergia entre ellos, para el procesamiento de Cobre, Plomo, Zinc y metales preciosos.

IV. Datos geográficos de la fuente de emisión.

La Chimenea Principal se ubica dentro del CMLO de coordenadas UTM: E 402223 m y N 8725656 m en sistema WGS-84 18 L a 3720 msnm. Esta chimenea emite a la atmósfera material particulado, plomo y arsénico además de dióxido de azufre.

Imagen 1
Chimenea principal



Fuente: Google Earth Pro, (2018).

V. Determinación de la distribución de los contaminantes atmosféricos.

Mediante el uso del software ArcGis 10.3 y Disper 5.2 avanzado, se determinó, para el día 6 de junio del 2014, la distribución de los contaminantes atmosféricos sobre la zona urbana, la cual está ubicada en el área de influencia directa e indirecta del Complejo Metalúrgico La Oroya. El método aplicado para ejecución del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos fue el Modelo Gaussiano de Dispersión (Vertidos y puntuales).

VI. Información requerida.

Cuadro 1

Información referente a la fuente de emisión (chimenea principal).

Descripción	Datos	Unidades
Altura de la chimenea	167.5	m
Diámetro de la chimenea	14	m
Temperatura de emisión	346.2	K
Velocidad de emisión	4.843	m/s
Intensidad de emisión	5208.33	g/s
Peso molecular del gas de emisión	64	g/mol
Coefficiente de decaimiento	0.0000481	1/s
Área de dispersión	Urbana	-

Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental Correctiva, (2013).

Cuadro 2

Información meteorológica.

Descripción	Datos	Unidades
Altura del anemómetro	10	m
Velocidad del viento	3.13	m/s
Temperatura del aire	281.7	K
Precipitación del aire	68.75	mm
Dirección del viento	225	°
Tipo de estabilidad atmosférica	Estable	-
Altura de la capa límite	280	m
Altura del anemómetro	10	m

Fuente: Instrumento de Gestión Ambiental Correctiva, (2013).

VII. Resultados.

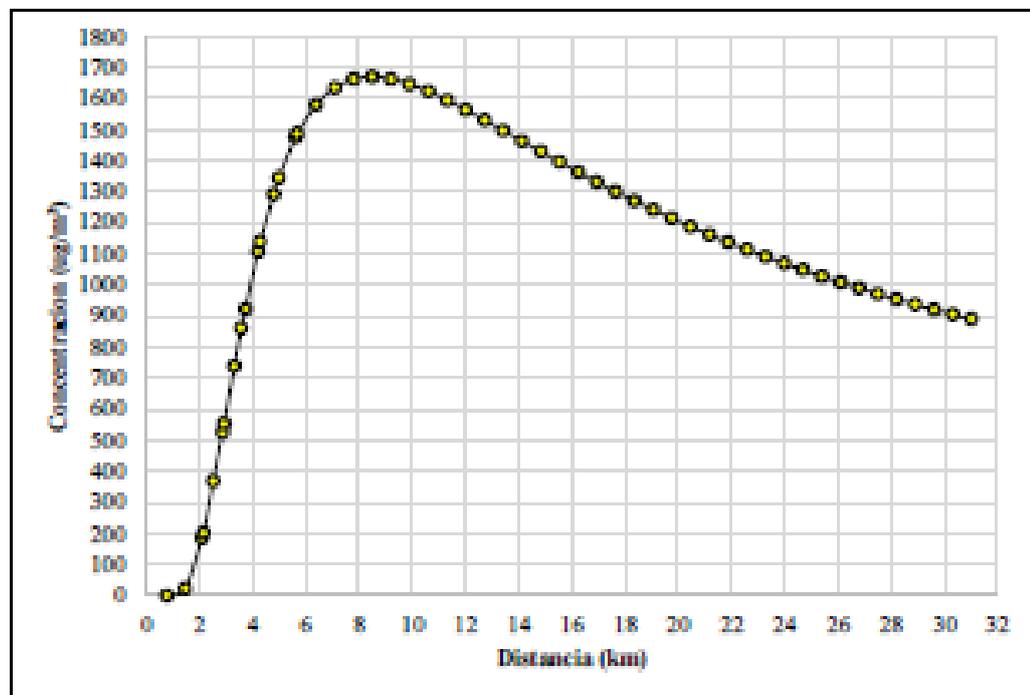
En el Cuadro 3 y el Diagrama 1 se presentan los resultados de las concentraciones determinadas por el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos para el SO₂ emitidos por la Chimenea Principal así como la distancia a la que fue determinada según el modelo.

Cuadro 3
Concentración y distancia del dióxido de azufre.

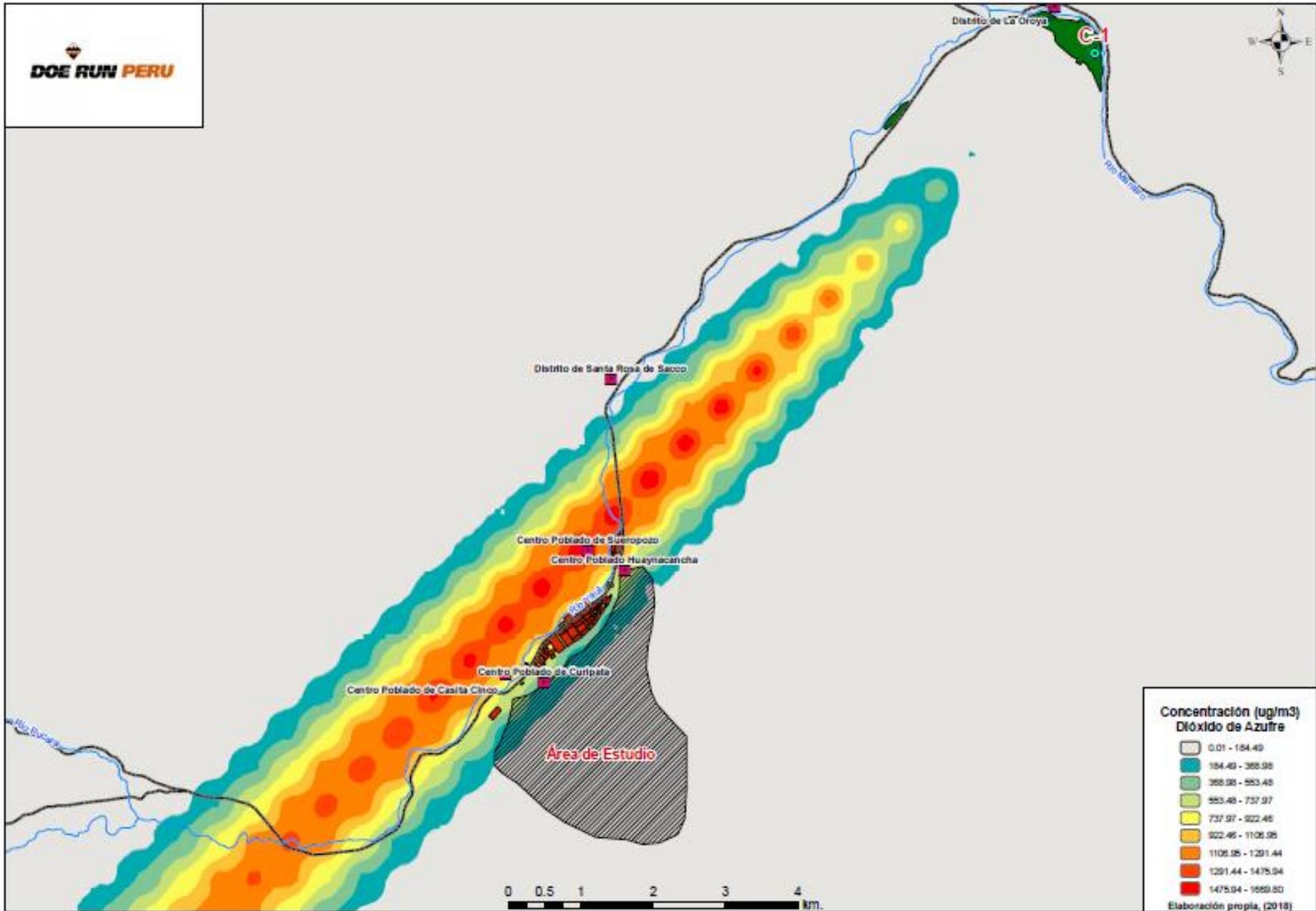
Distancia (km)	Concentración (µg/m ³)						
0.78	0.01	4.98	1344.63	13.42	1496.86	22.58	1113.60
1.47	22.55	5.62	1475.94	14.13	1462.76	23.28	1090.87
2.10	184.49	5.68	1487.37	14.83	1428.84	23.98	1069.03
2.17	201.90	6.39	1579.97	15.34	1395.44	24.69	1048.01
2.53	368.98	7.09	1634.92	16.24	1362.77	25.39	1027.79
2.87	525.12	7.79	1662.31	16.94	1330.99	26.10	1008.33
2.93	553.48	8.50	1689.80	17.65	1300.19	26.80	989.59
3.31	737.97	9.20	1663.13	18.35	1270.41	27.50	971.52
3.57	860.53	9.90	1646.48	19.06	1241.70	28.21	954.10
3.73	922.46	10.61	1622.95	19.76	1214.04	28.91	937.29
4.20	1106.95	11.31	1594.78	20.46	1187.43	29.62	921.06
4.28	1138.39	12.02	1563.62	21.17	1161.84	30.32	905.38
4.80	1291.44	12.72	1530.69	21.87	1137.24	31.02	890.23

Fuente: Elaboración propia, (2018).

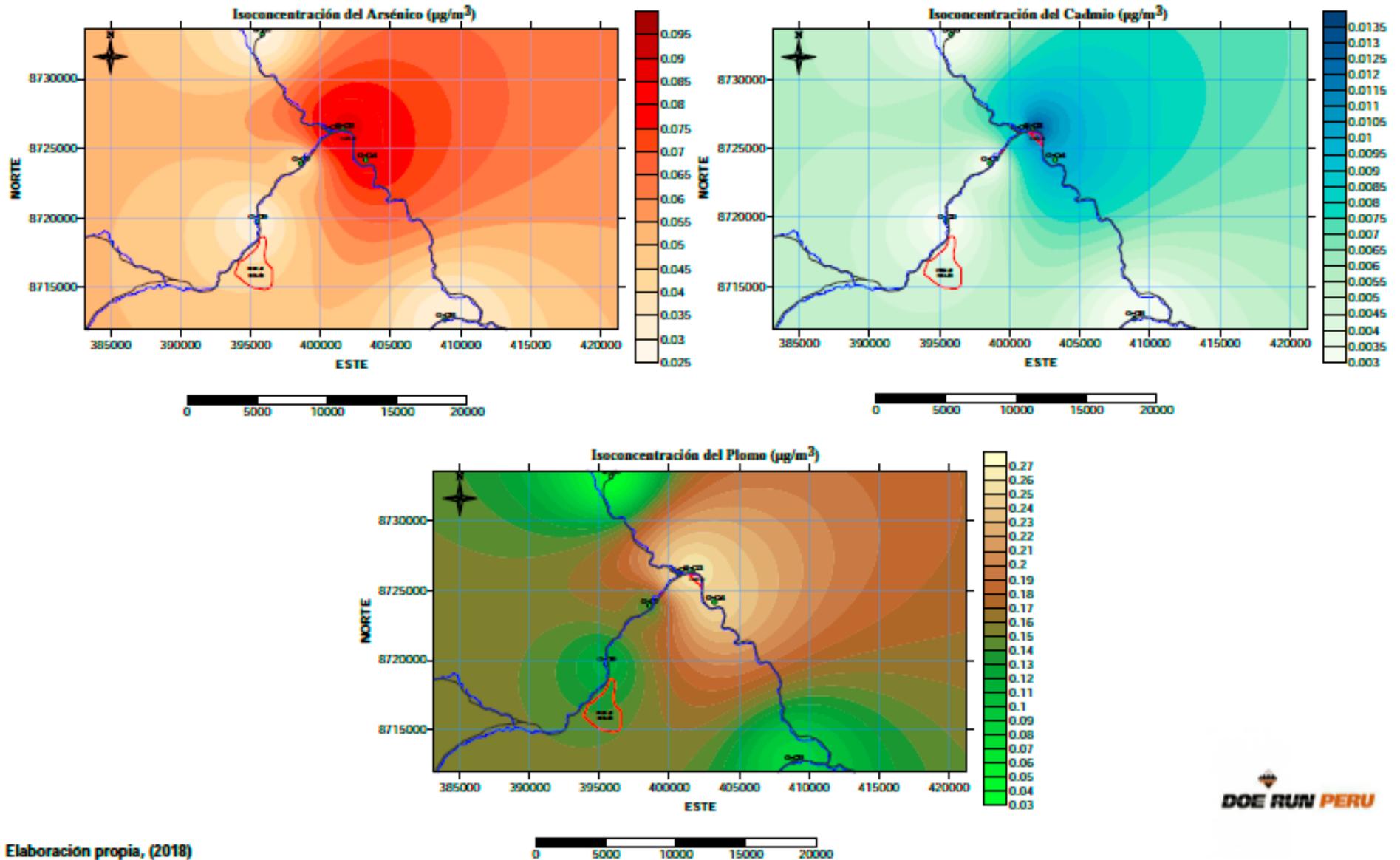
Diagrama 1
Línea de concentración del dióxido de azufre.



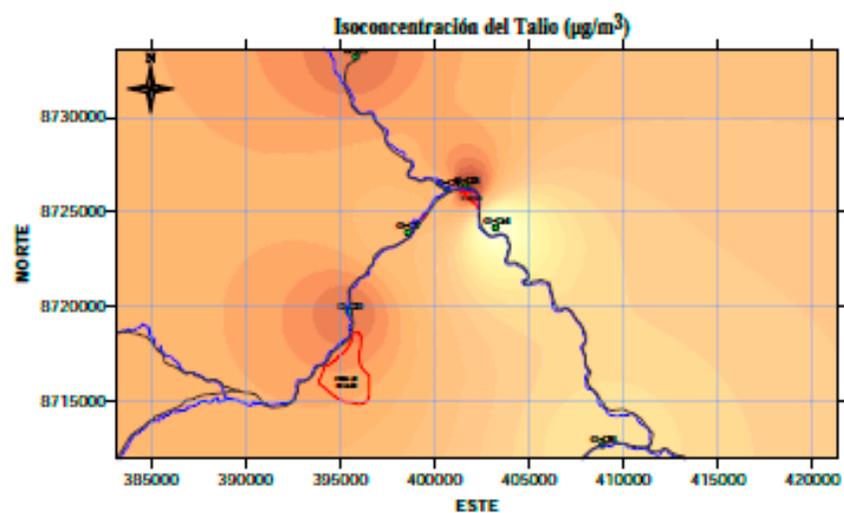
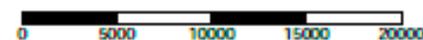
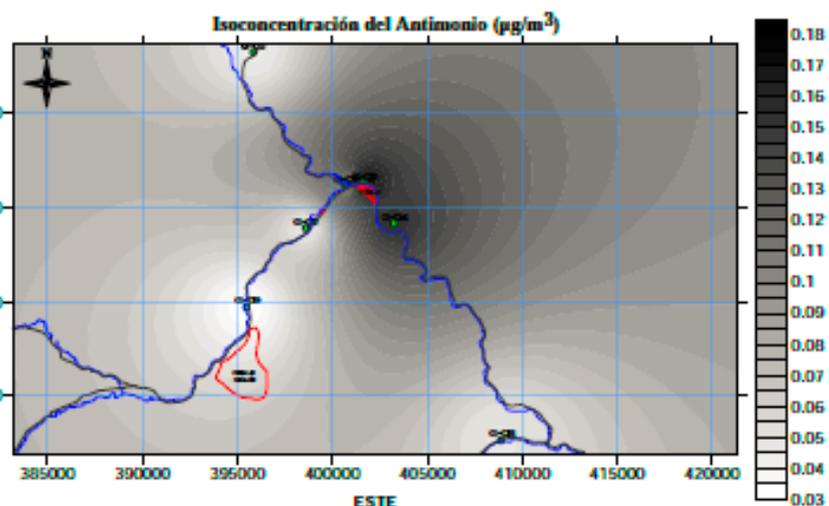
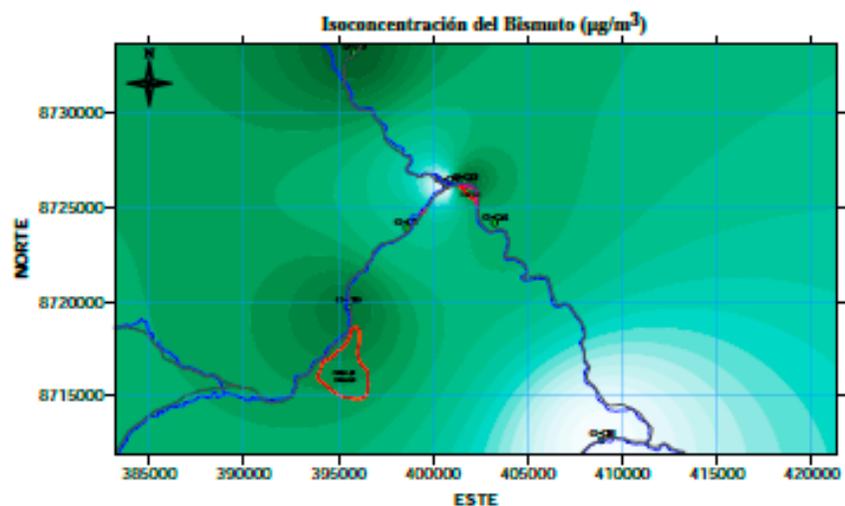
Fuente: Elaboración propia, (2018).



Análisis Geoespacial de Calidad del Aire (Arsénico, Cadmio y Plomo)



Análisis Geoespacial de Calidad del Aire (Bismuto, Antimonio y Talio)



ANÁLISIS DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DE VIENTOS

I. Objetivo.

Determinar la dirección y velocidad del viento mediante la Rosa de Vientos y el Mapa de Régimen de Vientos en las 12 estaciones meteorológicas y la estación meteorológica principal (La Oroya – 000604).

II. Datos generales.

Siguiendo un procedimiento de interpolación adaptado a datos vectoriales (dirección y velocidad del viento) se construye un Mapa de Régimen de Vientos, a partir de las estaciones meteorológicas, siendo este un mapa detallado en el área de influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya; asimismo con estos datos se construye una Rosa de Vientos que nos indicará de donde vienen y hacia donde se dirigen los vientos predominantes a sotavento y barlovento.

III. Proceso del viento.

El viento es el flujo de gases a gran escala. En la atmósfera terrestre, el viento es el movimiento en masa del aire de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica. Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos».

IV. Datos geográficos de las estaciones meteorológicas.

Las estaciones meteorológicas se ubican dentro de la zona de influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya. En estas estaciones se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.

Imagen 1

Estaciones meteorológicas.



Fuente: Google Earth Pro, (2018).

Cuadro 1
Estaciones meteorológicas.

Estación	Descripción	Este	Norte	Rumbo	Dir. (°)	Vel. (m/s)
EM-01	La Oroya 000604	395389	8720972	NE	45	2.6
EM-02	Puente Chules 230904	398187	8726696	NE	45	2.5
EM-03	Oroya Mayupampa 155519	399182	8727162	NE	45	4.2
EM-04	Toca Oroya 000997	400005	8726702	NE	45	3.6
EM-05	Oroya Fundación 000629	401823	8726707	NE	45	3.3
EM-06	Casamaca 000998	396345	8734063	N	360	3.5
EM-07	Pachachaca 000634	389138	8715606	E	90	3.7
EM-08	Pachachaca 000996	387320	8715599	E	90	2.4
EM-09	Pucara 000628	383672	8719272	E	90	2.1
EM-10	Santa Rita 000993	378220	8719251	E	90	2.5
EM-11	Yauli 155235	381920	8710080	NE	45	2.5
EM-12	Taca Golf 000995	376440	8717431	E	90	3.4
EM-13	Punahamba 000999	381813	8730324	N	360	3.3

Fuente: El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SINAMHI).

Nota: Datos obtenidos del SINAMHI (Coordenadas UTM en "m"; WGS 84 - 18L)

V. Determinación de la distribución de los contaminantes atmosféricos.

Mediante el uso del software ArcGis 10.3, WeatherLink 6 y WRPLOT View Freeware 7, se determinó, para el periodo del 2011 – 2014; la dirección, velocidad, rumbo y precipitación sobre la zona de influencia directa e indirecta del Complejo Metalúrgico La Oroya. El método aplicado para la ejecución del Mapa de Régimen de Vientos fue la matemática (determinista) de Interpolación con la Distancia Inversa Ponderada (IDW) y para la Rosa de Vientos se representó mediante la frecuencia de ocurrencia de vientos en cada uno de los sectores de dirección del viento especificados y las clases de velocidad del viento para una ubicación y un periodo de tiempo determinados mediante la escala de Beaufort.

VI. Información requerida.

Cuadro 2
Información meteorológica.

Año	Mes	Día	Hora	Vel. (m/s)	Rumbo	Dirección (°)	Precipitación (mm)
2011	12	1	1	3.4	N	360	154.9
2011	12	1	2	3.7	NE	45	143.0
2011	12	1	3	2.9	NE	45	121.0
2011	12	1	4	2.8	NE	45	73.0
2011	12	1	5	3.0	N	360	15.1
2011	12	1	6	2.6	NE	45	6.5
2011	12	1	7	2.5	NE	45	17.0
2011	12	1	8	4.2	NE	45	3.3
2011	12	1	9	3.6	N	360	29.6
2011	12	1	10	3.3	NE	45	65.9
2011	12	1	11	3.5	NE	45	61.6
2011	12	1	12	3.7	N	360	164.5
2012	12	1	13	2.4	NE	45	99.3
2012	12	1	14	2.1	NE	45	90.3
2012	12	1	15	2.5	N	360	36.5
2012	12	1	16	2.5	NE	45	129.0
2012	12	1	17	3.4	NE	45	3.6
2012	12	1	18	2.6	NE	45	16.4

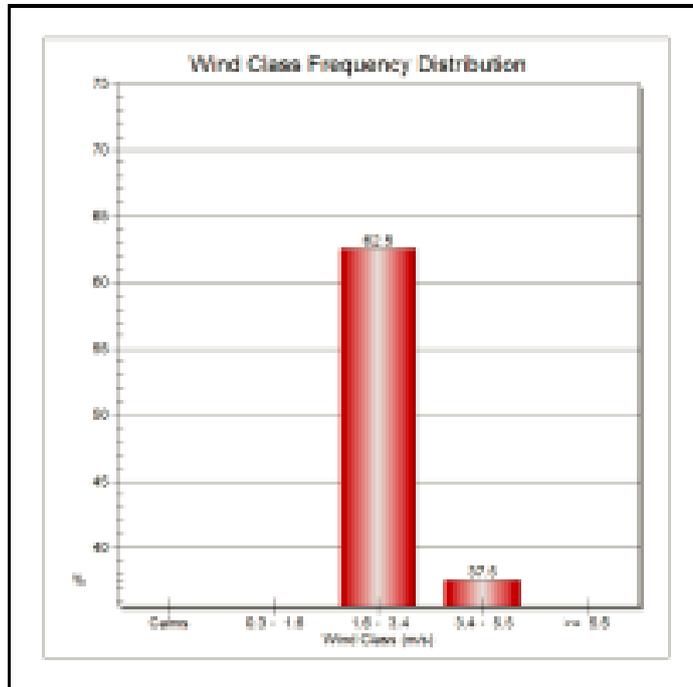
2012	12	1	19	3.4	NE	45	7.7
2012	12	1	20	4.2	N	360	1.7
2012	12	1	21	5.3	NE	45	25.7
2012	12	1	22	3.5	N	360	72.8
2012	12	1	23	3.5	NE	45	130.8
2012	12	2	24	2.7	NE	45	179.1
2013	12	2	1	2.7	NE	45	171.7
2013	12	2	2	3.0	NE	45	131.8
2013	12	2	3	2.4	NE	45	112.4
2013	12	2	4	3.2	NE	45	55.8
2013	12	2	5	2.7	NE	45	29.3
2013	12	2	6	2.8	N	360	8.6
2013	12	2	7	2.8	N	360	12.3
2013	12	2	8	2.7	NE	45	57.5
2013	12	2	9	3.7	NE	45	32.4
2013	12	2	10	3.5	NE	45	64.0
2013	12	2	11	3.2	NE	45	36.6
2013	12	2	12	3.3	NE	45	90.8
2014	12	2	13	3.4	NE	45	154.7
2014	12	2	14	2.5	N	360	139.2
2014	12	2	15	2.6	NE	45	160.6
2014	12	2	16	3.0	N	360	70.4
2014	12	2	17	2.9	NE	45	37.2
2014	12	2	18	3.2	NE	45	0.0
2014	12	2	19	2.8	NE	45	29.7
2014	12	2	20	3.7	NE	45	1.1
2014	12	2	21	3.4	NE	45	36.3
2014	12	2	22	3.4	NE	45	48.9
2014	12	2	23	3.0	N	360	71.5
2014	12	3	24	3.0	NE	45	98.4

Fuente: El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

VII. Resultados.

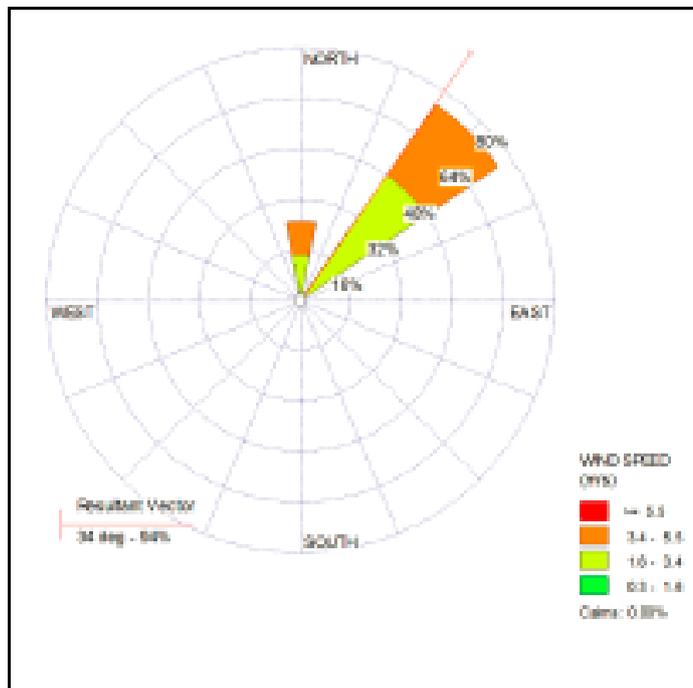
En los Diagramas 1 y 2 se presentan los resultados de la Frecuencia y Rosa de Vientos; indicando que 62.5 % de la velocidad se encuentra entre 1.6 a 3.4 m/s y el 37.5 % de la velocidad se encuentra entre 3.4 a 5.5 m/s; además la dirección predominante del viento es NE con un valor de 75 % y N con un valor de 25 %.

Diagrama 1
Frecuencia de vientos.

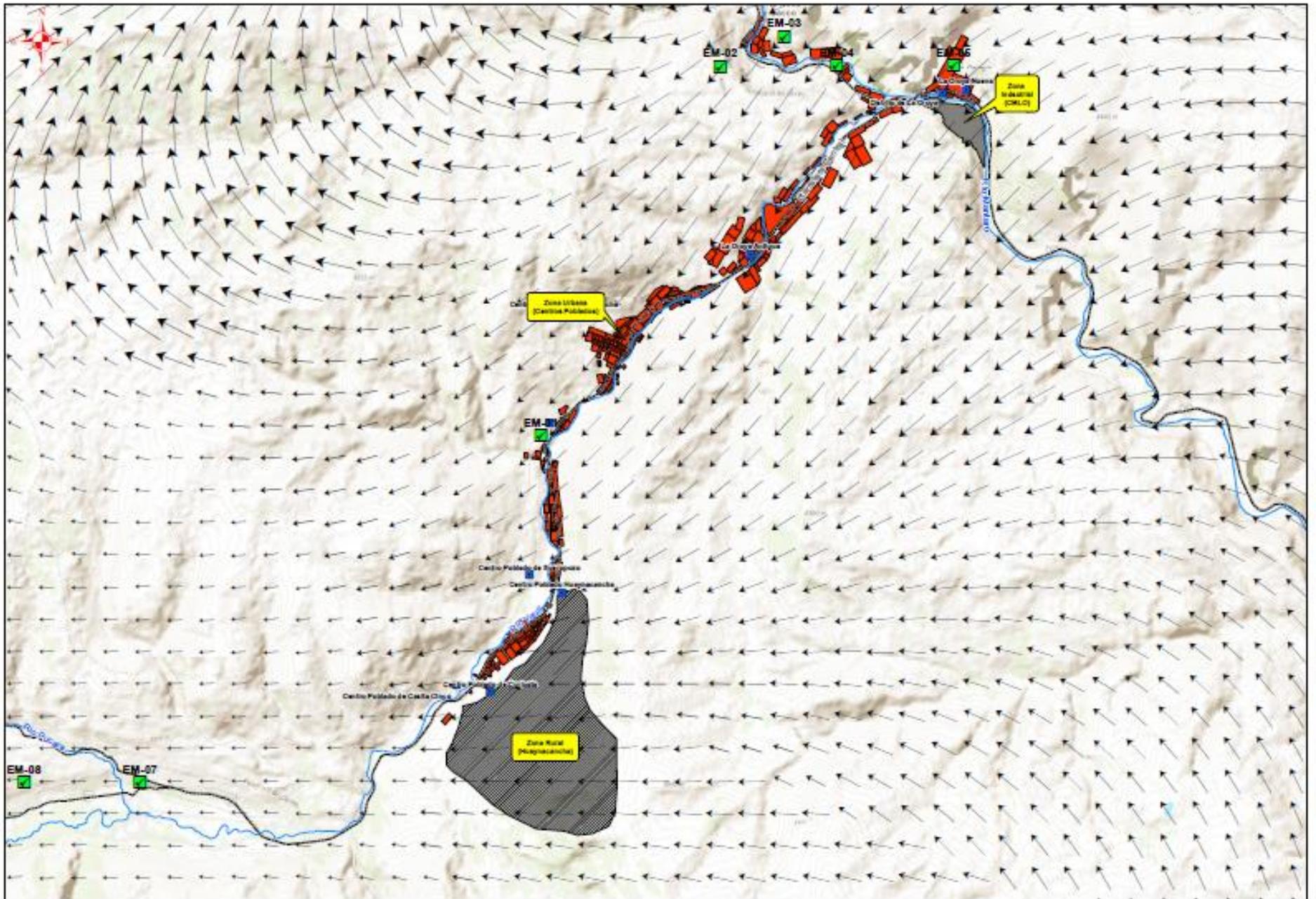


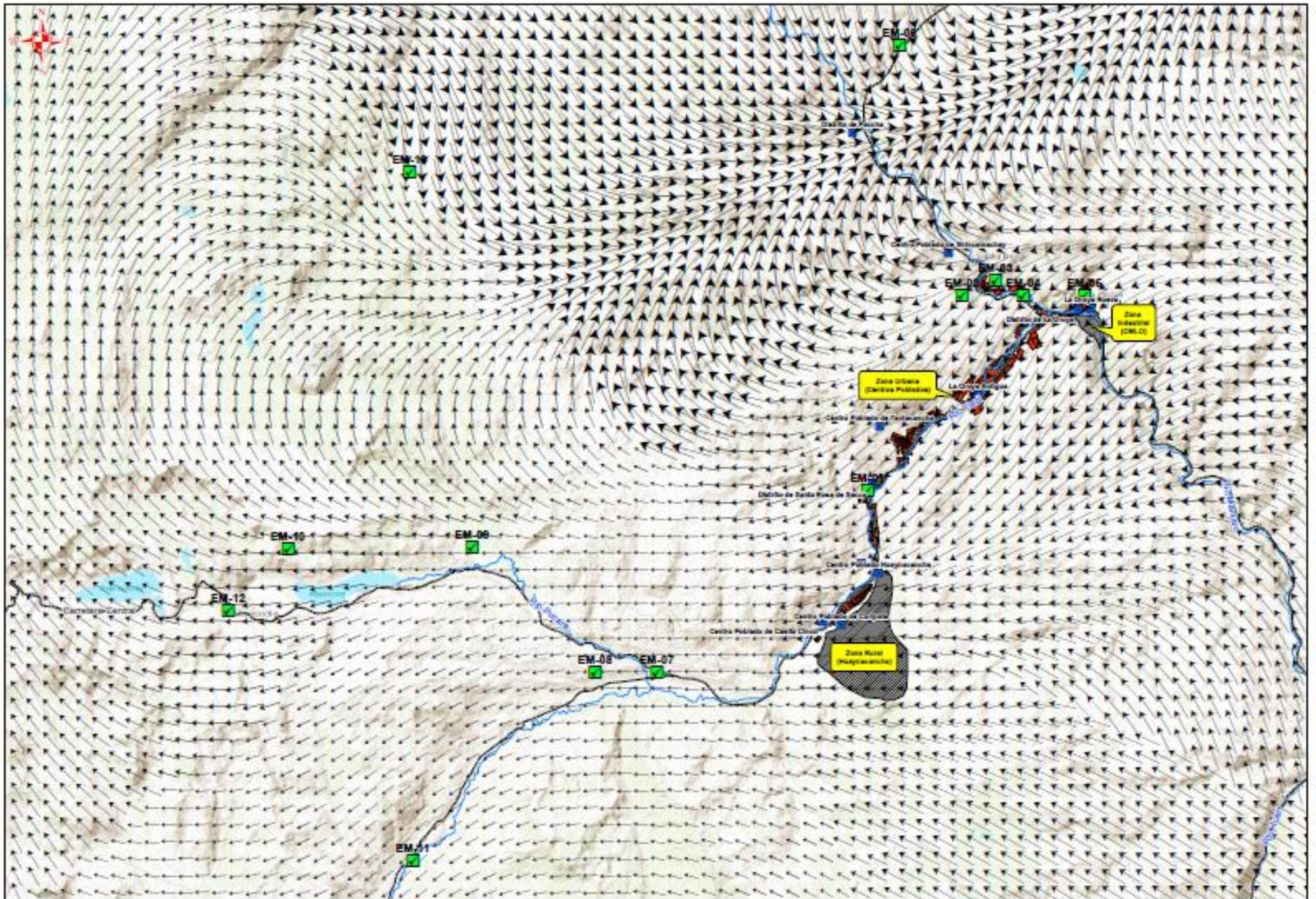
Fuente: WRPLOT View Processor 7 (2018).

Diagrama 2
Frecuencia de vientos.

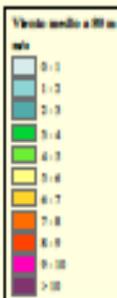
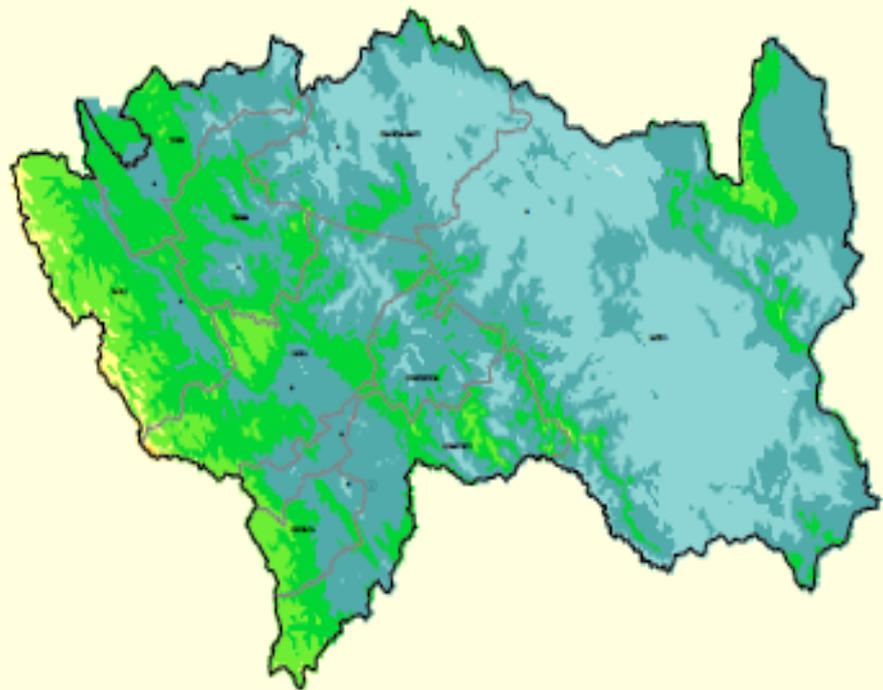


Fuente: WRPLOT View Processor 7 (2018).





JUNÍN



MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL
DIRECCIÓN DE FONDOS CONCRETABLES

ATLAS EÓLICO DEL PERÚ
VIENTO MEDIO ANUAL A 30 m
DEPARTAMENTO DE JUNÍN

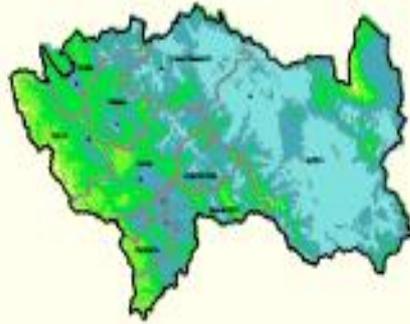
LIMA - PERÚ
OCTUBRE DE 2008

Diseño cartográfico:
Cana Nacional del Perú, Unidos por el Desarrollo
Proyección: UTM, Datum: WGS 84

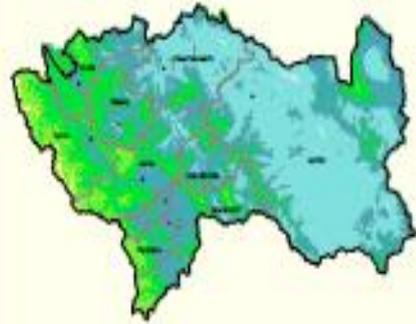
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



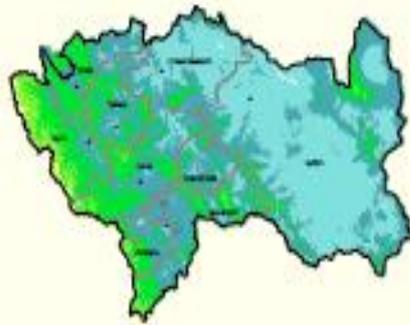
JUNÍN



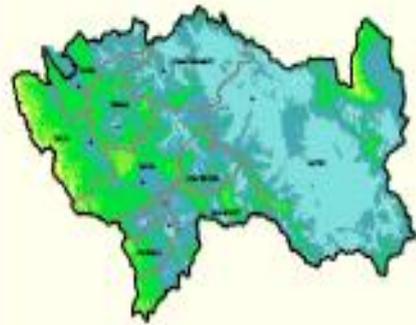
PRIMAVERA



VERANO



OTOÑO



INVIERNO

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
DIRECCIÓN GENERAL DE ELABORACIÓN RURAL
DIRECCIÓN DE FONDOS CONJUNTALES

ATLAS EÓLICO DEL PERÚ
VIENTO MEDIO ESTACIONAL A 80 m
DEPARTAMENTO DE JUNÍN

LIMA - PERÚ
OCTUBRE DE 2008

Auto cartografiado
Carta Nacional del Perú, Límites Departamentales
Proyección: UTM, Datum: WGS84



Anexo E



Resolución Ministerial

N° 085-2014-MINAM

Lima, 31 MAR. 2014

Vistos, los Memorandos N° 249, 458 y 563-2013-VMGAMINAM del Viceministerio de Gestión Ambiental; así como el informe N° 0050-2013-DGCA-VMGAMINAM y las Notas Informativas N° 004 y 006-2013-DGCA-VMGAMINAM de la Dirección General de Calidad Ambiental, que contienen los Informes Técnicos N° 0308, 0309, 690 y 800-2013-DGCA-VMGAMINAM, y demás antecedentes; y,

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, define al Estándar de Calidad Ambiental – ECA, como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas; así como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, los mismos que son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia;

Que, la Primera Disposición Complementaria Final del citado Decreto Supremo, establece que el Ministerio del Ambiente aprobará la Guía para Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos;

Que, en virtud a lo señalado, la Dirección General de Calidad Ambiental del Viceministerio de Gestión Ambiental ha elaborado las propuestas de Guía para Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos;

Que, la Guía para Muestreo de Suelos tiene como objetivo brindar las especificaciones para el muestreo de sitios contaminados, determinando la presencia, identidad y cantidad de contaminantes presentes, así como la extensión y volumen de sitios contaminados en todo proyecto y/o actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia;

Que, asimismo, la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos tiene como objetivo orientar a los titulares y/o responsables de la descontaminación de sitios contaminados, empresas consultoras y público en general, sobre el desarrollo de las diversas etapas que comprende la elaboración e implementación del Plan de Descontaminación de Suelos – PDS;



Que, estando a la propuesta presentada por la Dirección General de Calidad Ambiental del Viceministerio de Gestión Ambiental, resulta necesaria la aprobación de las mencionadas Guías;

Con el visado del Viceministerio de Gestión Ambiental, la Secretaría General, la Dirección General de Calidad Ambiental y la Oficina de Asesoría Jurídica;

De conformidad con lo dispuesto en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo; y, el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Aprobar la **Guía para el Muestreo de Suelos**, que como Anexo N° 1 forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 2°.- Aprobar la **Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos**, que como Anexo N° 2 forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

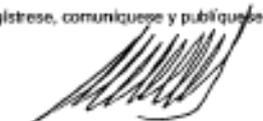
Artículo 3°.- La presente Resolución Ministerial es de aplicación y cumplimiento obligatorio para los procesos de descontaminación de sitios contaminados, en trámite o por iniciarse, independientemente de su ámbito de ejecución.

Artículo 4°.- Disponer la publicación de la presente Resolución Ministerial en el Diario Oficial El Peruano.

La presente resolución y sus Anexos serán publicados, asimismo, en el Portal Web Institucional del Ministerio del Ambiente, en la misma fecha de publicación de la presente Resolución Ministerial en el Diario Oficial El Peruano.



Regístrese, comuníquese y publíquese.


Manuel Pulgar-Vidal Otáloro
Ministro del Ambiente

MINISTERIO DEL AMBIENTE

Vice Ministerio de Gestión Ambiental
Dirección General de Calidad Ambiental

GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS

En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de
Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

2014



1. PLAN DE MUESTREO

Para la realización de cualquier tipo de muestreo, previamente se debe elaborar un plan de muestreo que contenga la información y programación relacionada con los objetivos del muestreo.

Para el plan del muestreo de suelos, es necesario definir claramente los objetivos que permitan un óptimo proceso de levantamiento de la información necesaria para la descripción del sitio, definiendo: i) el área en la que se focalizarán los esfuerzos de muestreo, ii) objetivos del plan de muestreo, iii) los tipos de muestreo según los objetivos definidos, iv) la determinación de la densidad, y posición de puntos de muestreo, v) los procedimientos de campo, vi) los métodos de conservación de muestras, y vii) las necesidades analíticas a desarrollarse.

1.1. Consideraciones Generales

El plan de muestreo, debe contener por lo menos los siguientes aspectos:

- a) Información básica del suelo (potencialmente) contaminado, comprendiendo los mapas de ubicación, planos de distribución de la infraestructura y construcciones realizadas en el sitio de acuerdo a la evaluación preliminar (investigación histórica e inspección del sitio) descrita en la Guía para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos (PDS).
- b) Resultados de los estudios previos del suelo (potencialmente) contaminado.
- c) Determinación de las Áreas de Potencial Interés, la sustentación de la ubicación y el número de puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de muestra a coleccionar.
- d) Personal involucrado precisando las responsabilidades y actividades en cada procedimiento.
- e) La estrategia y procedimiento de toma de muestras a realizar. Tipo y método de muestreo.
- f) Determinación de los parámetros a analizar en las muestras.
- g) Las técnicas, el equipo y los instrumentos a emplearse en el muestreo, que aseguren la homogeneidad y representatividad de las muestras.
- h) Tipo y características de la preservación y conservación de las muestras a emplearse durante el transporte de las mismas al laboratorio.
- i) Medidas de seguridad para el manejo de muestras, que determinen las condiciones óptimas de la calidad de muestreo.
- j) Medidas de seguridad ocupacional a seguir durante el muestreo, lo suficientemente explicitadas para garantizar la salud y seguridad de quienes toman la muestra.
- k) Número mínimo de puntos de muestreo según el tipo de muestreo (Ver ítem 5.2).

1.2. Estructura del Plan de Muestreo

El plan de muestreo de suelos (potencialmente) contaminado debe tener la siguiente estructura básica:



1. Datos generales
 - 1.1. Objetivo del muestreo: Definir de manera precisa las metas que se desean cumplir
 - 1.2. Vía de acceso al sitio: Explicitar el acceso geo-referenciado al sitio de interés
 - 1.3. Resumen de estudios previos: Identificar información relevante de acciones previas realizadas en el sitio de estudio
 - 1.4. Localización geográfica del sitio (UTM WGS 84): Para su respectivo mapeo
 - 1.5. Delimitación de las áreas de interés de muestreo: En base a la información disponible sobre las actividades anteladas o los procesos en curso.
2. Planeación y procedimiento del muestreo
 - 2.1. Tipo de muestreo
 - 2.2. Localización, distribución y número de puntos de muestreo
 - 2.3. Profundidad de muestreo
 - 2.4. Tipos de muestras (muestras simples o compuestas, de profundidad o superficiales)
 - 2.5. Estimación del Número total de muestras
 - 2.6. Parámetros de campo
 - 2.7. Equipo de muestreo de suelo
 - 2.8. Medidas para asegurar la calidad del muestreo
 - 2.9. Preservación de las muestras
 - 2.10. Tipo de recipientes y volumen de las muestras
 - 2.11. Plan de salud y seguridad del operario
 - 2.12. Plan de cadena de custodia
3. Anexos
 - 3.1. Planos de ubicación²
 - 3.2. Plano vial de carreteras, caminos o calles para llegar al sitio y edificaciones³.
 - 3.3. Imagen aérea o satelital del sitio de alta resolución (de 15 cm a 60 cm) orto-rectificadas.
 - 3.4. Plano de la zona de estudio e identificación de los puntos de muestreo geo-referenciado en coordenadas UTM.
 - 3.5. Copia de la acreditación y de la aprobación del laboratorio vigente, con el listado de signatarios autorizados.

Fuente: Sosa, S. (2011). Curso sobre Remedación de Sitios Contaminados. Encuentro Latinoamericano sobre Remedación de Sitios Contaminados.

El plan de muestreo debe ser entregado impreso y en versión digital editable.



² Anexo N° 5: Orientaciones para elaboración de planos

³ De acuerdo al Clasificador de Rutas del Sistema Nacional de Carreteras SINAC

1.3. Tipos de muestreo

1.3.1. Muestreo de Identificación (MI)

El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM. El alcance del MI estará definido por los resultados y conclusiones de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.

En el muestreo de identificación, no se dispone de datos precisos sobre la concentración de compuestos contaminantes en un suelo, sin embargo, para contar con un límite de confianza aceptable, es pertinente realizar un número mínimo de puntos de muestreo.

Los resultados analíticos del MI serán comparados inicialmente con los ECA suelo. Si los valores detectados en el suelo superan los valores del ECA y/o los valores de fondo, se determina que el suelo está contaminado y se procede con la fase de caracterización.

Para la elaboración del muestreo de identificación es necesario utilizar la información de la investigación histórica y la inspección del sitio potencialmente contaminado, que provee de insumos para la elaboración del modelo conceptual inicial, el mismo que debe ser lo suficientemente detallado para identificar claramente las fuentes potenciales o sospechosas de contaminación, la hipótesis de distribución de contaminantes contenidas en el modelo conceptual orientan el diseño del muestreo de identificación.

Se debe tener en consideración los siguientes aspectos al momento de la formulación del Muestreo de Identificación:

- Se determina el Área de potencial Interés sobre la base de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.
- Los contaminantes (parámetros) que se analicen serán aquellas sustancias químicas de interés toxicológico o ecotoxicológico generados por las actividades y procesos principales, secundarios y auxiliares, que se desarrollen o se desarrollaron en el sitio de estudio (Ver ejemplos de contaminantes por procesos en Anexo N° 1).
- Cuando en base a la investigación histórica y la inspección del sitio se considere que hay información concluyente sobre el origen, fuente y tipo de la posible contaminación del suelo, el número de puntos de muestreo se determinará respetando el número mínimo de puntos de muestreo indicados en la Tabla N° 5, aportando información que valide los resultados obtenidos y enfocada en el área y los compuestos de potencial interés.
- Cuando no se tiene previo conocimiento de la distribución del contaminante se podrá optar primero por una distribución sistemática (Tabla N° 1), por ejemplo una rejilla regular, en el Área de Potencial Interés, tomando en consideración los puntos de muestreo indicados en la Tabla N° 5. Más información de patrones de muestreo se encuentra en Anexo N° 2.
- La profundidad del muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminante a estudiar, y debe ser debidamente justificado, siendo necesario el muestreo a lo largo de la perforación, incluyendo si documentación geológica.
- En casos de perforaciones a diferentes profundidades, las muestras deben ser tomadas por cada metro de profundidad que se perfora, considerando la estratigrafía local. La longitud del núcleo de perforación a muestrear no debe ser mayor a un metro.
- Para puntos de muestreo con profundidades igual o menores a 3 m, todas las muestras tomadas deben ser analizadas.



- En perforaciones o zanjas con una profundidad mayor a 3 m, el número mínimo de muestras a analizar obtenidas por punto de muestreo son 3. Como el objetivo de los análisis químicos es definir verticalmente la contaminación, puede ser necesario analizar más de tres muestras.
- Las muestras a ser analizadas deben ser aquellas que presenten mayor evidencia de la presencia del contaminante bajo estudio.
- Las modificaciones al proceso de muestreo de identificación previamente elaborado deberán justificarse, fundamentarse y documentarse.
- Para el control de calidad analítica se debe duplicar el 10% de las muestras a ser analizadas para sitios con superficies menores o igual a 20 ha, y 5% para superficies mayores a 20 ha, que deben ser analizadas en otro laboratorio acreditado.

Con la documentación y los resultados del muestreo de identificación, y establecida la necesidad de proceder con una fase posterior, se elaborará el Estudio de Caracterización, el cual retroalimenta el modelo conceptual³ y los objetivos del muestreo de detalle.

Tabla N° 1 Recomendaciones acerca de la aplicabilidad de los patrones de muestreo

Patrón de muestreo	En identificación y caracterización	En remediación
Con distribución uniforme		
Rejillas regulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas triangulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas circulares	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas o derrames puntuales	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in situ en contaminaciones puntuales
Sobre una línea	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas a lo largo de ductos	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in situ a lo largo de ductos
Diagonales múltiples	Recomendado sólo si se asegura equidistancia entre los puntos	Recomendado sólo si se asegura homogeneidad en el suelo y equidistancia entre los puntos
Con distribución homogénea		
Diagonal cruzadas rotantes	No recomendado	Recomendado sólo en aquellos sitios donde la contaminación es uniforme y se va a dar seguimiento a una atenuación natural

Fuente: Adaptado de SEMARNAT (2010).



1.3.2. Muestreo de Detalle (MD)

Tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para determinar el área y volumen (la distribución horizontal y vertical) del suelo contaminado en las áreas de interés determinadas a través de la fase de identificación.

³ La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), incluye como los componentes principales a ser considerados en el modelo conceptual, la cobertura del suelo, relieve, estado del suelo, granulometría, solidez y vapor del suelo, escombros asociados a los contaminantes.

El muestreo de detalle, cuantifica y delimita las zonas de afectación del suelo y las pumas de propagación en el agua subterránea, tanto en espacio y tiempo, a partir del modelo conceptual redefinido. Caracteriza los medios en relación a factores que influyen en la liberación, migración y comportamiento de los contaminantes, a través de la delimitación y cuantificación de los focos; así el muestreo de detalle deberá también enfocarse a la determinación de las probables rutas y vías de exposición debiendo considerar los posibles puntos de exposición en el caso de que se lleve a cabo una evaluación de riesgos a la salud y ambiente (ERSA).

Como resultado de la información generada (modelo conceptual final), se establece la necesidad de continuar con los siguientes procesos de gestión de un suelo contaminado: la realización del ERSA (de ser el caso) y, la propuesta de remediación, que podría incluir, entre otras, las siguientes acciones:

- de remoción de contaminantes
- de contención
- de atenuación natural monitorizada
- de restricciones de uso
- de control de riesgo

Para el MD deberá tomarse un número de puntos mínimos de muestreo, las cuales se indican en el Tabla Nº 6.

En el caso de que la información obtenida a través de Muestreo de identificación no sea concuyente, se debe realizar un muestreo sistemático lo suficientemente detallado como para justificar la validez estadística asociada al grado de definición de la alteración.

1.3.3. Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

El objetivo de este muestreo es determinar la concentración de los químicos regulados por el ECA suelo en sitios contiguos al área contaminada, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides.

Cuando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas en el sitio en estudio, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer los niveles de fondo de dichos contaminantes.

La estrategia del muestreo de nivel de fondo ha de ser debidamente justificada tanto desde el punto de vista estadístico como desde el punto de vista de la localización de las muestras, usando como ayuda los datos y conclusiones de la Fase de identificación. Así, la localización del área de muestreo ha de considerar lo siguiente:

- a) El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe estar demasiado alejado del mismo.
- b) El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación.
- c) Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes pero con características similares al área de estudio. (Vea también ítem 5.2.3).

Se debe proponer una estrategia de muestreo en base a la Fase de identificación y los criterios del especialista o empresa calificada.



2.2. Para muestras superficiales

Para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pueden aplicar sondeos manuales. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica, será necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. Otras técnicas alternativas para la toma de muestras superficiales pueden ser hoyos o zanjas.

En este tipo de muestras es permisible tomar muestras compuestas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para la determinación de sustancias orgánica volátiles.

Grandes volúmenes de muestras (p.e. extraído de zanjas) requieren someterlas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se recomienda cuartear la muestra mezclada y repetir el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario (ver también la Ilustración 4).

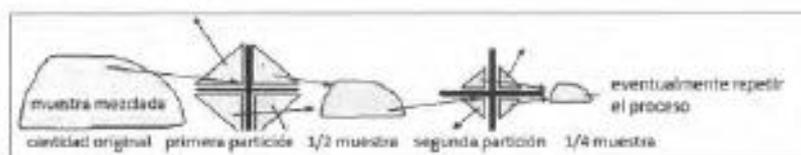


Ilustración 4: Partición de muestras
(Fuente: EPA/600/R-93/130, Alemania, adaptado).

Se recomienda en particular la toma de muestras superficiales compuestas para la evaluación de riesgos a la salud humana (p.e. cuando se tiene un contacto directo) o para la flora y fauna. En estos casos se recomienda un muestreo bidimensional, es decir, la toma de sub-muestras (10 – 25 unidades) en un área y una capa determinada y unir las sub-muestras individuales en una muestra compuesta.

El espesor de las capas con respecto al uso del suelo se indica en la Tabla N° 2. El número mínimo de muestras (compuestas) se desprende del área a estudiar de conformidad con el ítem 5.2.

Tabla N° 2: Profundidad del muestreo según el uso del suelo

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo Agrícola	0 – 30 cm (1)
	30 – 60 cm
Suelo Residencial/Parques	0 – 10 cm (2)
	10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm (2)



- 1) Profundidad de aradura.
- 2) Capa de contacto oral o dental de fertilizantes.
- 3) Profundidad mínima alcanzada por niños.

En casos que se tenga un enlozado, se deberá tomar muestras del suelo que se encuentra por debajo del enlozado.

Los datos básicos que se tienen que documentar en el muestreo son:

- Datos generales (fecha, hora, lugar, nombre de la persona que ejecute el muestreo).
- Características del punto de muestreo (por ejemplo sellado del superficie, perfil geológico, nivel de la napa freática).
- Datos climáticos (temperatura, presión atmosférica, precipitación antes y durante el muestreo).
- Descripción del pozo de extracción (profundidad del agujero, equipamiento, tipo de sello).
- Sistema/dispositivo de extracción.
- Volumen extraído antes del muestreo.
- Fuga de aire (antes y durante la toma de las muestras).
- Presión inferior.
- Contenido y desarrollo de los componentes principales durante la extracción (metano, dióxido de carbono, oxígeno y eventualmente ácido sulfhídrico o monóxido de carbono), que serán utilizados en el estudio de caracterización y en la evaluación de riesgos a la salud y el ambiente.
- Descripción de los recipientes y/o el procedimiento del muestreo.

3. MANEJO DE LAS MUESTRAS

Es necesario observar ciertas consideraciones en el manejo de las muestras, sin embargo, es pertinente cumplir con los protocolos establecidos por los laboratorios respecto a la recolección y conservación de las muestras para su análisis.

3.1. Materiales para guardar y transportar muestras

Las características del recipiente deben ser compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio a muestrear (ver Tabla N°4), deben ser resistentes a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.

Debe evitarse en lo posible el uso de agentes químicos para conservar muestras de suelo, salvo que la metodología lo estipulen. Para su conservación es conveniente mantenerlas en lugares frescos (4 a 6 °C), aplicables en contaminantes orgánicos.

El volumen del contenedor debe ser aproximadamente el mismo de la muestra, a fin de minimizar el espacio vacío.

Cuando se trate de COV's o elementos volátiles, no es recomendable la toma de muestras de suelos por trasvase debido a las pérdidas y subestimaciones a las que estas últimas conducen, esto es aún más importante y válido si se pretende realizar una evaluación de riesgos del sitio.

3.2. Etiquetado

- La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente y adherida adecuadamente para evitar su pérdida.
- La etiqueta que acompaña a la muestra, debe contar con la siguiente información como mínimo: número o clave única de identificación, lugar de muestreo, nombre del proyecto, y la fecha y hora del muestreo, nombre de la empresa así como las iniciales de la persona que toma la muestra.
- La impresión de los datos en la etiqueta, debe realizarse con tinta indeleble.
- Inmediatamente de la toma de muestra se debe proceder al etiquetado y registro de la muestra.



Tabla N°4: Recipientes, temperatura de preservación y tiempo de conservación de muestras ambientales para los análisis correspondientes.

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación
Compuestos Orgánicos Volátiles COV's	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4° C	14 días
BTEX			
Hidrocarburos Fracción Ligera			
Hidrocarburos Fracción Medio			
Hidrocarburos Fracción Pesada			
Compuestos Orgánicos Semivolátiles COSV's y Plaguicidas			
Metales Pesados y Metaloides	Bolsas de polietileno densa	Sin restricciones	Sin restricciones
Mercurio (Hg)	Frasco de vidrio con tapa de teflón que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis	4° C	14 días
PCB	Viales de vidrio con cierre de Teflón	4° C	14 días
PAH	Viales de vidrio con cierre de Teflón	4° C	14 días

3.3. Ficha de muestreo

Documento que recoge información levantada en campo, que incluye la técnica de muestreo, las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas (Ver Anexo N° 3).

3.4. Cadena de Custodia

La documentación de la cadena de custodia debe contener al menos:

- El número de la hoja de custodia proporcionada por el laboratorio acreditado.
- El nombre de la empresa y del responsable del muestreo.
- Los datos de identificación del sitio (coordenadas UTM).
- La fecha y hora del muestreo.
- Las claves de las muestras.
- Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
- Los análisis o la determinación requerida.
- El número de envases.



- Observaciones.
- Identificación de las personas que entregan y reciben en cada una de las etapas de transporte, incluyendo fecha y hora.

La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su obtención, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis, la copia debe estar firmada por todos los participantes en el proceso de muestreo y por la persona del laboratorio que recibe las muestras para su análisis.

3.5. Condiciones de seguridad de las muestras

- Considerar los pre-tratamientos in situ de las muestras, según determinadas operaciones requeridas como por ejemplo el filtrado, adición de reactivos, de preservantes, etc.
- El traslado de la muestra deberá ser realizado con los cuidados requeridos para evitar su deterioro, para ello deben ser embaladas asegurando la completa inmovilidad de los recipientes que las contienen durante el transporte.
- Las muestras que requieran temperatura y condiciones de almacenamiento especial deben ser transportadas en contenedores adecuados.
- El traslado de las muestras al laboratorio se debe hacer dentro de los plazos recomendados.
- Para la seguridad y limpieza en la manipulación de la muestra, se debe incluir guantes de látex-n, agua deionizada, lentes de seguridad, toallas de papel, mascarilla para polvos y frazadas. Usar etiquetas adheribles, marcador indeleble, cinta adhesiva y bolígrafos.
- No se deben analizar muestras cuyos sellos hayan sido violados.

4. MEDIDAS DE SEGURIDAD OCUPACIONAL DURANTE EL MUESTREO

El levantamiento de información y muestras en un emplazamiento contaminado debe considerar los aspectos relacionados con el riesgo a la salud y la seguridad del personal que interviene en su desarrollo, así como de la población local si la hubiere y que puede verse afectada, debiéndose tener en consideración los siguientes aspectos:

- Considerando que las muestras pueden tener propiedades tóxicas, corrosivas, explosivas e inflamables, debe evitarse el contacto a través de la piel o las mucosas. Una protección mínima implica el uso de gafas de seguridad, de guantes de látex o de otro tipo (dependiendo de los potenciales contaminantes), de botas aislantes, protectores auditivos, ropa adecuada y uso de explosímetros.
- Acciones de contingencia frente a ingestión accidental de medios contaminados (suelos, aguas, alimentos, etc.)
- Inhalación de gases o vapores presentes o que se desprendan durante el muestreo pudiéndose emplear mascarillas y respiradores de oxígeno cuando el muestreo se realiza en pozos o áreas cerradas, y en cúmulos de residuos químicos, para ello deberá usarse detectores automáticos de gases, tubos colorimétricos.
- Prevención a la exposición a peligros físicos durante las actividades de muestreo y/o uso de la maquinaria y equipos tales como detectores de canalizaciones y tuberías enterradas.
- Exposición a riesgos eléctricos, fuego o explosiones, para ello es necesario el uso de ropa protectora especial.

Se deberá seguir los procedimientos, protocolos y directivos que están establecidas en las normas sobre seguridad e higiene a nivel nacional.



5. DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

5.1. Consideraciones generales

La hipótesis planteada acerca de la distribución espacial de la contaminación en el emplazamiento debe orientar la distribución y selección de los puntos de muestreo, de allí que sea pertinente la división de la zona en estudio en áreas de potencial interés en función a la probabilidad de encontrar contaminación.

Se debe identificar aquellas áreas que presenten una distribución similar en cuanto a la contaminación (zonas con afectación localizada y zonas en las que se sospeche afectación no localizada), discriminadas de aquellas en las que se tiene constancia de que nunca fueron utilizadas con fines industriales dentro del emplazamiento (zonas no probable de afectación). Así el esfuerzo se debe centrar en las áreas donde haya mayor incertidumbre o mayor probabilidad de existencia de contaminantes y en la que la variabilidad de la distribución de la contaminación sea mayor.

5.2. Número mínimo de puntos de muestreo

Un punto de muestreo es la ubicación espacial geo-referenciada del lugar donde se va a coleccionar las muestras sean éstas superficiales o en profundidad.

5.2.1. Para el Muestreo de Identificación

El número mínimo de puntos de muestreo se determina en función de cada área de potencial interés dentro del predio de estudio, según lo establecido en la Tabla N° 5, que abarca el número total de los puntos de muestreo, tanto superficial (área de toma de muestras compuestas) como de profundidad.

Tabla N° 5: Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50



Nota: para áreas superiores a las 100 hectáreas se deberá determinar el número mínimo de puntos de muestreo con la siguiente ecuación:

$$N = 0.1X + 40$$

Dónde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo
X=Superficie en hectáreas

El número total puntos de muestreo estará distribuido entre puntos de muestreo superficiales y de profundidad. Dicha distribución estará en función de las características del sitio, de la distribución supuesta de los contaminantes y de las rutas de exposición en estudio.

5.2.2. Para el Muestreo de Detalle

El número de puntos de muestreo de detalle está en función a los objetivos señalados en el ítem 1.3.2, en el caso de que con el muestreo de identificación y los análisis correspondientes hayan determinado que el suelo está contaminado.

La representatividad del muestreo debe justificarse adecuadamente de forma técnica de acuerdo a las características del sitio.

Para asegurar una calidad mínima de la caracterización se requiere un número mínimo de puntos de muestreo adicionales en torno a los puntos provenientes del Muestreo de Identificación que hayan superado el ECA para suelos o los Niveles de Fondo (Ver Tabla N° 6).

Por ejemplo, en el muestreo de identificación se realizaron 10 puntos de muestreo de los cuales resultaron mediante análisis 4 que superaban el ECA Suelos o niveles de fondo, en consecuencia para el muestreo de detalle se requerirán, según Tabla N° 6, 9 puntos de muestreo adicionales.

El número mínimo de puntos de muestreo representan el "mínimo de calidad" y por ello en la ejecución de una caracterización deberán tomarse muestras de un número igual o mayor de puntos de muestreo. Solo en casos particulares el mismo es adecuado, por regla común se requiere de un número mayor de puntos de muestreo.

Tabla N° 6: Número mínimo de puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle

Puntos del MI > ECA o Nivel de Fondo	Puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle
1	4
2	6
3	7
4	9
5	11
6	13
7	14
8	16
9	18
10	20
15	28
20	37
25	46
50	90

MI = Muestreo de Identificación



Cuando se requiera calcular un número mínimo de puntos de muestreo que no estén contemplados en la tabla se deberá utilizar la siguiente ecuación.

$$N = 1.75X + 2$$

Dónde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle.

X = Puntos de muestreo del MI que superaban los ECA suelos o Niveles de Fondo.

5.2.3. Para el Muestreo de Nivel de Fondo

En el caso del muestreo de fondo, se considera como punto de muestreo un área donde se obtendrán sub-muestras representativas para la conformación de una muestra compuesta. Como se señaló en el ítem 1.3.3, para el muestreo de fondo se considera un mínimo de tres puntos de muestreo en áreas homogéneas con características orográficas, geológicas, climáticas y de vegetación similares. En áreas de estudio heterogéneas con las características mencionadas, se deben duplicar el número de puntos de muestreo.

5.2.4. Para el Muestreo de Comprobación

El muestreo dependerá de las acciones de remediación ejecutadas conforme al PDS, en consecuencia se deberá tener criterios y protocolos que permitan abordar la variedad de dichas acciones.

En la presente Guía se ha considerado en el ítem 1.3.4 los criterios para el muestreo de comprobación en actividades de remediación concerniente a excavación o remoción del suelo contaminado.

Para otras actividades de remediación, tales como técnicas de mitigación in situ, confinamiento, encapsulado, atenuación natural o restricciones de uso; la comprobación de la eficacia de su aplicación estará en función de las medidas propias de la técnica, en consecuencia se debe de tomar en consideración las recomendaciones de cada técnica.





Decreto Supremo Nº 013-2010-AG

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 17° del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, aprobado por Decreto Supremo Nº 017-2009-AG, dispone que el órgano competente del Ministerio de Agricultura actualizará el Reglamento de Levantamiento de Suelos aprobado por Decreto Supremo Nº 033-85-AG, que constituye la base temática técnico-científica en el que se basa el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor.

Que, la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios, designada por Resolución Ministerial Nº 0847-2009-AG como el órgano competente del Ministerio de Agricultura para la ejecución, supervisión, promoción y difusión del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, ha propuesto el nuevo Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos, que es necesario aprobar;

De conformidad con el artículo 118°, inciso 8), de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación

Aprobar el Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos, que consta de seis (06) capítulos, veintisiete (27) artículos, una disposición complementaria final, una disposición complementaria transitoria y un anexo, los mismos que forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2°.- Derogación de reglamento anterior

Deróguese el Reglamento para la Ejecución del Levantamiento de Suelos aprobado mediante Decreto Supremo Nº 033-85-AG.

Artículo 3°.- Publicación y vigencia

El Reglamento que se aprueba por el presente Decreto Supremo entra en vigencia a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Adicionalmente, dispóngase su publicación en el portal electrónico del Ministerio de Agricultura (www.mina.gob.pe).

Artículo 4°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Agricultura

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil diez.




ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República


RAFAEL QUEVEDO FLORES
Ministro de Agricultura

REGLAMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS

Capítulo I

DE LOS FINES, OBJETIVOS Y ALCANCE

Artículo 1º.- De los fines

Son fines del presente reglamento:

- Homogenizar los criterios técnicos utilizados, por los especialistas aplicables en los diferentes niveles de levantamiento de suelos.
- Promover el uso y aplicación de la información obtenida en los estudios de levantamiento de suelos de modo tal, que constituya una herramienta obligatoria en la elaboración de los diferentes estudios ambientales (Estudios de Impacto Ambiental, Evaluaciones Ambientales Preliminares, Planes de Cierre de Minas o de alguna otra actividad, Vulnerabilidad Física, Zonificación Ecológica Económica, Zonificación Ecológica, Zonificación Agroecológica, entre otros), así como para la planificación del uso y, del manejo de cultivos silvoagropecuarios.
- Contribuir a mejorar la calidad de los levantamientos de suelos que se realizan.
- Producir y proporcionar información de suelos con base científica para ayudar a los usuarios a entender, valorar y manejar adecuadamente los recursos de la tierra.
- Facilitar los procesos de integración cartográfica de los levantamientos de suelos, realizados en estudios multidisciplinarios, inter-disciplinarios, o proyectos específicos.

Artículo 2º.- De los objetivos

Son objetivos del presente reglamento:

- Establecer métodos y procedimientos para la ejecución, presentación, revisión y aprobación de los levantamientos de suelos, y
- Lograr que los profesionales que realizan levantamiento de suelo, utilicen criterios uniformizados que permitan su integración, con los realizados en áreas vecinas, o en circunstancias diferentes, según nivel de estudio.

Artículo 3º.- Alcance

El presente reglamento es de aplicación a nivel nacional. Sus disposiciones son de cumplimiento obligatorio por los organismos público y privado, así como por todo profesional especialista, que realice levantamiento de suelos en forma independiente.

Capítulo II

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 4º.- Del titular del levantamiento o estudio

Tiene la calidad de titular, para los efectos del presente reglamento, cualquier persona natural o jurídica, nacional o extranjera, que requiera de un levantamiento de suelos.

Artículo 5º.- De la validez técnica jurídica del levantamiento de suelos

El levantamiento de suelos, para tener validez técnica-jurídica se sujetará a las normas establecidas en el presente reglamento.



Artículo 6º.- Del especialista en suelos

El levantamiento de suelos, es realizado por un profesional colegiado, especialista en la materia y con la experiencia necesaria.

Especialista en la materia es el ingeniero agrónomo con experiencia en tres (03) años en levantamiento de suelos o con estudios de post grado en suelos concluido y experiencia mínima de un (01) año en levantamiento de suelos.

Artículo 7º.- Del órgano competente para el levantamiento de suelos

El órgano competente para la aplicación del presente Reglamento, es la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios del Ministerio de Agricultura.

Artículo 8º.- Del Registro y vigencia de la inscripción

La Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios llevará el Registro Nacional de Especialistas en Levantamiento de Suelos, para lo cual emitirá las directivas que resulten necesarias.

La vigencia de la inscripción de los especialistas en levantamiento de suelos será de 2 años, renovables de acuerdo con el procedimiento que establezca la referida Dirección General.

Artículo 9º.- Del ejercicio profesional del levantamiento de suelos

El profesional que ejerza la actividad de levantamiento de suelos, deberá encontrarse registrado y habilitado en el Colegio de Ingenieros del Perú – CIP, así como inscrito en el registro de la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios del Ministerio de Agricultura.

Artículo 10º.- De la aprobación del levantamiento

Una vez realizado el levantamiento de suelos, el titular deberá presentarlo a la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios del Ministerio de Agricultura para su revisión y aprobación, de acuerdo con los métodos y procedimiento señalados en el presente Reglamento.

Artículo 11º.- De la excepción del trámite de aprobación

Los levantamientos de suelos que realice la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios, se encuentran exceptuados del trámite de aprobación, los que serán referendados por su máxima autoridad. El Ministerio del Ambiente participa como veedor de este procedimiento, a través del representante que designe.

Artículo 12º.- Definiciones técnicas empleadas en el levantamiento de suelos

Para efectos del presente Reglamento, los términos que a continuación se indican, tendrán los significados siguientes:

a. Análisis de caracterización¹

Consiste en la determinación de las características físico – mecánicas y químicas del suelo mediante procedimientos de laboratorio y comprende lo siguiente: pH, calcáreo total, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes cambiabiles, aluminio cambiabie (suelos de la región de la selva), conductividad eléctrica y textura.



¹ En el anexo figuran los métodos de análisis de laboratorio de las muestras de suelos.

b. Otros análisis

Serán realizados cuando los fines del estudio lo requieran. Pueden ser análisis físicos y/o químicos, tales como: las constantes hídricas (Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo), conductividad hidráulica saturada, para fines de riego; densidad aparente, pH con fluoruro de sodio, retención de fosfatos, sesquióxidos de aluminio y hierro, para suelos volcánicos; así como análisis de cationes solubles (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) y aniones solubles (Cl^- , SO_4 , NO_3 , HCO_3), entre otros.

c. Área mínima de mapeo

Área más pequeña que se puede representar de una manera legible, en el mapa a publicarse. Corresponde a un área equivalente a 0.5 cm² de superficie, independiente a la escala de publicación.

d. Áreas misceláneas

Son unidades esencialmente no edáficas, que pueden o no soportar algún tipo de vegetación, debido a factores desfavorables que presenta, como por ejemplo, una severa erosión activa, lavaje por intensa escorrentía superficial, condiciones desfavorables del suelo, o actividades del hombre. Por lo general, estas áreas no presentan interés o vocación para fines agropecuarios, ni forestal. Ejemplo: badlands, playas, dunas, afloramientos rocosos, etc.

e. Fases

Son grupos funcionales creados por servir a propósitos específicos en los estudios de suelos. Estas pueden ser definidas para cualquier categoría taxonómica. Las diferencias en las características del suelo o medio ambientales que son significativas para el uso, manejo y comportamiento del suelo son las bases para designar fases. Ejemplo: profundidad efectiva, pendiente, pedregosidad superficial, drenaje, clima, etc.

f. Inclusiones dentro de las unidades del mapa o cartográficas

En los estudios de suelos cada delineación de una unidad de mapa incluye virtualmente áreas de suelos o áreas misceláneas que no están identificadas en el nombre de la unidad de mapa, éstas pueden ser:

1. Similares

Cuando los suelos son parecidos en la mayoría de sus propiedades y difieren sólo en pocas cosas. Las diferencias están fuera de los rangos de características, pero no afectan las interpretaciones de uso.

2. Disimilares

Cuando los suelos difieren apreciablemente en una o más propiedades y son tan grandes que llegan a afectar las interpretaciones de uso.

g. Levantamiento de suelos

Es una investigación del suelo que se apoya en la información de campo y de otras disciplinas científicas como ecología, geomorfología y geología; el resultado es un mapa en el que se muestra la distribución geográfica o espacial de los diferentes suelos del área que se evalúa, acompañado por un reporte o memoria donde se define, clasifica e interpreta las diferentes clases de suelos. Las interpretaciones predicen como se comportan los suelos para los diferentes usos y como responden al manejo.



El término levantamiento de suelos, se equipara también a estudio agrológico, estudio de suelos o cartografía de suelos.

h. Mapeo de suelos

Consiste en la localización, identificación, descripción, clasificación y delimitación sobre un mapa, de las diferentes unidades edáficas de un área determinada utilizando materiales cartográficos y de sensores remotos, con el apoyo de información de otras disciplinas científicas como ecología, geomorfología y geología, además de la pedología.

i. Métodos de distribución de las observaciones de suelos

1. Mapeo libre

Método en el cual las observaciones de campo se espacian y localizan, según las unidades cartográficas establecidas por interpretación de fotografías aéreas u otro medio de sensores remotos. Asimismo, dichas observaciones se establecen de acuerdo a la experiencia del evaluador y a la presencia de suelos según los diferentes paisajes.

2. Rastreo de límites

Método que consiste en el seguimiento de los límites tentativos de suelos para su definición. Se utiliza en levantamientos muy detallado de suelos.

3. Red rígida

Método en el que las observaciones se hacen siguiendo un distanciamiento rígido. Este método se usa, principalmente, en levantamientos o estudios detallados y de bajo contraste fisiográfico. Generalmente, implica una multiplicación de observaciones o, en su defecto, la realización de observaciones en áreas no representativas.

4. Red flexible

Similar al método de Red Rígida, pero en el que las observaciones no tienen un distanciamiento fijo o riguroso.

5. Transecto

Método en el que las observaciones se hacen siguiendo generalmente, una línea recta que cruza el mayor número de unidades del mapa fisiográfico previamente elaborado. Se usa principalmente en levantamientos o estudios de poco nivel de detalle.

6. Travesía

Similar al Transecto, pero en este caso no se sigue una orientación rígida en el desplazamiento. Pueden realizarse algunas desviaciones en la ruta, con el fin de obtener mayor información.

j. Muestras de suelos

Porción de suelo de aproximadamente 1.0 Kg de peso obtenida de cada horizonte del perfil, debidamente identificada con el nombre del proyecto o estudio, nomenclatura y profundidad del horizonte y fecha del muestreo, para su posterior envío y análisis en laboratorio. Es obtenida manualmente de cada estrato u horizonte de la calicata o perfil del suelo.



k. Observaciones de suelos

Consiste en la descripción, identificación y evaluación de las características de los horizontes de suelos determinados en calcatas, barrenajes y/o en cortes naturales del terreno.

Las observaciones de suelos son:

1. Calcatas

Son excavaciones en el terreno, de aproximadamente 1.50m de largo, 0.80m de ancho y 1.50 a 2.00m de profundidad, aproximadamente. Esta profundidad puede variar debido a la presencia de factores limitantes tales como capas endurecidas, elevada gravosidad o pedregosidad dentro del perfil, afloramientos rocosos, capa freática cerca de la superficie, etc.

2. Chequeos detallados

Excavaciones en el terreno, formando un hoyo de aproximadamente 50 cm. de lado y de aproximadamente 50 cm de profundidad, seguida de barrenaje para identificar las partes más profundas del perfil. Se utiliza para comprobar y/o reconocer las unidades taxonómicas ya establecidas.

3. Chequeos de identificación

Son barrenajes u observaciones en cortes naturales o de carreteras, que permiten comprobar las unidades taxonómicas establecidas.

l. Observaciones adicionales

Son aquellas que contribuyen a una mejor interpretación del levantamiento de suelos. Ejemplo: riesgos de inundaciones, uso de la tierra, forma de tenencia de la propiedad, manejo actual de la tierra, entre otras.

m. Pedón

Es un cuerpo de suelos tridimensional con dimensiones laterales suficientemente grandes para permitir el estudio de las formas y relaciones de los horizontes. Su área varía de 1 a 10 metros cuadrados, y es la unidad de suelo más pequeña que puede ser clasificada.

El Pedón consiste de materiales de la corteza superficial (suelo) que han sido modificados por el clima, organismos vivos y relieve. Este sirve también como una unidad estándar para las descripciones de suelos y para la obtención de muestras para el laboratorio.

n. Perfil modal

Perfil representativo de un grupo de perfiles o calcatas con características físicas, morfológicas y químicas similares, que representa a una determinada unidad taxonómica de suelos.

o. Polipedón

Es un grupo contiguo de pedones similares. Los límites de un polipedón son alcanzados en un lugar donde no hay suelo o donde los pedones tienen características que difieren significativamente.



Los límites del polipedón son los límites conceptuales entre series de suelos. Cada polipedón es clasificado dentro de algunas categorías del Sistema del Soil Taxonomy. El polipedón es lo que se mapea y se presenta en los mapas de suelos.

p. Suelo

Es la colección de cuerpos naturales sobre la superficie terrestre, en lugares naturales, modificados o aún hechos por el hombre, a partir de materiales de la tierra, conteniendo organismos vivos y que soportan o son capaces de soportar plantas. Su límite superior es el aire o agua superficial. Sus márgenes gradan a aguas profundas o áreas estériles de roca o hielo. Su límite inferior al no suelo es quizás el más difícil de definir. El suelo incluye horizontes, cerca de la superficie, que difieren del material rocoso subyacente, pues son producto de interacciones de diferentes factores que intervienen en su formación, a través del tiempo, del clima, organismos vivos, materiales parentales y relieve.

q. Taxón (pl. taxa) unidad taxonómica

Es un grupo taxonómico en un sistema formal de nomenclaturas, se refiere a cualquier categoría de la taxonomía de suelos.

Una categoría está conformada por un conjunto de suelos que son definidos dentro del mismo nivel de generalización o abstracción. La taxonomía de suelos según el Sistema del Soil Taxonomy (USDA, 1999) establece seis categorías que son:

1. Orden

Categoría que agrupa suelos diferenciados por la presencia o ausencia de horizontes diagnósticos, o por características que expresen las diferencias en el grado y clase de los procesos de formación.

2. Sub orden

Categoría que agrupa suelos según su homogeneidad genética. Se establece mediante la subdivisión de órdenes, en base a la presencia o ausencia de características asociadas con humedad, regímenes de humedad, regímenes de temperatura, material parental y estado de la descomposición de la vegetación en caso de los Histosols.

3. Gran grupo

Categoría que agrupa suelos que tienen en común las siguientes propiedades:

- Estrecha similitud en la clase, arreglo y grado de expresión de sus horizontes
- Estrecha similitud en los regímenes de humedad y temperatura
- Presencia o ausencia de capas de diagnóstico (fragipán, duripán, plintita, etc.)
- Similitud en el nivel de saturación de bases

4. Sub grupo

Categoría que agrupa suelos que tienen propiedades, que aunque aparentemente subordinadas, aún son rasgos de procesos importantes de desarrollo edáfico.



Existen tres clases de subgrupos:

- El "concepto central" que tipifica el Gran Grupo
- Los integrados o transiciones a otros Ordenes, Sub-Ordenes y Grandes Grupos; y
- Los extragrados que tienen algunas propiedades no representativas del Gran Grupo y que no indican transición o alguna clase conocida de suelos.

5. Familia

Categoría que agrupa suelos de un Sub Grupo que tienen propiedades químicas y físicas similares, pero que difieren sus respuestas al uso y manejo.

6. Serie

Categoría que se establece en base a la clase y ordenamiento de los horizontes; características morfológicas, químicas, físicas y mineralógicas de los horizontes.

La atención se centra en los horizontes genéticos por debajo de la profundidad normal de aradura o, si ellos están ausentes, o son tenues o delgados, en la zona de mayor actividad biológica, por debajo de la profundidad normal de aradura.

f. Taxadjunto

Referido a clases de suelos que tienen propiedades que están fuera de los rangos establecidos para las series reconocidas; éstas difieren en tan pocas propiedades y en un rango tan pequeño, que no afectan las interpretaciones de uso. Al taxadjunto se le da el nombre de la serie establecida.

Es un "adjunto a", pero no "parte de" la serie que lo nomina; es tratado como un miembro de la misma y sus interpretaciones son similares a aquellas de sus fases comprobables. Las diferencias con la serie son descritas en el informe.

5. Unidad cartográfica (unidad de mapa)

Es el área delimitada y representada por un símbolo en el mapa de suelos; está definida y nominada en función de su o sus componentes dominantes, las cuales pueden ser suelos, o áreas misceláneas o ambos. Asimismo, contiene inclusiones de otros suelos o áreas misceláneas, con las que tienen estrecha vinculación geográfica.

t. Clases de unidades cartográficas

Unidades de mapa dominadas por una clase simple de suelos o áreas misceláneas, son Consociaciones. Las unidades dominadas por dos o más clases o áreas misceláneas son complejos, asociaciones, o grupos indiferenciados, dependiendo de la regularidad de los patrones y del tamaño y contraste de los componentes individuales.

Todas las unidades del mapa generalmente contienen inclusiones de suelos o áreas misceláneas que no están identificadas en el nombre.



1. Consociación

Es una unidad cartográfica que tiene un solo componente en forma dominante, el cual puede ser suelo o área miscelánea. La cantidad total de inclusiones disímilares, en cualquier delineación, generalmente no excede del 15%. El suelo en una Consociación puede ser identificado con cualquier categoría taxonómica.

En una Consociación en que predominan áreas misceláneas, las inclusiones, si son de suelos, no deben ser mayores de 15% y si son de otras clases de áreas misceláneas, no deben ser mayores de 25%.

Las Consociaciones son nominadas por el nombre del suelo o área miscelánea que domina la unidad de mapa, anteponiendo la palabra "Consociación".

2. Complejo

Es una unidad de mapa que contiene dos o más suelos disímilares o áreas misceláneas, que se encuentran en patrones geográficos intrincados y cuyos componentes principales no pueden ser mapeados separadamente. La cantidad total de inclusiones disímilares a cualquiera de sus componentes principales no excede del 15% en cualquier delineación.

El nombre de estas unidades se forma anteponiendo la palabra "Complejo" a los nombres de los taxa que la forman predominantemente, unida por guiones; los taxa son usualmente Serie de suelos y puede consistir de más de una fase de las Series o de una Serie y su Variante.

Ejemplo: Complejo Tambo-Lagarto; Complejo Tambo-Afloramiento Lítico; Complejo Huallaga-Variante Calcárea.

Los complejos se usan en estudios Detallados y Semidetallados.

3. Asociación

Es una unidad de mapa que contiene dos o más suelos o áreas misceláneas, cuyos componentes principales no se pueden separar a escalas pequeñas, pero sí a escalas grandes, pues los suelos ocupan porciones geográficas considerables. Se usan en estudios de reconocimiento o más generalizados. La cantidad total de inclusiones disímilares a cualquiera de los componentes no excede del 15% en cualquier delineación. El nombre de estas unidades se forma anteponiendo la palabra "Asociación" a los nombres de las taxa, que son usualmente Series de suelos y pueden estar dominados por taxa de categoría más alta. Si un área miscelánea es un componente principal, su nombre es usado como si fuera el nombre de un taxón. Ejemplo: Asociación Ustepts-Aquepts.

4. Grupos indiferenciado

Consiste de dos o más suelos que no presentan una asociación geográfica definida, pero que son mapeados juntos debido a alguna característica común tal como pendiente, pedregosidad o inundación que determina su potencial para uso y manejo similar.



La palabra "Y" une los nombres de la taxa que dominan la unidad y la palabra "Suelos", los distingue de los Complejos, Asociaciones y Consociaciones.

Ejemplo: "Suelos Tambo y Lagarto", indica que uno de los dos, o posiblemente ambos, pueden estar en una delineación particular del mapa.

u. **Tierra²**

La Tierra comprende el ambiente físico, que incluye al clima, relieve, suelo, hidrología y vegetación, al grado que estos influyen al potencial de uso de la tierra. Incluye los resultados de la actividad humana pasada y presente, como por ejemplo la recuperación de suelos del mar, desmonte de la vegetación, y también de resultados adversos, como por ejemplo la salinización.

v. **Variante de series de suelos**

Se refiere a algunas clases únicas de suelos que no ocupan un área total lo suficientemente grande para garantizar su correlación como una Serie establecida. Las Variantes difieren lo suficiente en una o más propiedades de las Series que las denominan de tal modo que las interpretaciones de uso para sus fases comparables son diferentes. Son nombrados adicionando la palabra "Variante" al nombre de la Serie más estrechamente relacionada.

Ejemplo: Variante alfa.

Capítulo III DEL LEVANTAMIENTO DE SUELOS

Artículo 13^o.- Del levantamiento de suelos

El levantamiento de suelos es una investigación del suelo que se apoya en la información de campo y de otras disciplinas científicas como: ecología, geomorfología y geología. El resultado es un mapa en el que se muestra la distribución geográfica o espacial de los diferentes suelos del área que se evalúa, acompañada por un reporte o memoria donde se define y clasifica de acuerdo al Sistema Soil Taxonomy, e interpreta las diferentes clases de suelos. Las interpretaciones predicen cómo se comportan los suelos para los diferentes usos y como responden al manejo.



Artículo 14^o.- Aplicaciones del levantamiento de suelos

Los levantamientos de suelos se aplican en la implantación y el manejo de los cultivos, pasturas y árboles, así como para determinar el potencial agropecuario y forestal (capacidad de uso mayor) y el potencial irrigable de los suelos.

También, en las actividades de planificación del uso de la tierra, sea a nivel nacional, regional y local, así como en los estudios de Zonificación Ecológica, Zonificación Ecológica - Económica, Ordenamiento Territorial, Ordenamiento Ambiental, y Estudios de Impacto Ambiental, para la determinación de los impactos que puedan producir las diferentes actividades antrópicas, sobre los suelos, que permitan tomar decisiones y plantear medidas de manejo y conservación, para evitar, disminuir o mitigar su deterioro.



² Concepto presentado en el FAO Soils Bulletin N° 32. A Framework for land evaluation, FAO, 1976

Capítulo IV

DE LOS NIVELES DE EJECUCIÓN DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS

Artículo 15°.- Del objetivo del levantamiento de suelos

El levantamiento de suelos tiene como objetivo identificar y caracterizar los diferentes tipos de suelos de un área determinada, a fin de establecer su uso.

Artículo 16°.- De los niveles de levantamiento

Los niveles de levantamiento de suelos, de mayor a menor detalle, son los siguientes:

1. Muy detallado o de primer orden
2. Detallado o de segundo orden
3. Semidetallado o de tercer orden
4. Reconocimiento o de cuarto orden
5. Exploratorio o de quinto orden

Artículo 17°.- Del nivel muy detallado o de primer orden

El nivel muy detallado o de primer orden se realiza para usos muy intensivos del suelo, que requieran información muy detallada de las características, distribución y su variabilidad. Generalmente son realizados en pequeñas áreas y para resolver problemas específicos.

Estos estudios se realizan para fines de planificación del riego y drenaje, cultivos, parcelas experimentales, lugares de edificación y otros usos, que requieran un conocimiento muy preciso y detallado de los suelos, y su variabilidad.

Las especificaciones técnicas a que se sujetarán los levantamientos muy detallados son:

- a) Material de teledetección necesario:
Uno o más de los siguientes materiales, cuando sea necesario:
 - Fotografías aéreas recientes, pancromática o colores, normales, verticales, a escala 1:8 000 o mayor.
 - Imágenes de satélite de alta resolución espacial (menor de 1m), a escala 1:5 000 o mayor.
- b) Material cartográfico necesario:
Uno o más de los siguientes materiales:
 - Mosaico controlado, a escala 1:5 000 o mayor
 - Ortofotomapa, a escala 1:5 000 o mayor
 - Carta fotogramétrica, a escala 1:5 000 o mayor
 - Plano topográfico o carta fotogramétrica, a escala 1:5 000 o mayor, con curvas de nivel cada 5m como máximo.
- c) Unidad fisiográfica: división del elemento del paisaje, cuando sea necesario
- d) Unidad taxonómica: serie de suelos. Las fases de las series, así como los taxadjuntos y las variantes de la serie se determinarán cuando sean necesarias.
- e) Unidad cartográfica: a nivel de asociaciones y complejos.
- f) Mapa base de trabajo: se elaborará a la escala de 1:5 000 o mayor.
- g) Tamaño mínimo de la unidad del mapa: 0.5 cm².
- h) Procedimiento de campo: los suelos son identificados en el campo por observación directa y sus límites se realiza recorriendo toda su extensión. La



utilización de la información procedente de la teledetección es usada como una ayuda en la delimitación del límite.

No se utiliza área muestra, el levantamiento de suelos se realiza en toda el área.

- i) Método de mapeo: los suelos son identificados mediante la utilización de la red rígida, complementada por el rastreo de límites.
- j) Intensidad de observaciones: se hará por lo menos una (01) calicata y tres (03) chequeos por cada hectárea, necesarios para delimitar la unidad de suelos.
- k) En las muestras de suelo se debe realizar análisis de caracterización. Los análisis deben ser efectuados en laboratorios de confiabilidad técnico-científica que garanticen la calidad de los resultados, de preferencia certificados por la autoridad del sector competente. Se incluirán otros análisis cuando la exigencia del estudio lo requiera.
- l) El reporte del laboratorio deberá mencionar el nombre del método utilizado en cada una de las determinaciones realizadas
- l) Escala del mapa publicado: 1:10 000 o mayor.

Artículo 18°.- Del nivel detallado o de segundo orden

El nivel detallado o de segundo orden se realiza para usos intensivos del suelo que requieren información precisa de las características, distribución y su variabilidad.

Estos estudios permiten hacer predicciones de adaptabilidad de uso y tratamiento necesario de los cultivos, planeamiento de la agricultura en general, construcción u obras de ingeniería, desarrollo urbano, evaluaciones de impacto ambiental detallado, zonificación agroecológica, microzonificación ecológica económica y usos similares.

Se considera apropiado para los proyectos de desarrollo a nivel definitivo o de ejecución.

Las especificaciones técnicas a que se sujetarán los levantamientos detallados son:

- a) Material de teledetección necesario.
Uno o más de los siguientes materiales, cuando sea requerido:
 - Fotografías aéreas recientes, pancromática o colores, normales, verticales a escala 1:10 000 o mayor.
 - Imágenes de satélite de alta resolución espacial (menor de 1m), a escala 1:10 000 o mayor.
- b) Material cartográfico necesario.
Uno o más de los siguientes materiales:
 - Mosaico controlado, a escala 1:10 000 a 1:5 000
 - Ortofotomapa, a escala 1:10 000 a 1:5 000
 - Carta fotogramétrica, a escala 1:10,000 a 1:5,000
 - Plano topográfico a escala 1:5 000 o mayor, con curvas de nivel cada 10m como máximo.Excepcionalmente podrá utilizarse materiales a escalas mayores.
- c) Unidad fisiográfica: elemento del paisaje, o subdivisión de esta cuando sea necesario.
- d) Unidad taxonómica: serie de suelos; las fases de series, los taxadjuntos y las variantes de la serie, se determinarán cuando sea necesario.
- e) Unidad cartográfica: consociaciones y complejos, ocasionalmente pueden haber grupo indiferenciado.
- f) Mapa base de trabajo: de 1:10 000 o mayor.
- g) Tamaño mínimo de la unidad del mapa: 0.5cm².



- h) Procedimiento de campo: Los suelos son identificados por observación directa en el campo e interpretación de la información de teledetección. Los límites de las unidades de suelos son verificados a intervalos cortos. No se utiliza área muestra, el levantamiento de suelos se realiza en toda el área.
- i) Método de mapeo.- Los suelos son identificados mediante la utilización de la red rígida, complementada con algunas travesías y transectos, excepcionalmente red flexible.
- j) Intensidad de observaciones.- Se hará por lo menos cuatro (04) calicatas y diez (10) chequeos por cada 100 hectáreas, distribuidos regularmente.
- k) En las muestras de suelo se debe realizar análisis de caracterización. Los análisis deben ser efectuados en laboratorios de confiabilidad técnico-científica que garanticen la calidad de los resultados, de preferencia certificados por la autoridad del sector competente. Se incluirán otros análisis cuando la exigencia del estudio lo requiera.
- l) El reporte del laboratorio deberá mencionar el nombre del método utilizado en cada una de las determinaciones realizadas.
- l) Escala del mapa publicado: 1:20 000 o mayor.

Artículo 19º.- Del nivel semidetallado o de tercer orden

El nivel semidetallado o de tercer orden se realiza para uso extensivo del suelo que no requiera conocimiento preciso de sus características, distribución y variabilidad

Estos estudios se hacen para planeamiento del uso y manejo de pastos, bosques y áreas recreacionales, así como para el planeamiento comunal, evaluación de impacto ambiental semidetallados, mesozonificación ecológica económica y en usos similares extensivos de la tierra.

Se considera apropiada para los proyectos de desarrollo al nivel de factibilidad.

Las especificaciones técnicas a que se sujetarán los levantamientos Semidetallados son:

- a) Material de teledetección necesario
Uno o más de los siguientes materiales:
 - Fotografías aéreas recientes, pancromática o colores, normales, verticales a escala 1:25 000 o mayor
 - Imágenes de satélite con resolución espacial de 1m a 5m, a escala 1:25 000 o mayor.
- b) Material cartográfico necesario
Uno o más de los siguientes materiales:
 - Mosaico controlado, a escala 1:25 000 a 1:10 000
 - Ortofotomapa, a escala 1:25 000 a 1:10 000
 - Carta fotogramétrica, a escala 1:25 000 a 1:10 000
 - Plano topográfico, a escala 1:25 000 a 1:10 000.
 Excepcionalmente podrá utilizarse materiales a escalas mayores.
- c) Unidad fisiográfica: elemento del paisaje.
- d) Unidad taxonómica: familia o serie de suelos. Las fases de serie o de familia, los taxadjuntos y las variantes de la serie, se determinarán cuando sean necesarias. Las áreas misceláneas se determinarán cuando exista.
- e) Unidad cartográfica: coneociaciones, asociaciones, grupos indiferenciados y complejos.
- f) Mapa base de trabajo: de 1:25 000 o mayor.
- g) Tamaño mínimo de la unidad del mapa: 0.5cm².



- h) Procedimiento de campo: los suelos son identificados por observación directa en el campo e interpretación de la información de teledetección. Los límites de las unidades de suelos son verificados con algunas observaciones de campo. Se utiliza área muestra, que será como mínimo el 30% de la superficie total, que represente la variabilidad edáfica del área de estudio.
- i) Método de mapeo: el levantamiento de información de campo se realiza mediante travesía en las áreas muestras y extrapolación o interpolación en zonas similares. Chequeos adicionales y transectos son hechos para verificación.
- j) Intensidad de observaciones: por lo menos dos (02) calcatas y seis (06) chequeos por cada 100 hectáreas.
- k) En las muestras de suelo se debe realizar análisis de caracterización. Los análisis deben ser efectuados en laboratorios de confiabilidad técnico-científica que garanticen la calidad de los resultados, de preferencia certificados por la autoridad del sector competente. Se incluirán otros análisis cuando la exigencia del estudio lo requiera.
- l) El reporte del laboratorio deberá mencionar el nombre del método utilizado en cada una de las determinaciones realizadas
- m) Escala del mapa publicado: 1:50 000 o mayor.

Artículo 20º.- Del nivel de reconocimiento o de cuarto orden

El nivel de reconocimiento o cuarto orden se realiza para usos extensivos del suelo que requieren información general.

Estos estudios se hacen para localizar, seleccionar y comparar áreas apropiadas para las principales clases de uso de la tierra, así como para planeamiento regional, macrozonificación ecológica económica y para seleccionar áreas para estudio de mayor nivel de detalle.

Se considera apropiado para proyectos de desarrollo a nivel de prefactibilidad.

Las especificaciones técnicas a que se sujetarán los levantamientos de reconocimiento son:

- a) Material de teledetección necesario.
Uno o más de los siguientes materiales:
- Fotografías aéreas recientes, pancromática o colores, normales, verticales a escala 1:60 000 o mayor
 - Imágenes de satélite con resolución espacial de 10 a 30m, a escala 1:100 000 o mayor.
 - Imágenes de Radar con resolución Standard de 25m, a escala 1:100 000 o mayor.
- b) Material de Cartográfico necesario
Uno o más de los siguientes materiales:
- Mosaico controlado, a escala 1:100 000 a 1:50 000
 - Ortofotomapa, a escala 1:100 000 a 1:50 000
 - Carta fotogramétrica o nacional, a escala 1:100 000 a 1:50 000
- Excepcionalmente podrá utilizarse materiales a escalas mayores.
- c) Unidad fisiográfica: subpaisaje o paisaje.
- d) Unidad taxonómica: subgrupo o gran grupo de suelos. Las áreas misceláneas se determinarán cuando exista. Las fises de subgrupo o gran grupo se determinarán cuando sean necesarias.
Excepcionalmente familias y series.



Artículo 17°.- Régimen promocional por certificación forestal voluntaria

Los titulares que obtengan la certificación forestal voluntaria a que se refiere el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, gozarán de un descuento en el pago por derecho de aprovechamiento, conforme al detalle siguiente:

Caso	Condición	Descuento
a)	Por la suscripción del contrato con fines de certificación forestal con una empresa certificadora y que hubiera sido objeto de al menos una evaluación o "scoping" en el área de la concesión.	10 %
b)	Cuando haya accedido a la certificación forestal. El descuento se hará efectivo a partir de la fecha de emisión del certificado correspondiente. Si el titular de la concesión perdiera la certificación forestal, perderá también el descuento correspondiente a partir de la fecha en que se produzca este evento.	40%

Aquellos titulares, que a la fecha se encuentren acogidos al presente régimen, el recálculo de su derecho de aprovechamiento, será efectuado de oficio por la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre a partir de la entrada en vigencia del presente régimen excepcional.

Artículo 18°.- Régimen promocional por proyectos integrales**18.1 Proyectos integrales de extracción y transformación.**

Los titulares, que implementen proyectos integrales de extracción y transformación en plantas de procesamiento de acuerdo a lo señalado por el numeral 31.3 del artículo 31° de la Ley N° 27308, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, gozarán de los siguientes descuentos:

Caso	Nivel de transformación	Ubicación de la planta	Descuento
a)	Transformación primaria	En el área de la concesión o dentro del territorio adyacente	30%
b)	Transformación primaria	Fuera del ámbito indicado en a)	50%
c)	Transformación secundaria	Dentro del territorio nacional	20%
d)	Transformación primaria y secundaria	Dentro del territorio nacional	40%

18.2 Proyectos integrales de aprovechamiento forestal de otros productos del bosque.

Los titulares, que implementen proyectos integrales de aprovechamiento forestal de otros productos del bosque, diferentes a los que motivaron el otorgamiento de su derecho de aprovechamiento, siempre que lo hayan previsto en sus respectivos planes de manejo aprobados, gozarán del siguiente descuento promocional:

Porcentaje del área de aprovechamiento de otros productos del bosque	Descuento en el derecho de aprovechamiento
Hasta el 10% del área de la concesión	15%
Superior al 10% hasta el 20% del área de la concesión	20%
Superior al 20% del área de la concesión	25%

CAPÍTULO V**GARANTÍAS DE FIEL CUMPLIMIENTO DE LOS CONTRATOS DE CONCESIÓN****Artículo 19°.- De las garantías de fiel cumplimiento de los contratos de concesión**

Durante la vigencia del presente régimen las Administraciones Técnicas Forestales (ATFFS) o quienes hagan sus veces, deberán de garantizar el efectivo cumplimiento de la renovación de las garantías de fiel cumplimiento de los contratos de concesión.

391884-1

Aprueban Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso MayorDECRETO SUPREMO
N° 017-2009-AG

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:

CONSIDERANDO:

Que, el inciso b) del artículo 3° de la Ley N° 28521, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, considera recursos naturales, el suelo, subsuelo y las tierras según su capacidad de uso mayor: agrícolas, pecuarias, forestales y de protección;

Que, mediante el Decreto Supremo N° 0062-75-AG, se aprobó el Reglamento de Clasificación de Tierras, cuyo contenido es necesario actualizar;

Que, el numeral 49.1 del artículo 49° del Reglamento de la Ley N° 27308, aprobado por Decreto Supremo N° 014-2001-AG, establece que las tierras se clasifican según su capacidad de uso mayor, de acuerdo al reglamento aprobado por decreto supremo referendado por el Ministro de Agricultura;

En uso de la facultad conferida por el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú y numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 20158 - Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Apruébese el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, que consta de Seis (06) Capítulos, Diecisiete (17) Artículos, una (01) Disposición Especial y Cuatro (04) Anexos, el mismo que forma parte del presente Decreto Supremo.

Artículo 2°.- El Ministerio de Agricultura, por medio de su órgano competente, es el responsable de la ejecución, supervisión, promoción y difusión de la Clasificación de Tierras en el ámbito nacional, en concordancia con el Ministerio del Ambiente, como autoridad encargada de promover la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, entre ellos el recurso suelo.

Artículo 3°.- El Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor es de alcance nacional. Su aplicación corresponde a los usuarios del suelo en el contexto agrario, a las instituciones públicas y privadas, así como a los gobiernos regionales y locales.

Artículo 4°.- Deróguese el Reglamento de Clasificación de Tierras aprobado por Decreto Supremo N° 0062-75-AG.

Artículo 5°.- El presente Decreto Supremo será referendado por el Ministro de Agricultura.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, el primer día del mes de noviembre del año dos mil nueve.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la RepúblicaADOLFO DE CÓRDOVA VÉLEZ
Ministro de Agricultura**REGLAMENTO DE CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR SU CAPACIDAD DE USO MAYOR****CAPÍTULO I****DE LOS FINES Y ALCANCES**

Artículo 1°.- De la finalidad y alcances de la reglamentación sobre capacidad de uso mayor de las tierras

a) Promover y difundir el uso racional continuado de recurso suelo con el fin de conseguir de este recurso el óptimo beneficio social y económico dentro de la concepción y principios del desarrollo sostenible.

b) Evitar la degradación de los suelos como medio natural de bioproducción y fuente alimentaria, además de no comprometer la estabilidad de las cuencas hidrográficas y la disponibilidad de los recursos naturales que la conforman.

c) Establecer un Sistema Nacional de Clasificación de las Tierras según su Capacidad de Uso Mayor adecuado a las características ecológicas, edáficas y de la diversidad de ecosistemas de las regiones naturales del país.

d) El presente Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor permite caracterizar el potencial de suelos en el ámbito nacional, determinando su capacidad e identificando sus limitaciones, todo ello dentro del contexto agrario, permitiendo implementar medidas de conservación y aprovechamiento sostenido.

e) El Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor es de alcance nacional, correspondiendo su aplicación a los usuarios del suelo en el contexto agrario, la Zonificación Ecológica Económica y el Ordenamiento Territorial, las instituciones públicas y privadas, así como por los gobiernos regionales y locales.

CAPÍTULO II

DE LAS CONSIDERACIONES GENERALES

Artículo 2º.- Alcances del término Tierra

Para fines del presente Reglamento el término tierra involucra a los componentes: clima (zonas de vida), suelo y relieve.

Artículo 3º.- Del Sistema Nacional de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor

El Sistema Nacional de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor establecido por el presente Reglamento, es un sistema interpretativo de los estudios de suelos, con la ayuda de información climática (zonas de vida) y de relieve.

Artículo 4º.- Interpretación de la Capacidad de Uso Mayor

La Capacidad de Uso Mayor (CUM) correspondiente a cada unidad de tierra, es determinada mediante la interpretación cuantitativa de las características edáficas, climáticas (zonas de vida) y de relieve, los que intervienen en forma conjunta.

Artículo 5º.- Reclasificación de unidad de tierra

Como Sistema dinámico permite la reclasificación de una unidad de tierra, cuando los cambios de los parámetros edáficos o de relieve, hayan incidido en el cambio de su capacidad de uso, producto de prácticas tecnológicas adecuadas como, irrigación, rehabilitación de condiciones salinas y mal drenaje, andenería y otras.

Artículo 6º.- Sistema sujeto a cambios

El presente Sistema está sujeto a cambios a medida que se obtengan nuevas informaciones y conocimiento sobre el comportamiento y respuesta de las Tierras a las prácticas o sistemas de manejo.

Artículo 7º.- Carácter sustancial del Sistema

Todo Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor (CUM) representa el basamento inicial donde se apoyan las políticas y acciones para el auténtico manejo y conservación del recurso suelo y de los otros recursos naturales conexos.

CAPÍTULO III

DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR SU CAPACIDAD DE USO MAYOR

Artículo 8º.- Aspectos Conceptuales

a. La Capacidad de Uso Mayor de una superficie geográfica es definida como su aptitud natural para producir en forma constante, bajo tratamientos continuos y usos específicos.

b. La Clasificación de las Tierras según su Capacidad de Uso Mayor es un sistema eminentemente técnico-

interpretativo cuyo único objetivo es asignar a cada unidad de suelo su uso y manejo más apropiado. Esta labor, que traduce el lenguaje puramente científico del estudio de suelos a un lenguaje de orden práctico, se denominará "interpretación". Las interpretaciones son predicciones sobre el comportamiento del suelo y los resultados que se puede esperar, bajo determinadas condiciones de clima y de relieve, así como de uso y manejo establecidas.

c. Las características edáficas consideradas en el presente reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor son las siguientes: pendiente, profundidad efectiva, textura, fragmentos gruesos, pedregosidad superficial, drenaje interno, pH, erosión, salinidad, peligro de anegamiento y fertilidad natural superficial.

d. Las características climáticas consideradas en la Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor son las siguientes: precipitación, temperatura, evapotranspiración, todas influenciadas por la altitud y latitud. Todas ellas son consideradas en las zonas de vida (Holdridge).

e. Una unidad de tierra clasificada para una aptitud determinada, debe ser para su uso sostenible, es decir, para una productividad óptima y permanente bajo un sistema de manejo establecido. Ello implica que el uso asignado deberá conducir a la no degradación del suelo, por procesos tales como de erosión, salinización, hidromorfismo u otros.

Artículo 9º.- Categorías del Sistema de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor

El Sistema de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor está conformado por tres (03) categorías de uso: Grupo de Capacidad de Uso Mayor, Clase de Capacidad de Uso Mayor, Subclase de Capacidades de Uso Mayor.

8.1 Grupo de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras

Esta categoría representa la más alta abstracción del Sistema, agrupa a las tierras de acuerdo a su máxima vocación de uso, es decir, a tierras que presentan características y cualidades similares en cuanto a su aptitud natural para la producción sostenible, de cultivos en limpio, cultivos permanentes, pastos, producción forestal, las que no reúnen estas condiciones son consideradas tierras de protección. El grupo de capacidad de uso mayor es determinado mediante el uso de las claves de las zonas de vida.

Los cinco (05) grupos de CUM establecido por el presente reglamento, son:

(a) Tierras Aptas para Cultivo en Limpio (Símbolo A)

Reúne a las tierras que presentan características climáticas, de relieve y edáficas para la producción de cultivos en limpio que demandan remociones o araduras periódicas y continuadas del suelo. Estas tierras, debido a sus características ecológicas, también pueden destinarse a otras alternativas de uso, ya sea cultivos permanentes, pastos, producción forestal y protección, en concordancia a las políticas e interés social del Estado, y privado, sin contravenir los principios del uso sostenible.

(b) Tierras Aptas para Cultivos Permanentes (Símbolo C)

Reúne a las tierras cuyas características climáticas, relieve y edáficas no son favorables para la producción de cultivos que requieren la remoción periódica y continuada del suelo (cultivos en limpio), pero permiten la producción de cultivos permanentes, ya sean arbustivos o árboles (frutales principalmente). Estas tierras, también pueden destinarse, a otras alternativas de uso ya sea producción de pastos, producción forestal, protección en concordancia a las políticas e interés social del Estado, y privado, sin contravenir los principios del uso sostenible.

(c) Tierras Aptas para Pastos (Símbolo P)

Reúne a las tierras cuyas características climáticas, relieve y edáficas no son favorables para cultivos en limpio, ni permanentes, pero sí para la producción de

pastos naturales o cultivados que permitan el pastoreo continuado o temporal, sin deterioro de la capacidad productiva del recurso suelo. Estas tierras según su condición ecológica (zona de vida), podrán destinarse también para producción forestal o protección cuando así convenga, en concordancia a las políticas e interés social del Estado, y privado, sin contravenir los principios del uso sostenible.

(d) Tierras Aptas para Producción Forestal (Símbolo F)

Agrupar a las tierras cuyas características climáticas, relieve y edáficas no son favorables para cultivos en limpio, permanentes, ni pastos, pero, si para la producción de especies forestales moderables. Estas tierras, también pueden destinarse, a la producción forestal no moderable o protección cuando así convenga, en concordancia a las políticas e interés social del Estado, y privado, sin contravenir los principios del uso sostenible.

(e) Tierras de Protección (Símbolo X)

Están constituidas por tierras que no reúnen las condiciones edáficas, climáticas ni de relieve mínimas requeridas para la producción sostenible de cultivos en limpio, permanentes, pastos o producción forestal. En este sentido, las limitaciones o impedimentos tan severos de orden climático, edáfico y de relieve determinan que estas tierras sean declaradas de protección.

En este grupo se incluyen, los escenarios glaciáticos (havadós), formaciones líticas, tierras con cárcavas, zonas urbanas, zonas mineras, playas de litoral, centros arqueológicos, ruinas, cauces de ríos y quebradas, cuerpos de agua (lagunas) y otros no diferenciados, las que según su importancia económica pueden ser destinadas para producción minera, energética, fósiles, hidro-energía, vida silvestre, valores escénicos y culturales, recreativos, turismo, científico y otros que contribuyen al beneficio del Estado, social y privado.

9.2 Clase de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras.

Es el segundo nivel categorico del presente Sistema de Clasificación de Tierras. Reúne a unidades de suelos tierra según su Calidad Agrológica dentro de cada grupo. Un grupo de Capacidad de Uso Mayor (CUM) reúne numerosas clases de suelos que presentan una misma aptitud o vocación de uso general, pero, que no tienen una misma calidad agrológica ni las mismas limitaciones, por consiguiente, requiere de prácticas de manejo específicas de diferente grado de intensidad.

La calidad agrológica viene a ser la síntesis de las propiedades de fertilidad, condiciones físicas, relaciones suelo-agua, las características de relieve y climáticas, dominantes y representa el resumen de la potencialidad del suelo para producir plantas específicas o secuencias de ellas bajo un definido conjunto de prácticas de manejo.

De esta forma, se han establecido tres (03) clases de calidad agrológica: alta, media y baja. La clase de Calidad Alta comprende las tierras de mayor potencialidad y que requieren de prácticas de manejo y conservación de suelos de menor intensidad, la clase de Calidad Baja reúne a las tierras de menor potencialidad dentro de cada grupo de uso, exigiendo mayores y más intensas prácticas de manejo y conservación de suelos para la obtención de una producción económica y continuada. La clase de Calidad Media corresponde a las tierras con algunas limitaciones y que exigen prácticas moderadas de manejo y conservación de suelos.

A continuación, se define las clases de capacidad de Uso Mayor establecidas para cada uno de los Grupos de CUM.

a) Clases de Tierras Aptas para Cultivos en Limpio (Símbolo A)

Se establece las siguientes clases: A1, A2 y A3. La Calidad Agrológica disminuye progresivamente de la Clase A1 a la A3, y ocurre lo inverso con las limitaciones, incrementándose éstas de la A1 a la A3.

a.1 Calidad Agrológica Alta (Símbolo A1)

Agrupar a las tierras de la más alta calidad, con ninguna o muy ligeras limitaciones que restrinjan su uso intensivo y continuo, las que por sus excelentes características y cualidades climáticas, de relieve o edáficas, permiten un amplio cuadro de cultivos, requiriendo de prácticas sencillas de manejo y conservación de suelos para mantener su productividad sostenible y evitar su deterioro.

a.2 Calidad Agrológica Media (Símbolo A2)

Agrupar a tierras de moderada calidad para la producción de cultivos en limpio con moderadas limitaciones de orden climático, edáfico o de relieve, que reducen un tanto el cuadro de cultivos así como la capacidad productiva. Requieren de prácticas moderadas de manejo y de conservación de suelos, a fin de evitar su deterioro y mantener una productividad sostenible.

a.3 Calidad Agrológica Baja (Símbolo A3)

Agrupar a tierras de baja calidad, con fuertes limitaciones de orden climático, edáfico o de relieve, que reducen significativamente el cuadro de cultivos y la capacidad productiva. Requieren de prácticas más intensas y a veces especiales, de manejo y conservación de suelos para evitar su deterioro y mantener una productividad sostenible.

b) Clases de Tierras Aptas para Cultivos Permanentes (Símbolo C)

Se establece las siguientes clases: C1, C2 y C3. La calidad agrológica del suelo disminuye progresivamente de la clase C1 a la C3.

b.1 Calidad Agrológica Alta (Símbolo C1)

Agrupar a tierras con la más alta calidad de suelo de este grupo, con ligeras limitaciones para la fijación de un amplio cuadro de cultivos permanentes, frutales principalmente. Requieren de prácticas de manejo y conservación de suelos poco intensivas para evitar el deterioro de los suelos y mantener una producción sostenible.

b.2 Calidad Agrológica Media (Símbolo C2)

Agrupar tierras de calidad media, con limitaciones más intensas que la clase anterior de orden climático, edáfico o de relieve que restringen el cuadro de cultivos permanentes. Las condiciones edáficas de estas tierras requieren de prácticas moderadas de conservación y mejoramiento a fin de evitar el deterioro de los suelos y mantener una producción sostenible.

b.3 Calidad Agrológica Baja (Símbolo C3)

Agrupar tierras de baja calidad, con limitaciones fuertes o severas de orden climático, edáfico o de relieve para la fijación de cultivos permanentes y, por tanto, requieren de la aplicación de prácticas intensas de manejo y de conservación de suelos a fin de evitar el deterioro de este recurso y mantener una producción sostenible.

c) Clases de Tierras Aptas para Pastos (Símbolo P)

Se establecen las siguientes clases de potencialidad: P1, P2 y P3. La calidad agrológica de estas tierras disminuye progresivamente de la Clase P1 a la P3.

c.1 Calidad Agrológica Alta (Símbolo P1)

Agrupar tierras con la más alta calidad agrológica de este grupo, con ciertas deficiencias o limitaciones para el crecimiento de pasturas naturales y cultivadas que permitan el desarrollo sostenible de una ganadería. Requieren de prácticas sencillas de manejo de suelos y manejo de pastos para evitar el deterioro del suelo.

c.2 Calidad Agrológica Media (Símbolo P2)

Agrupar tierras de calidad agrológica media en este grupo, con limitaciones y deficiencias más intensas que la clase anterior para el crecimiento de pasturas naturales y cultivadas, que permiten el desarrollo sostenible de una ganadería. Requieren de la aplicación de prácticas moderadas de manejo de suelos y pastos para evitar el deterioro del suelo y mantener una producción sostenible.

c.3 Calidad Agrológica Baja (Símbolo P3)

Agrupar tierras de calidad agrológica baja en este grupo, con fuertes limitaciones y deficiencias para el crecimiento de pastos naturales y cultivados, que permiten el desarrollo sostenible de una determinada ganadería. Requieren de la aplicación de prácticas intensas de manejo de suelos y pastos para el desarrollo de una ganadería sostenible, evitando el deterioro del suelo.

d) Clases de Tierras Aptas para Producción Forestal (Símbolo F)

Se establecen las siguientes clases de aptitud: F1, F2 y F3. La Calidad Agrológica de estas tierras disminuye progresivamente de la clase F1 a la F3.

d.1 Calidad Agrológica Alta (Símbolo F1)

Agrupar tierras con la más alta calidad agrológica de este grupo, con ligeras limitaciones de orden climático, edáfico o de relieve, para la producción de especies forestales maderables. Requieren de prácticas sencillas de manejo y conservación de suelos y de bosques para la producción forestal sostenible, sin deterioro del suelo.

d.2 Calidad Agrológica Media (Símbolo F2)

Agrupar tierras de calidad agrológica media, con restricciones o deficiencias más acentuadas de orden climático, edáfico o de relieve que la clase anterior para la producción de especies forestales maderables. Requiere de prácticas moderadas de manejo y conservación de suelos y de bosques para la producción forestal sostenible, sin deterioro del suelo.

d.3 Calidad Agrológica Baja (Símbolo F3)

Agrupar tierras de calidad agrológica baja, con fuertes limitaciones de orden climático, edáfico o de relieve, para la producción forestal de especies maderables. Requiere de prácticas más intensas de manejo y conservación de suelos y bosques para la producción forestal sostenible, sin deterioro del recurso suelo.

e) Clases de Tierras de Protección (Símbolo X)

Estas tierras no presentan clases de capacidad de uso, debido a que presentan limitaciones tan severas de orden edáfico, climático o de relieve, que no permiten la producción sostenible de cultivos en limpio, cultivos permanentes, pastos ni producción forestal.

B.3 Subclase de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras

Constituye la tercera categoría del presente Sistema de Clasificación de Tierras, establecida en función a factores limitantes, riesgos y condiciones especiales que restringen o definen el uso de las tierras. La subclase de capacidad de uso, agrupa tierras de acuerdo al tipo de limitación o problema de uso. Lo importante en este nivel categorico es puntualizar la deficiencia o condiciones más relevantes como causal de la limitación del uso de las tierras.

En el sistema elaborado, han sido reconocidos seis tipos de limitación fundamentales que caracterizan a las subclases de capacidad:

- Limitación por suelo,
- Limitación de sales,
- Limitación por topografía-riesgo de erosión,
- Limitación por drenaje,
- Limitación por riesgo de inundación,
- Limitación por clima.

En el sistema también se reconocen tres condiciones especiales que caracterizan la subclase de capacidad:

- Uso Temporal,
- Terrazo o andenería,
- Riesgo permanente o suplementario.

Limitaciones:

a. Limitación por Suelo (Símbolo "a")

El factor suelo representa uno de los componentes fundamentales en el juzgamiento y calificación de las

tierras; de ahí, la gran importancia de los estudios de suelos, en ellos se identifica, describe, separa y clasifican los cuerpos edáficos de acuerdo a sus características. Sobre estas agrupaciones se determinan los Grupos de Capacidad de Uso.

Las limitaciones por este factor están referidas a las características intrínsecas del perfil edáfico de la unidad de suelo, tales como: profundidad efectiva, textura dominante, presencia de grava o piedras, reacción del suelo (pH), salinidad, así como las condiciones de fertilidad del suelo y de riesgo de erosión.

El suelo es uno de los componentes principales de la tierra que cumple funciones principales tanto de sostenimiento de las plantas como de fuente de nutrientes para el desarrollo de las mismas. La limitación por suelo esta dada por la deficiencia de alguna de las características mencionadas, lo cual incide en el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como en su capacidad productiva.

b. Limitación por Sales (Símbolo "s")

Si bien el exceso de sales, novio para el crecimiento de las plantas es un componente del factor edáfico, en la interpretación esta es tratada separadamente por constituir una característica específica de naturaleza química cuya identificación en la clasificación de las tierras, especialmente en la región árida de la costa, tiene notable importancia en el uso, manejo y conservación de los suelos.

c. Limitación por Topografía - riesgo de Erosión (Símbolo "t")

La longitud, forma y sobre todo el grado de pendiente de la superficie del suelo influye regulando la distribución de las aguas de escorrentía, es decir, determinan el drenaje externo de los suelos. Por consiguiente, los grados más convenientes son determinados considerando especialmente la susceptibilidad de los suelos a la erosión. Normalmente, se considera como pendientes adecuadas aquellas de relieve suave, en un mismo plano, que no favorecen los escurrimientos rápidos ni lentos.

Otro aspecto importante es la forma de la superficie del terreno, de gran interés desde el punto de vista de las obras de nivelamiento. Las pendientes moderadas pero de superficie desigual o muy variadas deben ser consideradas como factores influyentes en los costos de nivelación y del probable efecto de ésta sobre la fertilidad y las características físicas al eliminar las capas edáficas de gran valor agrícola.

d. Limitación por Drenaje (Símbolo "w")

Esta limitación está íntimamente relacionada con el exceso de agua en el suelo, regulado por las características topográficas, de permeabilidad del suelo, la naturaleza del substratum y la profundidad del nivel freático. Las condiciones de drenaje son de gran importancia porque influyen considerablemente en la fertilidad, la productividad de los suelos, en los costos de producción y en la fijación y desarrollo de los cultivos. El cultivo de arroz representa una excepción, así como ciertas especies de palmáceas de hábitat hidrofítico en la región amazónica (aguaje).

e. Limitación por riesgo de Inundación - Anegamiento (Símbolo "i")

Este es un aspecto que podría estar incluido dentro del factor drenaje, pero, por constituir una particularidad de ciertas regiones del país como son las inundaciones estacionales en la región amazónica y en los valles costeros, y que comprometen la fijación de cultivos, se ha diferenciado del problema de drenaje. Los riesgos por inundación fluvial involucran los aspectos de frecuencia, amplitud del área inundada y duración de la misma, afectando la integridad física de los suelos por efecto de la erosión lateral y compromiendo seriamente el cuadro de especies a cultivarse.

f. Limitación por Clima (Símbolo "c")

Este factor está íntimamente relacionado con las características particulares de cada zona de vida o bioclima tales como la ocurrencia de heladas o bajas temperaturas, sequías prolongadas, desdormidas o excesos de lluvia y fluctuaciones térmicas significativas durante el día, entre otras. Estas son características que comprometen seriamente el cuadro de especies a desarrollarse.

Esta limitación es común en las tierras con potencial para Cultivos en Limpio ubicadas en el piso Montano y en las tierras con aptitud para Pastos en los pisos altitudinales Subalpino y Alpino (zona de páramo y tundra, respectivamente), por lo que en ambas situaciones siempre llevará el símbolo "c" además de otras limitaciones que pudieran tener.

Condiciones especiales

g. Uso Temporal (Símbolo "t")

Refiere al uso temporal de los pastos debido a las limitaciones en su crecimiento y desarrollo por efecto de la escasa humedad presente en el suelo (baja precipitación).

h. Presencia de Terrazo - Andenería (Símbolo "a")

Está referida a las modificaciones realizadas por el hombre, en pendientes pronunciadas construyendo terrazas (andenes), lo cual reduce la limitación por erosión del suelo y cambia el potencial original de la tierra.

i. Riego permanente o suplementario (Símbolo "r")

Refiere a la necesidad de la aplicación de riego para el crecimiento y desarrollo del cultivo, debido a las condiciones climáticas áridas.

Ver esta Ley
en el Anexo II
de la Ley
Nº 2002

CAPÍTULO IV DE LA METODOLOGÍA

Artículo 10º.- Características de la metodología

Para la Clasificación de las Tierras según su Capacidad de Uso Mayor se considera una metodología multidisciplinaria, conformada por la combinación de atributos o componentes de la tierra tales como: clima (zonas de vida), geomorfología (pendiente del terreno) y suelo (variables edáficas), fundamentalmente.

En la Clasificación de las Tierras no se debe perder la perspectiva del sistema, referido a su carácter interpretativo (Artículo 3º), por el cual el potencial de tierras se obtiene de la interpretación de las unidades de suelos en términos de capacidad de uso mayor; estas pueden ser agrupadas o subdivididas de acuerdo con los parámetros establecidos para la definición de cada Grupo, Clase y Subclase del Sistema.

Artículo 11º.- Interpretación de la información

El procedimiento a seguir en la interpretación de la información de suelos, pendiente, zonas de vida, para determinar la capacidad de uso mayor de las tierras, se indica a continuación:

11.1.- Determinación del Grupo de Capacidad de Uso Mayor

a) Se determina la zona de vida a la que corresponde la unidad de suelos evaluada en el mapa de zonas de vida. Establecida ésta se identifica una de las quince (15) claves del Anexo Nº II que será aplicada. Identificada dicha clave se recurre al Anexo Nº II - A.

b) En la clave seleccionada, se realiza la confrontación de los datos del suelo con los requerimientos de cada uso potencial. Este procedimiento empieza por la primera columna (pendiente) y por la primera línea.

c) En cada línea se califica los valores correspondientes a cada parámetro y se continúa de columna en columna mientras se encuentren dentro de los valores correspondientes. Si cumple con los valores de todas las columnas, indica que corresponde al Grupo donde se encuentra la línea.

d) En caso que el valor del parámetro de suelo evaluado se encuentre fuera del rango de valores, inmediatamente se corta la calificación de esa línea y se pasa a la siguiente línea, hasta encontrar la línea del Grupo en el que encajen los valores de la unidad que se está clasificando.

Ejemplo:

El suelo San Carlos que se encuentra en la zona de vida bosque húmedo - Premontano Tropical, cuyas características edáficas son:

Pendiente	: 20% (ladera corta)
Microrrelieve	: Plano
Profundidad	: 120 cm.
Textura	: Media (Franca)
Pedregosidad	: Libre (0%)
Drenaje	: Bueno
pH	: 5.5
Erosión	: Ligera
Salinidad	: Libre de sales
Inundación	: Sin riesgo

Como el suelo San Carlos se encuentra en la zona de vida bosque húmedo - Premontano Tropical se hace uso de la clave Nº 11.

De acuerdo con la pendiente (20 %), no corresponde a ninguna de las pendientes requeridas para Cultivos en Limpio, por lo que pasamos al castigo de cultivos permanentes, donde correspondería a la 3ª fila, luego al seguir comparando los otros parámetros cumple con los requisitos de profundidad, textura, pedregosidad, drenaje, pH, erosión, salinidad e inundación, por lo que al suelo San Carlos se le asigna el grupo de cultivos permanentes (C).

11.2 Determinación de la Clase de Capacidad de Uso Mayor

Habiéndose obtenido el Grupo de Capacidad de Uso Mayor, con el empleo de las claves, la Clase o Calidad Agrológica, es definida por el tipo y grado de limitaciones del suelo que definen esta categoría. Para su determinación se hace uso de las claves presentadas en el Anexo II Item B.

Procedimiento:

Haciendo uso de la matriz de doble entrada (horizontal): características del suelo y (vertical): tipos de suelo con su pendiente se procede a calificar cada una de las características que presenta el suelo evaluado, comparándolas con la clave mencionada (Anexo III Item B). La clase estará dada por las características del suelo que presenten el mayor valor numérico.

Ejemplo: En el suelo San Carlos, apto para cultivo Permanentes (C), cuyas características son:

Pendiente	: 20% (ladera corta)
Microrrelieve	: Plano
Profundidad	: 120 cm.
Textura	: Media (Franca)
Pedregosidad	: Libre (0%)
Drenaje	: Bueno
pH	: 5.5
Erosión	: Ligera
Salinidad	: Libre de sales
Inundación	: Sin riesgo

Se obtiene el siguiente resultado a nivel de clase:

Suelo/Pendiente	Pendiente	Micro relieve	Profund. (cm)	Textura	Drenaje	Salinidad	Erosión
Suelo San Carlos							
30%	3	1	1	1	1	1	1
Suelo Plano							

En la tabla se puede ver que por pendiente, la calidad agrológica es (3), mientras que por los demás factores, corresponde a la calidad agrológica (1).

La clase del suelo San Carlos quedará definida por el valor numérico más alto, en este caso 3, que es la característica más limitante. Por lo que el Suelo San Carlos es apto para Cultivo Permanente pero de calidad agroológica Baja (3).

La Clase será: C3

11.3. Determinación de la Subclase de Capacidad de Uso Mayor

La subclase está definida por las limitaciones edáficas, topográficas o dimétricas que definen la clase.

En el ejemplo del Suelo San Carlos la limitación que definió la clase fue la pendiente (riesgo de erosión) "r", por lo que la subclase será: C3se

Se le añade el símbolo "s" porque las limitaciones por pendiente, sales, riesgo de erosión, drenaje, riesgo de inundación y clima, están relacionadas al suelo que es el que sostiene el uso.

CAPÍTULO V

DE LOS ORGANISMOS RESPONSABLES

Artículo 12°.- Institución competente

El Ministerio de Agricultura, a través de su órgano competente, tiene a su cargo la clasificación de las Tierras Según su Capacidad de Uso Mayor en el ámbito nacional, en concordancia con el Ministerio del Ambiente - MINAM, autoridad encargada de promover la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, entre ellos el recurso suelo.

El Reglamento de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor es de aplicación por los usuarios del suelo en el contexto agrario, las instituciones públicas y privadas, así como por los gobiernos regionales y locales.

El Ministerio de Agricultura, a través de su órgano competente, es responsable de la ejecución, supervisión, promoción y difusión de la Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor en el ámbito nacional.

Artículo 13°.- Observancia obligatoria

Toda Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor que ejecuten otros organismos de los sectores públicos o privados, deberá necesariamente sujetarse a las normas establecidas por el presente Reglamento y ser aprobada por el organismo competente del MINAG en concordancia con el MINAM.

Artículo 14°.- Delegación de facultades

Teniendo en consideración que todo sistema de clasificación está sujeto a modificaciones o adecuaciones a través del tiempo, el Ministerio de Agricultura en coordinación con el Ministerio del Ambiente, emitirá dispositivos legales cuando sea necesario para regularizar

los cambios requeridos y así mantener la vigencia actualizada y oficial de dicho sistema de clasificación de tierras. Su aplicación y difusión estará a cargo del Organismo competente del MINAG.

CAPÍTULO VI

DE SU APLICACIÓN

Artículo 15°.- De las personas calificadas para realizar la Clasificación de Tierras

La Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, basada en el presente Reglamento, debe ser realizada por personas naturales o jurídicas. El perfil profesional de los clasificadores exige el poseer un título profesional de Ingeniero Agrónomo o afín, con experiencia no menor de un año (01) en cartografía de suelos en cualquier región del país.

Las personas jurídicas públicas o privadas deberán cumplir con las exigencias expuestas en el presente artículo.

Artículo 16°.- Del registro de personas calificadas para realizar la Clasificación de Tierras

El órgano competente del Ministerio de Agricultura llevará un Registro Nacional de personas naturales independientes así como de personas naturales dependientes de Entidades Públicas y Privadas, con sede en el Perú o extranjero que realicen actividades de levantamientos de suelos y de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor en el territorio nacional.

Para tal efecto, emitirá las directivas a que hubiera lugar, para su difusión, registro, seguimiento y control de su correcta aplicación, apoyándose en las Direcciones Regionales Agrarias.

Artículo 17°.- Actualización de Reglamento de Levantamiento de Suelos

El órgano competente del Ministerio de Agricultura, actualizará el Reglamento de Levantamiento de Suelos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 033-85-AG, en un plazo no mayor de ciento ochenta (180) días calendario, a partir de promulgado el presente Reglamento, en vista de que constituye la base temática técnico-científica en el que se basa el presente Reglamento de Clasificación de Tierras por su capacidad de Uso Mayor.

DISPOSICIÓN FINAL

Artículo Único.- Forman parte del presente Reglamento los siguientes anexos:

- I Diagramas Bioclimáticos - Sistema Holdridge
- II Numeración y Ordenamiento de Zonas de Vida
- III Claves Interpretativas
- IV Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos

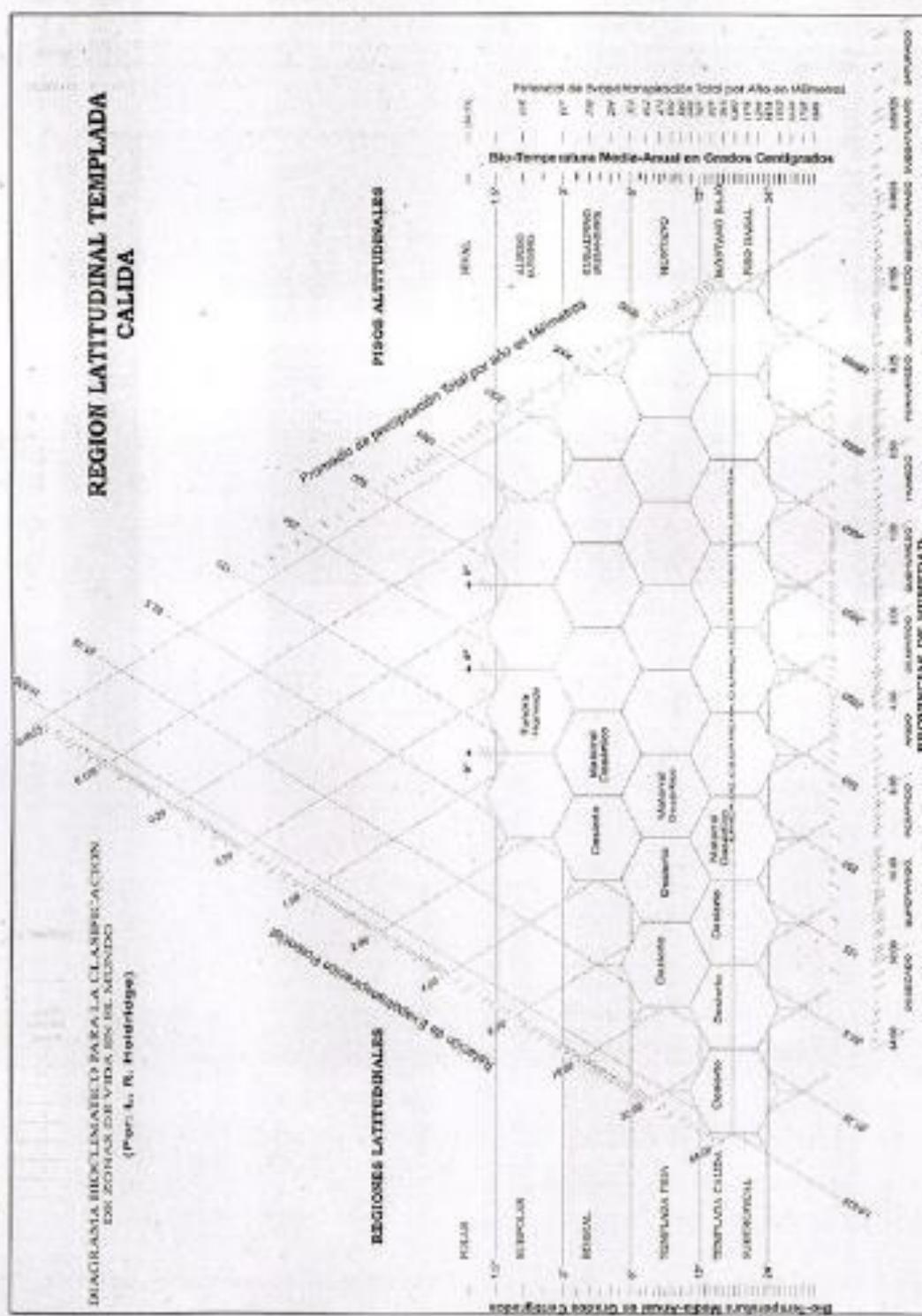
El Peruano

DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en diqueto o al siguiente correo electrónico: normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN



Anexo B: Numeración y Ordenamiento de Zonas de Vida

03/10/08

RELACION DE CLAVES

N.º CLAVE	FORMACIÓN ECOLÓGICA	PISO ALTITUDINAL	REGIÓN LATITUDINAL
1	Óxido (*)	Basal, Piemontano y Montano Bajo	Tropical, Subtropical y Templado cálido
2	Material desértico Monte espinoso	Basal, Piemontano y Basal, Piemontano	Tropical, Subtropical y Montano Bajo Templado cálido Tropical, Subtropical
3	Desierto y Material desértico	Montano	Tropical, Subtropical y Templado cálido
4	Escabe espinoso	Montano Bajo	Tropical y Subtropical
5	Escabe	Montano	Tropical y Subtropical
6	Páramo húmedo, páramo	Subalpino muy húmedo y páramo	Tropical y Subtropical pluvial
7	Tundra pluvial Tundra húmeda Tundra muy húmeda Material desértico	Alpino Alpino Alpino Subalpino	Tropical y Subtropical Subtropical y Templado Cálido Subtropical Subtropical
8	Bosque muy seco Bosque seco Bosque seco	Basal Basal Piemontano	Tropical Subtropical Tropical
9	Bosque seco	Montano Bajo	Tropical y Subtropical
10	Bosque húmedo	Montano	Tropical y Subtropical
11	Bosque húmedo Bosque húmedo Bosque seco	Basal Piemontano Basal	Subtropical Tropical Tropical
12	Bosque húmedo	Montano Bajo	Tropical y Subtropical
13	Bosque muy húmedo	Montano	Tropical y Subtropical
14	Bosque muy húmedo Bosque muy húmedo Bosque muy húmedo Bosque húmedo	Montano Bajo Basal Piemontano Basal	Tropical y Subtropical Subtropical Tropical Tropical
15	Bosque muy húmedo Bosque pluvial Bosque pluvial	Basal Basal Piemontano	Tropical Subtropical Tropical

(*) En las desiertos de Arica los que están en condición: desecado, árido y superárido

Anexo III: Claves Interpretativas.

A) CLAVES PARA DETERMINAR EL GRUPO DE CAPACIDAD DE USO MAYOR

Clave 1 Deslente de las regiones latitudinales Tropical, Subtropical y Templado cálido con sus pisos altitudinales Basal, Piemontano y Montano bajo.

GRUPO DE Capacidad de Uso Mayor	Fertilitad %		Estratificación (altura)	Factores Ecológicos (Clases permitidas)									
	Soja	Uva		Prod. (kg/ha)	Tiempo (septa)	INDIC. Esp. (septa)	Grupos (septa)	pH (septa)	Exposición (septa)	Intensidad (septa)	Temperatura (septa)	Pres. (septa)	Prop. (septa)
B. Cálida en Uva Mayor	0-4	0-2	2	30	CMCAMP P	1	ARCENP*	4.5-7.5	Montano	1	-	3	1
	4-8	2-4	1	40	CMCAMP	1	ARCEN	4.5-7.5	Uvino	1	-	3	1
	8-15	4-15	1	50	NCAMP	1	ARCEN	4.5-7.5	Uvino	1	-	3	1
C. Cálida Piemontano Mayor	0-4	0-2	2	30	Toda	2	ARCEN	4.5-7.5	Montano	2	-	3	2
	4-8	2-4	2	40	Toda	2	ARCEN	4.5-7.5	Montano	2	-	3	2
	8-15	4-15	2	50	Toda	2	ARCEN	4.5-7.5	Uvino	2	-	3	2
D. Piemontano	10-20	1	60	CMCAMP	1	ARCEN	4.5-7.5	Uvino	2	-	3	2	

* Grupo P: Subgrupo para cultivos de arroz en los pisos basal y piemontano.

Grupo de Capacidad de Uso Mayor	Porcentaje %			Muestreo (hect)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Cota	Largo			Prof. (cm) mínima	Tufo (cep) (cep)	Pedreg. (cep) (cep)	Grava (cep) (cep)	pH (cep) (cep)	Enzima (cep) (cep)	Solubilidad (cep) (cep)	Humedad (cep) (cep)	Peso. sup. (cep) (cep)	Fig. Percepción (cep) (cep)
A	Cultivos Únicos (Uso)	0-4	0-2	2	30	GMQ/MMP	1	A,B,C,D,E,F*	4,5-10	Mediada	1	1	3	1
		4-8	2-4	1	45	GMQ/MMP	1	A,B,C,D,E	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
		8-15	4-15	1	90	GMQ/MMP	1	B,C,D	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
C	Cultivos Perennales (Uso)	0-4	0-2	2	30	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	2	1	3	2
		4-8	2-4	2	45	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	2	-	3	2
		8-15	4-15	2	90	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Ligea	2	-	3	2
F	Pastos (temporal)	0-4	0-2	1	100	GMQ/MMP	1	A,B,C,D	4,5-10	Ligea	2	-	3	2
		4-8	2-4	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	2	3	3
		8-15	4-15	3	45	Toda	3	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	-	3	3
F	Pastos (permanente) (uso)	0-4	0-2	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
		8-15	4-15	3	45	Toda	3	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	-	3	3
3	Prohibido	Terreno con características físicas que impiden el establecimiento de los grupos superiores												

* Ejemplo F: Sistemas para cultivo con error en las clases base y permisionas.

Clave 3 Desierto y Maximal desértico en su baja altitudinal Montano en las regiones latitudinales: Tropical, Subtropical y Templado cálido.

Grupo de Capacidad de Uso Mayor	Porcentaje %			Muestreo (hect)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Cota	Largo			Prof. (cm) mínima	Tufo (cep) (cep)	Pedreg. (cep) (cep)	Grava (cep) (cep)	pH (cep) (cep)	Enzima (cep) (cep)	Solubilidad (cep) (cep)	Humedad (cep) (cep)	Peso. sup. (cep) (cep)	Fig. Percepción (cep) (cep)
A	Cultivos Únicos (Uso)	0-4	0-2	2	30	GMQ/MMP	1	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	1	1	3	1
		4-8	2-4	1	45	GMQ/MMP	1	A,B,C,D,E	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
		8-15	4-15	1	90	GMQ/MMP	1	B,C,D	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
F	Pastos (temporal)	0-4	0-2	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	2	3	3
		4-8	2-4	3	30	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
		8-15	4-15	3	45	Toda	3	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	-	3	3
F	Pastos (permanente)	0-4	0-2	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
		8-15	4-15	3	45	GMQ/MMP	2	A,B,C,D	Toda	Ligea	2	-	3	3
3	Prohibido	Terreno con características físicas que impiden el establecimiento de los grupos superiores												

Clave 4 Estepa espinosa - Montano Bajo Tropical Estepa espinosa - Montano Bajo Subtropical

Grupo de Capacidad de Uso Mayor	Porcentaje %			Muestreo (hect)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Cota	Largo			Prof. (cm) mínima	Tufo (cep) (cep)	Pedreg. (cep) (cep)	Grava (cep) (cep)	pH (cep) (cep)	Enzima (cep) (cep)	Solubilidad (cep) (cep)	Humedad (cep) (cep)	Peso. sup. (cep) (cep)	Fig. Percepción (cep) (cep)
A	Cultivos Únicos (Uso)	0-4	0-2	2	30	Toda	1	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	1	2	3	1
		4-8	2-4	1	45	GMQ/MMP	1	A,B,C,D,E	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
		8-15	4-15	1	90	GMQ/MMP	1	B,C,D,E	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
C	Cultivos Perennales (Uso)	0-4	0-2	2	45	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	2	1	3	2
		4-8	2-4	2	60	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	2	-	3	2
		8-15	4-15	2	120	GMQ/MMP	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Ligea	2	-	3	2
F	Pastos (temporal)	0-4	0-2	1	100	GMQ/MMP	1	A,B,C,D	4,5-10	Ligea	2	-	3	2
		4-8	2-4	1	15	Toda	1	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	2	3	3
		8-15	4-15	3	30	Toda	3	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	-	3	3
F	Pastos (permanente)	0-4	0-2	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
		8-15	4-15	3	45	Toda	3	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	-	3	3
F	Pastos (permanente)	0-4	0-2	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
		8-15	4-15	3	45	GMQ/MMP	2	A,B,C,D	Toda	Ligea	2	-	3	3
3	Prohibido	Terreno con características físicas que impiden el establecimiento de los grupos superiores												

Clave 5 Estepa - Montano Tropical Estepa - Montano Subtropical

Grupo de Capacidad de Uso Mayor	Porcentaje %			Muestreo (hect)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Cota	Largo			Prof. (cm) mínima	Tufo (cep) (cep)	Pedreg. (cep) (cep)	Grava (cep) (cep)	pH (cep) (cep)	Enzima (cep) (cep)	Solubilidad (cep) (cep)	Humedad (cep) (cep)	Peso. sup. (cep) (cep)	Fig. Percepción (cep) (cep)
A	Cultivos Únicos (Uso)	0-4	0-2	2	30	Toda	1	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	1	2	3	1
		4-8	2-4	2	45	GMQ/MMP	1	A,B,C,D,E	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
		8-15	4-15	1	90	GMQ/MMP	1	B,C,D,E	4,5-10	Ligea	1	-	3	1
C	Cultivos Perennales (Uso)	0-4	0-2	2	45	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	2	1	3	2
		4-8	2-4	2	60	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Mediada	2	-	3	2
		8-15	4-15	2	120	GMQ/MMP	2	A,B,C,D,E	4,5-10	Ligea	2	-	3	2
F	Pastos (temporal)	0-4	0-2	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	2	3	3
		4-8	2-4	3	30	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
		8-15	4-15	3	45	Toda	3	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	-	3	3
F	Pastos (permanente)	0-4	0-2	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
		8-15	4-15	3	45	GMQ/MMP	2	A,B,C,D	Toda	Ligea	2	-	3	3
3	Prohibido	Terreno con características físicas que impiden el establecimiento de los grupos superiores												

Clave 6 Páramo húmedo - Subalpino Subtropical, Páramo pluvial - Subalpino Subtropical, Páramo muy húmedo - Subalpino Subtropical

Grupos de Capacidad de los Bosques	Pendientes %		Micro-relieve (Puntos)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Corta	Larga		Prof. (cm) mínima	Textura (excepto)	Profund. Sup. (Puntos)	Organ. (excepto)	pH (excepto)	Erosión (Puntos)	Saturación (Puntos)	Inundación (Puntos)	Fertil. sup. (Puntos)	Freq. Rotación (Puntos)
P Páramo (zona húmeda)	0-4	0-2	3	15	Toda	1	A,B,C,D,E,F*	Toda	Mediada	1	2	3	3
	4-8	2-4	3	15	Toda	1	A,B,C,D,E,F*	Toda	Mediada	2	-	3	3
	8-25	4-15	3	30	Toda	1	A,B,C,D,E,F	Toda	Mediada	2	-	3	3
	25-40	15-25	2	30	ARC,MAP	1	A,B,C,D	Toda	Mediada	2	-	3	3
X Protección	Tienen sus características fuera de los límites señalados para los grupos superiores.												

* Solo si hay bofedales

Clave 7 Tundra pluvial - Alpino Tropical, Tundra pluvial - Alpino Subtropical, Tundra muy húmeda - Alpino Subtropical, Tundra húmeda - Alpino Subtropical, Tundra húmeda - Alpino Templado Cálido, Mariscal desértico - Subalpino Subtropical

Grupos de Capacidad de los Bosques	Pendientes %		Micro-relieve (Puntos)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Corta	Larga		Prof. (cm) mínima	Textura (excepto)	Profund. Sup. (Puntos)	Organ. (excepto)	pH (excepto)	Erosión (Puntos)	Saturación (Puntos)	Inundación (Puntos)	Fertil. sup. (Puntos)	Freq. Rotación (Puntos)
P Páramo (zona húmeda)	0-4	0-2	2	15	Toda	2	A,B,C,D,E,F,G*	Toda	Mediada	2	2	3	3
	4-8	2-4	2	30	ARC,MAP	2	A,B,C,D,E,F,G*	Toda	Ligera	2	-	3	3
	8-25	4-15	2	30	ARC,MAP	2	A,B,C,D,E,F	Toda	Ligera	2	-	3	3
X Protección	Tienen sus características fuera de los límites señalados para los grupos superiores.												

* Solo si hay bofedales

Clave 8 Bosque muy seco - Tropical, Bosque seco - Montano Tropical, Bosque seco - Subtropical

Grupos de Capacidad de los Bosques	Pendientes %		Micro-relieve (Puntos)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Corta	Larga		Prof. (cm) mínima	Textura (excepto)	Profund. Sup. (Puntos)	Organ. (excepto)	pH (excepto)	Erosión (Puntos)	Saturación (Puntos)	Inundación (Puntos)	Fertil. sup. (Puntos)	Freq. Rotación (Puntos)
A Cálido (zona húmeda)	0-4	0-1	3	30	Toda	1	A,B,C,D,E,F*	4.5+7.0	Mediada	1	2	3	1
	4-8	2-4	2	30	ARC,MAP	1	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Ligera	1	-	3	1
	8-25	4-15	1	40	ARC,MAP	1	A,B,C,D,E	10+7.0	Ligera	1	-	3	1
B Cálido (zona húmeda)	0-4	0-1	2	40	Toda	2	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Mediada	1	1	3	2
	4-8	2-4	2	60	Toda	2	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Ligera	1	-	3	2
	8-25	4-15	1	60	ARC,MAP	2	A,B,C,D	4.5+7.0	Ligera	1	-	3	2
F Páramo (temperado)	0-4	0-1	3	15	Toda	3	A,B,C,D,E,F	4.5+7.0	Mediada	2	2	3	3
	4-8	2-4	3	30	Toda	3	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Ligera	2	-	3	3
	8-25	4-15	2	40	ARC,MAP	3	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Ligera	2	-	3	3
X Protección	Tienen sus características fuera de los límites señalados para los grupos superiores.												

* Solo si hay bofedales para cultivos con arce.

Clave 9 Bosque seco - Montano Bajo Tropical, Bosque seco - Montano Bajo Subtropical

Grupos de Capacidad de los Bosques	Pendientes %		Micro-relieve (Puntos)	Factores Edáficos (Clases permisibles)									
	Corta	Larga		Prof. (cm) mínima	Textura (excepto)	Profund. Sup. (Puntos)	Organ. (excepto)	pH (excepto)	Erosión (Puntos)	Saturación (Puntos)	Inundación (Puntos)	Fertil. sup. (Puntos)	Freq. Rotación (Puntos)
A Cálido en Llanura (húmeda)	0-4	0-1	3	30	Toda	1	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Mediada	1	2	3	1
	4-8	2-4	2	40	ARC,MAP	1	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Ligera	1	-	3	1
	8-25	4-15	1	60	ARC,MAP	1	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Ligera	1	-	3	1
	25-35	15-25	1	60	ARC,MAP	1	A,B,C,D	10+7.0	Ligera	1	-	3	1
C Cálido (temperado) (húmedo)	0-4	0-1	2	40	Toda	1	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Mediada	2	1	3	2
	4-8	2-4	2	60	Toda	1	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Mediada	2	-	3	2
	8-25	4-15	1	60	ARC,MAP	1	A,B,C,D,E	10+7.0	Ligera	2	-	3	2
F Páramo (temperado)	0-4	0-1	3	15	Toda	2	A,B,C,D,E,F	4.5+7.0	Mediada	2	2	3	3
	4-8	2-4	3	30	Toda	1	A,B,C,D,E,F	4.5+7.0	Mediada	2	-	3	3
	8-25	4-15	2	40	ARC,MAP	2	A,B,C,D,E	4.5+7.0	Ligera	2	-	3	3
P Páramo (temperado)	0-4	0-1	3	15	Toda	1	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	2	3	3
	4-8	2-4	3	30	Toda	1	A,B,C,D,E	Toda	Mediada	2	-	3	3
	8-25	4-15	2	40	Toda	1	A,B,C,D	Toda	Mediada	2	-	3	3
X Protección	Tienen sus características fuera de los límites señalados para los grupos superiores.												

Clase 10 Bosque húmedo - Montano Tropical
Bosque húmedo - Montano Subtropical

Grupo de Capacidad de Uso Mayor	Pendientes %		Mora relativa (años)	Factores Edáficos (Clases permisibles)										
	Cota	Largo		Prof. (cm) mínima	Tufores (capas)	Profund. (años)	Drenaje (capas)	pH (capas)	Extracción (años)	Saturación (años)	Fertil. sup. (años)	Freq. Recargas (años)		
A	Cultivo en Limbo (Siempre)	0-5	0-2	3	30	Toda	1	A,B,C,D,E	4,5+7,0	Mediana	1	2	3	1
		6-9	2-4	2	45	G,M,N,M,P	1	A,B,C,D,E	4,5+7,0	Ligera	1	-	3	1
		9-25	4-10	1	60	H,G,M,N,P	1	A,B,C,D,E	4,5+7,0	Ligera	1	-	3	1
		25-50	10-20	1	100	H,G,M,N,P	1	A,B,C,D	5,0+7,0	Ligera	1	-	3	1
F	Pasto	0-5	0-1	3	15	Toda	2	A,B,C,D,E,F	4,0+7,0	Mediana	2	2	3	3
		6-9	1-10	3	20	Toda	2	A,B,C,D,E,F	4,0+7,0	Mediana	2	-	3	3
		9-25	10-20	3	45	H,G,M,N,P	2	A,B,C,D	4,0+7,0	Ligera	2	-	3	3
		25-50	20-40	2	60	H,G,M,N,P	2	A,B,C,D	5,0+7,0	Ligera	2	-	3	3
F	Producción Forestal	0-5	0-1	4	30	Toda	3	A,B,C,D	Toda	Suave	2	2	3	3
		6-9	1-25	4	45	Toda	3	A,B,C,D	Toda	Suave	2	-	3	3
		25-50	25-50	3	60	Toda	3	A,B,C,D	Toda	Mediana	2	-	3	3
X	Protección	Terreno con características fuera de los límites establecidos para los grupos superiores												

Clase 11 Bosque seco - Tropical
Bosque húmedo - Paramontano Tropical
Bosque húmedo - Subtropical

Grupo de Capacidad de Uso Mayor	Pendientes %		Mora relativa (años)	Factores Edáficos (Clases permisibles)										
	Cota	Largo		Prof. (cm) mínima	Tufores (capas)	Profund. (años)	Drenaje (capas)	pH (capas)	Extracción (años)	Saturación (años)	Fertil. sup. (años)	Freq. Recargas (años)		
A	Cultivo en Limbo	0-5	0-2	3	30	Toda	1	A,B,D,D,E,F	4,5+7,0	Mediana	1	2	3	1
		6-9	2-4	2	45	G,M,N,M,P	1	A,B,D,D,E	4,5+7,0	Ligera	1	-	3	1
		9-25	4-10	1	60	H,G,M,N,P	1	A,B,D,D	5,0+7,0	Ligera	1	-	3	1
E	Cultivo Paramontano	0-4	0-2	3	30	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5+7,0	Mediana	2	1	3	2
		4-8	2-4	2	40	Toda	2	A,B,C,D,E	4,5+7,0	Mediana	2	1	3	2
		9-25	4-10	1	60	G,M,N,M,P	2	A,B,C,D,E	4,5+7,0	Ligera	2	-	3	2
		25-50*	10-20	1	100	G,M,N,M,P	2	A,B,C,D	4,0+7,0	Ligera	2	-	3	2
F	Pasto	0-5	0-1	3	30	Toda	3	A,B,C,D,E,F	4,0+7,0	Mediana	2	2	3	3
		6-9	1-10	3	40	M,N,P	3	A,B,C,D,E	4,5+7,0	Mediana	2	-	3	3
		10-20	1	100	M,N,P	3	A,B,D,D	5,0+7,0	Ligera	2	-	3	3	
F	Producción Forestal	0-5	0-1	4	30	Toda	3	A,B,C,D,E,F	Toda	Suave	2	2	3	3
		6-9	1-10	4	30	Toda	3	A,B,C,D,E	Toda	Suave	2	-	3	3
		10-20	10-20	4	45	Toda	3	A,B,D,D	Toda	Suave	2	-	3	3
		20-50	20-50	3	60	Toda	3	A,B,D,D	Toda	Suave	2	-	3	3
X	Protección	Terreno con características fuera de los límites establecidos para los grupos superiores												

- * Drenaje F solamente para cultivo de arroz.
* Solo para cultivo de café

Clase 12 Bosque húmedo - Montano Bajo Tropical
Bosque húmedo - Montano Bajo Subtropical

Grupo de Capacidad de Uso Mayor	Pendientes %		Mora relativa (años)	Factores Edáficos (Clases permisibles)										
	Cota	Largo		Prof. (cm) mínima	Tufores (capas)	Profund. (años)	Drenaje (capas)	pH (capas)	Extracción (años)	Saturación (años)	Fertil. sup. (años)	Freq. Recargas (años)		
A	Cultivo en Limbo	0-4	0-2	3	30	Toda	1	A,B,C,E	4,5+7,0	Mediana	1	2	3	1
		5-9	2-4	2	45	H,G,M,N,P	1	A,B,C,E	5,0+7,0	Ligera	1	-	3	1
		9-25	4-10	1	60	H,G,M,N,P	1	A,B,C,D	5,0+7,0	Ligera	1	-	3	1
C	Cultivo Paramontano	0-4	0-2	3	40	Toda	2	A,B,C,E	4,0+7,0	Mediana	2	1	3	3
		5-9	2-4	3	50	Toda	2	A,B,C,E	4,5+7,0	Mediana	2	-	3	3
		9-25	4-10	2	60	G,M,N,M,P	2	A,B,C,E	5,0+7,0	Ligera	2	-	3	3
		25-50*	10-20	1	100	G,M,N,M,P	2	A,B,C,D	5,0+7,0	Ligera	2	-	3	3
F	Pasto	0-5	0-1	3	30	Toda	3	A,B,C,D,E,F	4,0+7,0	Mediana	2	2	3	3
		6-9	1-10	3	40	Toda	3	A,B,C,E	4,5+7,0	Mediana	2	-	3	3
		10-20	10-20	2	60	H,G,M,N,P	3	A,B,C,D	5,0+7,0	Ligera	2	-	3	3
F	Producción Forestal	0-5	0-1	4	30	Toda	3	A,B,C,E	Toda	Suave	2	2	3	3
		6-9	1-10	4	30	Toda	3	A,B,C,E	Toda	Suave	2	-	3	3
		10-20	10-20	3	40	Toda	3	A,B,C,E	Toda	Suave	2	-	3	3
		20-50	20-50	3	60	Toda	3	A,B,C,E	Toda	Mediana	2	-	3	3
X	Protección	Terreno con características fuera de los límites establecidos para los grupos superiores												

- * Solo para cultivo de café

B) CLAVES PARA DETERMINAR LA CLASE (Calidad Agrícola) Y SUBCLASE (Limitaciones) DE CAPACIDAD DE USO MAYOR

La clase o calidad agrícola está designada por los números arábigos 1, 2 ó 3 y la Subclase por las limitaciones que se encuentran, entre ellas las siguientes:

- Limitación por suelo (s): profundidad efectiva, pedregosidad, gravosidad, textura y fertilidad
- Limitación de sales (I): salinidad
- Limitación por topografía-riesgo de erosión (e): erosión, microrelieve, pendiente larga y corta
- Limitación por drenaje (w): drenaje
- Limitación por riesgo de inundación (i): inundación
- Limitación por clima (c): clima

Claves para determinar la Calidad Agrícola:

DRENAJE (w)

Clase de drenaje		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
Simbolo	Nombre	A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
A	Excesivo	3	3	2	2	-
B	Alto Excesivo	2	2	2	1	-
C	Moderat. Excesivo	1	1	1	1	-
D	Buena	2	2	1	1	-
E	Imperfecto	3	3	2	2	-
F	Pobre	-	-	3	3	-
G	Muy pobre	-	-	3	3	X

* Sólo el hay bofedales

SALINIDAD (I)

Clase de salinidad		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
Simbolo	Nombre	A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
1	Ligera	3	2	2	2	-
2	Moderada	-	3	2	2	-
3	Fuerte	-	-	-	-	X

INUNDACIÓN (i)

Clase de inundación		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
Simbolo	Nombre	A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
1	Sin riesgo	1	1	1	1	-
2	Ligera	2	2	1	1	-
3	Moderada	3	-	2	2	-
4	Severa	-	-	-	3	-
5	Extrema	-	-	-	-	X

EROSIÓN (e)

Clase de Erosión		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
Simbolo	Nombre	A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
1	Muy ligera	1	1	1	1	-
2	Ligera	1	1	1	1	-
3	Moderada	2	2	2	2	-
4	Severa	-	-	-	3	-
5	Extremada	-	-	-	-	X

MICRORELIEVE (e)

Clase de Microrelieve		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
Simbolo	Nombre	A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
1	Plano	1	1	1	1	-
2	Ondulado suave	2	2	2	2	-
3	Ondulado	3	3	2	2	-
4	Microondulado o Microquebrado	-	-	-	4	-

PROFUNDIDAD EFECTIVA (s)

Clase de profundidad		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
Profundidad (cm)	Nombre	A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
> 150	Muy profunda	1	1	1	1	-
100-150	Profunda	1	1	1	1	-
50-100	Moderadamente profunda	2	1	1	1	-
25-50	Deficiente	3	2	2	2	-
< 25	Muy superficial	-	-	3	-	X

PENDIENTE LARGA (e)

Clase de pendiente (%)		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
		A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
1-2		1	1	1	1	-
2-4		1	1	1	1	-
4-8		2	1	1	1	-
8-15		3	2	2	1	-
15-25	1 (secano)	3	2	1	-	-
25-50	2 (secano)	3	2	-	-	-
50-75	-	-	-	3	-	-
75	-	-	-	-	-	X

PENDIENTE CORTA (e)

Clase de pendiente (%)		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
		A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
1-4		1	1	1	1	-
4-8		2	1	1	1	-
8-15		3	2	2	1	-
15-25	1 (secano)	3	2	1	-	-
25-50	2 (secano)	3	2	-	-	-
50-75	-	-	-	3	-	-
75	-	-	-	-	-	X

PEDREGOSIDAD (s)

Clase de pedregosidad (superficie)		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
		A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
0		1	1	1	1	-
1		2	1	1	1	-
2		-	2	2	2	-
3		-	-	3	2	-
4		-	-	-	-	X

GRAVOSIDAD O GULIARROSIDAD (s)

Clase de gravosidad o gularrosidad		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
		A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
0		1	1	1	1	-
1		3	2	2	1	-
2		-	3	1	1	-
3		-	-	-	2	-

TEXTURA (s)

Clase de Textura		GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
Simbolo	Nombre	A	C	P	F	X
Calidad Agrícola						
D	Gruesa	3	3	2	1	-
MD	Moderat. Gruesa	2	2	2	1	-
M	Medio	1	1	1	1	-
MP	Moderat. Fina	2	2	1	1	-
F	Fina	3	2	2	1	-

FERTILIDAD NATURAL (a)

Clases de fertilidad	GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR				
	A	C	P	F	E
	Calidad Agrícola				
Alta	1	1	1	1	-
Medio	2	2	2	1	-
Baja	3	3	3	2	-

ANEXO Nº IV

GUÍA DE CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS

La escala de valores que define y cuantifica los parámetros edáficos del sistema es la siguiente:

1. Topografía o Relieve

a. Pendiente

- Pendientes Cortas (laderas cortas)

Aquellas no mayores de 50 m, consideradas a partir del punto donde empieza a correr el agua hasta el extremo de menor nivel.

- Pendientes Largas (Laderas largas)

Aquellas mayores de 50 m, consideradas a partir del punto donde empieza a correr el agua hasta el extremo de menor nivel.

Los rangos o clases de pendiente que se indican a continuación varían de acuerdo a la longitud de la pendiente establecida.

CLASES DE PENDIENTE (%)

Pendientes Cortas (Laderas cortas)	Pendientes Largas (Laderas largas)
0 - 4	0 - 2
4 - 8	2 - 4
8 - 15	4 - 8
15 - 25	8 - 15
25 - 50	15 - 25
50 - 75	25 - 50
+ 75	50 - 75 + 75

b. Microtopografía o Microrrelieve

Se refiere a las pequeñas diferencias de relieve, determinándose cuatro clases de configuración de la superficie o microrrelieve del terreno.

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. Plano | : Ausencia de microondulaciones o microdepressiones |
| 2. Ondulado Suave | : Con microondulaciones muy espaciadas |
| 3. Ondulado | : Con microondulaciones de igual anchura y profundidad |
| 4. Microquebrado o Microoso | : Presentan microondulaciones más profundas que anchas. |

2. Profundidad Efectiva del Suelo

Es el espesor de las capas del suelo en donde las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente en busca de agua y nutrientes. Su límite es inferior está dado por capas de arcillas muy densas, materiales consolidados por la acción química (hardpanes de diferente naturaleza), materiales fragmentados (grava, piedras o rocas) o napa freática permanente, que actúa como limitantes al desarrollo normal de las plantas.

CLASES DE PROFUNDIDAD EFECTIVA (cm.)

Menos de 25	muy superficiales
25 - 50	superficiales
50 - 100	moderadamente profundo
100 - 150	profundo
Más de 150	muy profundo

3. Textura

Está constituida por las proporciones de la arcilla, limo y arena, en partículas de hasta 2 mm de diámetro. Se considera la textura dominante en los primeros 100 cm de profundidad.

GRUPOS TEXTURALES

Símbolo	Grupos	Textura
G	Gruesa	Arena, arena franca
MG	Moderadamente Gruesa	Franco arenoso
M	Medio	Franco Franco limoso Limoso
MF	Moderadamente Fina	Franco arcilloso Franco arcillo limoso Franco arcillo arenoso
F	Fina	Arcillo arenoso Arcillo limoso Arcilloso

4. Fragmentos Rocosos

Se refiere a la presencia de gravas, guijarros y piedras en el perfil edáfico, cuyos diámetros oscilan de 2 mm a 60 cm.

Clases de Fragmentos Rocosos (Gravosidad, gujarosidad o pedregosidad)

Símbolo	Clase
(0)	Libre a ligeramente gravoso (gujarroso o pedregoso) Contiene menos del 15% de fragmentos rocosos por volumen de suelo.
(1)	Gravoso (Gujarroso o pedregoso) Contiene 15 a 35% de fragmentos rocosos por volumen de suelo.
(2)	Muy Gravoso (Gujarroso o pedregoso) Contiene 35 a 60% de fragmentos rocosos por volumen de suelo.
(3)	Muy Gravoso (Gujarroso o pedregoso) Contiene más de 60% de fragmentos rocosos por volumen de suelo.

5. Pedregosidad Superficial

Se refiere a la proporción relativa de piedras de más de 25 cm. de diámetro que se encuentra en la superficie del suelo.

Clases de Pedregosidad Superficial

Símbolo	Clase
(0)	Libre a ligeramente pedregoso No interfiere con la labranza. Las piedras o pedregos cubren entre 0.01 y 0.1% de la superficie. Las piedras ocasionales se encuentran a distanciamiento mayores a 20 m.

- (1) **Moderadamente Pedregoso**
Presencia de piedras que dificultan la labranza. Requiere de labores de desmenuado para cultivos transitorios. Las piedras o pedregones cubren entre 0.1 y 3 % de la superficie. Las piedras se distancian entre 5 y 20 m.
- (2) **Pedregoso**
Presencia de piedras en cantidad suficiente para impedir cultivos transitorios, pero permiten la siembra de cultivos perennes. Las piedras o pedregones cubren entre 3 y 15% de la superficie. Las piedras se distancian entre 1 y 3 m.
- (3) **Muy Pedregoso**
Presencia de piedras en cantidad suficiente para impedir toda posibilidad de cultivo económico, pero permite el pastoreo o extracción de madera. Las piedras o pedregones cubren entre 15 y 50% de la superficie. Las piedras se distancian entre 0.5 y 1 m.
- (4) **Entramadamente pedregoso**
Presencia de piedras en cantidad suficiente para impedir todo uso económico inclusive ganadero y producción forestal. Las piedras o pedregones cubren entre 50 y 90% de la superficie. Las piedras se distancian menos de 0.5 m.

6. Drenaje

Es la rapidez y grado con que el agua es removida del suelo en relación con el escurrimiento superficial y el movimiento de las aguas a través del suelo hacia los espacios subterráneos.

Símbolo	Clases
A	Exceutivo: El agua es removida del suelo muy rápidamente. Los suelos en esta clase de drenaje son arenos y muy porosos, áreas muy empinadas (escarpadas) o arbores, puede incluir subgrupos líticos.
B	Algo exceutivo: El agua es removida del suelo rápidamente. Esta clase de drenaje incluye suelos porosos, de permeabilidad moderadamente rápida y/o escurrimiento rápido, áreas empinadas o arbores. El suelo está normalmente libre de molesturas y gley.
C	Buena: El agua es removida del suelo con facilidad pero no rápidamente. Incluye generalmente suelos de textura media. Puede haber molesturas de gley en la parte inferior del horizonte C o a profundidades mayores.
D	Moderada: El agua es removida del suelo algo lentamente, de tal manera que el perfil está mojado por un periodo pequeño, pero significativo de tiempo. Por ejemplo suelos con napa alta, capa ligeramente impermeable del suelo a menudo hay molesturas de gley en el horizonte D.
E	Imperfecto: El agua es removida lo suficientemente lenta como para mantenerlo mojado por períodos significativos pero no todo el tiempo. Por ejemplo suelos de napa alta, capa poco permeable superficial. A menudo hay molesturas de gley la parte inferior del horizonte A o inmediatamente debajo de eso.
F	Pobre: El agua es removida del suelo tan lentamente que el suelo permanece mojado por un largo periodo de tiempo. Por ejemplo, suelos de napa alta, capa poco permeable superficial, filtraciones, áreas ligeramente depresionadas.

- G **Muy pobre:**
El agua es removida del suelo tan lentamente que una lámina de agua permanece en la superficie casi todo el año, impidiendo el desarrollo de las plantas mesofíticas¹. Los suelos se encuentran en áreas planas o depresionadas y están frecuentemente inundadas.

7. Reacción del suelo (pH)

Es el grado de alcalinidad o acidez de los horizontes del suelo y se mide en unidades de pH. La reacción del suelo estará dada por el pH que prevalece dentro de los primeros 50 cm de profundidad.

Rango	Clase
Menos de 3.5	Ultra ácido
3.6 - 4.4	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido
6.6 - 7.3	Neutro
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino
más de 9.0	Muy fuertemente alcalino

8. Erosión Hidrica

Erosión es el desprendimiento, transporte y deposición del material del suelo por el escurrimiento superficial.

Grado de Erosión	Descripción
Muy ligera	Se observa síntomas de erosión difusa que se caracteriza por una remoción y arrastre imperceptible de partículas de suelo.
Ligera	Se observa síntomas de erosión laminar, caracterizado por la remoción y arrastre laminar casi imperceptible de partículas de suelo y presencia de canales. Ausencia de surcos y cárcavas.
Moderada	Se observa síntomas de erosión a través de la existencia de regular cantidad de surcos. Ausencia o escasez de cárcavas.
Severa	Presencia abundante de surcos y cárcavas no corregibles por las labores de cultivo.
Extrema	Suelos prácticamente destruidos o truncados. Presencia de muchas cárcavas que en conjunto conforman los "badlands" (mal país).

9. Salinidad y/o Sodicidad

Los suelos según su salinidad y sodicidad pueden ser:

Símbolo	Descripción
0	Libres a muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio: Prácticamente ningún cultivo se encuentra inhibido en su crecimiento o muestra daños provocados por exceso de sales o sodio. Los suelos muestran conductividad eléctrica inferior a 4 dSm. El porcentaje de sodio es menor del 4%.

¹ Mesofítica: Especie vegetal que se desarrolla en condiciones medias de humedad y temperatura. Dictionary of Ecology-Edwards V. Gentry

- 1 Ligamente afectados por sales y sodio:**
El crecimiento de las especies sensibles está inhibido, pero las plantas tolerantes pueden subsistir.
La conductividad eléctrica varía de 4 a 8 dS/m. El porcentaje de sodio es de 4 a 8%.
- 2 Moderadamente afectados por sales y sodio:**
El crecimiento de los cultivos está inhibido y muy pocas plantas pueden desarrollar adecuadamente.
La conductividad eléctrica varía de 8 a 16 dS/m. El porcentaje de sodio está entre 8 y 15%.
- 3 Fuertemente afectados por sales y sodio:**
No se puede cultivar económicamente.
La conductividad eléctrica es de mayor de 16 dS/m. El porcentaje de sodio sobrepasa el 15%.

10. Riesgos de Anegamiento o Inundación Fluvial

Símbolo	Descripción
0 Sin riesgo o peligro de inundación Incluye años de inundación muy excepcionales y por breve duración.	
1 Inundación Ligera El anegamiento es de poca profundidad y por períodos cortos en ciertos meses de todos o algunos años. Permite cultivos tanto perennes como estacionales.	
2 Inundación Moderada El anegamiento es de gran profundidad y por períodos moderadamente prolongados en todos los años. Esto hace muy difícil o imposible el uso del suelo para cultivos perennes, permitiendo sin embargo, el cultivo estacional de algunas plantas en cultivos en tiempo o pastos.	
3 Inundación Severa El Anegamiento es profundo y frecuente, por períodos muy prolongados que no permiten la instalación de ningún cultivo o el cultivo de pastos continuado.	
4 Inundación Extrema De duración casi permanente.	

11. Clima

CLASE	ZONA DE VIDA	TIPO CLIMÁTICO	Grupos de Capacidad de Uso Mayor				
			A	C	P	F	X
			Cantidad Agrícola				
1	dT, eS, sT; dPT, dPS, dPF; dMG, dMG	Árido - cálido	11	11	-	-	-
2	ndT, ndS, ndR; ndPT	Árido - templado cálido	11	11	-	-	-
3	hMT, hMS, hRF; hMT, ndMG	Árido - Templado cálido	-	-	30	-	-
4	hMT, hMS	Semiárido - Templado cálido	20	-	30	-	-
5	hMT, hMS	Semiárido - semib	30	-	30	-	-
6	hT, hS, hR; hS, hR, hT; hT, hS, hR, hR	Humedo - semitigro	-	-	7	-	-
7	hT, hS, hR; hS, hR, hT; hT, hS, hR, hR	Humedo - hídrico	-	-	7	-	-

CLASE	ZONA DE VIDA	TIPO CLIMÁTICO	Grupos de Capacidad de Uso Mayor				
			A	C	P	F	X
			Cantidad Agrícola				
8	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Subhúmedo - cálido	11	11	31	-	-
9	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Subhúmedo - templado	7	-	2	3	-
10	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Humedo - semib	7	-	5	3	-
11	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Subhúmedo - cálido	1	1	1	1	-
12	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Humedo - templado	7	-	1	1	-
13	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Humedo - semib	7	-	2	3	-
14	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Muy húmedo - cálido	7	2	3	1	-
15	hT, hS, hR; hS, hR, hT	Muy húmedo - cálido	7	5	3	2	-

Nota: En los desiertos se incluye los que están en condición desecado, árido y superárido.

12. Fertilidad del Suelo

Relacionada al contenido de macronutrientes: materia orgánica (nitrógeno), fósforo y potasio de la capa superficial del suelo, hasta 30 cm de espesor. Su valor alto, medio o bajo se determina aplicándose la ley del mínimo, esto quiere decir que es definida por el parámetro que presenta el menor valor.

Símbolo	Descripción
1 Fertilidad Alta Todos los contenidos de Materia Orgánica, nitrógeno, fósforo y/o potasio son altos.	
2 Fertilidad Media Cuando alguno de los contenidos de Materia Orgánica, nitrógeno y/o potasio es medio, los demás son altos.	
3 Fertilidad Baja Cuando por lo menos uno de los contenidos de Materia Orgánica, nitrógeno y/o potasio es bajo.	

Parámetros que definen la fertilidad del suelo

NIVEL	MATERIA ORGÁNICA (%)	FOSFORO DISPONIBLE (ppm)	POTASIO DISPONIBLE (ppm)
Alto	Mayor de 2	Mayor de 7	Mayor de 100
Medio	2 - 4	7 - 14	100 - 240
Bajo	Menor de 2	Menor de 7	Menor de 240

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria - La Molina.

391884-2

AMBIENTE

Disponen la publicación de un Proyecto de Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Procedimiento Sancionador por infracciones cometidas en las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL
N° 170-2009-MINAM**

Lima, 28 de agosto de 2009



Summary

Contaminated sites are of great concern for their potential impact on public and ecosystem health. Contaminated sites are found in every province and territory in Canada, as well as on federally owned lands. Therefore, tools for assessing the relative hazards or risks posed by various sites can be useful in prioritizing sites for remediation. The National Classification System for Contaminated Sites (NCSCS) provides a method, or screening tool, for assessing/rating various contaminated sites (CCME, 1992; CCME 2007-draft). Sites are classified under the NCSCS based on the known contamination and the potential for exposure to various receptors. The Soil Quality Index (SoQI) is a complementary tool that focuses more on evaluating the relative hazard, by comparing contaminant concentrations with their respective soil quality guidelines. Advantages of the SoQI include that it is relatively simple and easy to use, and is less subjective than the NCSCS.

The proposed SoQI uses three factors for its calculations, namely: 1) scope (% of contaminants that do not meet their respective guidelines), 2) frequency (% of individual tests of contaminants that do not meet their respective guidelines), and 3) amplitude (the amount by which the contaminants do not meet their respective guidelines). The proposed soil quality index can be used to compare different contaminated sites with similar types of contamination as well as to see if the jurisdictional requirements have been met after remediation of a particular site.

The basic requirements for calculating the SoQI for contaminated sites include: selection of applicable contaminants, measured concentrations of all relevant contaminants at the site, and their established soil quality guidelines. Some additional data about the site is also required for selecting the appropriate guidelines and applicable receptors. The Index provides a quantitative assessment of contaminated sites with a final value between 0 and 100. Using the final values of the SoQI, contaminated sites can be divided into five different classes based on the level of their concern to public or ecosystem health. The proposed classes are: Very low (90-100), low (70-90), Medium (50-70), High (30-50) and Very high (0-30).

The rating of a contaminated site can be further described by identifying the contaminants that are exceeding the guidelines and providing a brief statement about the required remediation and available soil management options. An example with actual data from a contaminated site is presented to illustrate how the proposed soil quality index is calculated and used. A spreadsheet model or calculator is available online (www.ccme.ca) for calculating the SoQI scores for contaminated sites.

Introduction

Contaminated sites and their potential impact on ecosystem and public health have been an area of great concern for a long time throughout Canada. In April 1990, a multi-stakeholder workshop (CCME Contaminated Sites Consultation Workshop) was held with representatives from government, industry and the public. At this workshop, it was agreed that a system was required to classify or rate the contaminated sites and it was recommended that the system should be relatively simple and applicable to all contaminated sites in Canada. As a result of this workshop, a National Classification System for Contaminated Sites (NCSCS) was developed to classify contaminated sites in Canada (CCME, 1992). A revised version of the NCSCS was later developed in 2003 for specific use at federal contaminated sites (Environment Canada, 2003). The system was designed as a tool specifically for the classification and general prioritization of contaminated sites. The system screens sites with respect to the need for further action to protect public and ecosystem health.

The primary purpose of the National Classification System is to evaluate the hazard potential of a site by scoring site characteristics that can be grouped under one of three categories, namely contaminant characteristics, exposure pathways and receptors that may be exposed to and affected by contamination. The system evaluates sites by scoring them on a scale from 0 to 100. A high score means that the site has a high potential for causing negative impacts. The system was not designed to provide a quantitative risk assessment but rather to screen sites with respect to the need for further action to protect

ecosystem and public health. As it provides a numerical rating system, some people use this method not only as a qualitative but also as a quantitative tool.

The CCME Soil Quality Guidelines Task Group recently reviewed the 1992 National Classification System for Contaminated Sites. Numerous recommendations were made to make the classification system less subjective, and more applicable to a broader range of potential site conditions. Therefore, a revised classification system is currently under development.

The soil quality index (SoQI) differs in a number of ways from the NCSCS, and therefore makes a useful complementary tool for screening contaminated sites. Whereas the NCSCS considers the potential impact of the single worst contaminant present at a site, with the SoQI the impact of all relevant contaminants are assessed at one time in an integrated manner. There is considerably less potential for subjectivity in the classification of a site using the SoQI than with the NCSCS, as the SoQI is entirely determined based on analytical data, with user input only in the selection of relevant contaminants and appropriate guideline values. The NCSCS is broader in scope, in that it also involves assessing the potential for future migration of contaminants from the site and exposure to a wider range of receptors. In contrast, the SoQI focuses just on the current extent of the contamination and its exceedances of soil quality guidelines. The SoQI is therefore relatively simple and easy to use.

In using the SoQI it is important to keep in mind its limitations. An advantage of the SoQI is that it provides the ability to combine various measurements into a single metric, and facilitates the communication of results. The SoQI is not intended to replace a detailed analysis of environmental monitoring data, nor should it be used as the only tool for management of contaminated sites. What it can do is provide a broad overview of environmental quality at various contaminated sites as a starting point for prioritizing further assessment or remediation efforts.

Background – Existing Similar Indices In Canada

The proposed soil quality index has been developed based on a similar formulation that was used in the Canadian Water Quality Index (CCME, 2001) and a sediment quality index (Gerpentine et al. 2002 and Marvin et al. 2004). Prior to the development of the CCME water

quality index, there were a number of jurisdictions in Canada using some type of indices to assess water quality. The Water Quality Guidelines Task Group of the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) formed a technical subcommittee in 1997 to assess different approaches and to develop an index that could be used to simplify water quality reporting in Canada. After reviewing the approaches from Quebec (Hébert, 1996), British Columbia (Rocchini and Swain, 1995) and Alberta (Wright et al. 1999), the technical subcommittee adopted the conceptual model from the British Columbia index and later finalized the index.

The proposed soil quality index is a quantitative tool to assess and rate contaminated sites. It can be used in communicating complex data in an understandable way. The index can also be used to compare the sites before and after remediation and to see if the jurisdictional requirements have been met for a particular site.

CCME Soil Quality Index Development

The basic requirements for using this index to assess or rate a contaminated site are as follows:

- 1) Selection of applicable contaminants;
- 2) Sample collection and contaminant analysis;
- 3) Site assessment data; and
- 4) Soil quality guidelines.

Selection of Applicable Contaminants

Selection of the contaminants is an important factor in calculating the soil quality index. The basic guidance for selecting contaminants is as follows:

1. Selected contaminants should have some relevance to the type of contamination that has occurred or the chemicals used in industrial operations in the past at that site.
2. One should also include known or expected by-products of contaminants where applicable.
3. Selected contaminants should have some established soil quality guidelines/standards.

A general list of contaminants cannot be proposed for contaminated sites, as the number and type of contaminants at any one site varies widely depending upon the type of industry or the spill at that site.

For example, sites contaminated with petroleum hydrocarbons (PHC) can include at least four fractions of PHC (F1: C6-C10; F2: C10-C16; F3: C16-C34; and F4:

-C34), benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, and lead. Sites contaminated with metals or pesticides will include all metals or pesticides respectively either spilled or used at the site during their operations. It may include some of their byproducts if they are of any public or ecological health concern. Sites contaminated with radioactive or other metals should include major metals along with other metals mined as impurities, their byproducts and chemicals used in their processing.

The sensitivity analysis of the SoQI (Gertner Lee Ltd, 2006) found that the average value of the SoQI increases as the number of contaminants is decreased, and the variability of the index also increases. In general, a minimum of four contaminants should be used in calculating the soil quality index for rating a contaminated site. However, if a site is contaminated with only one or two substances, one can still calculate the SoQI with fewer than four contaminants, but one should be careful in interpreting the results and such sites should not be compared with sites where a greater number of contaminants were used.

Sites with similar contamination issues, whose SoQI scores are to be directly compared should have the same parameters sampled at each site. The sensitivity analysis by Gertner Lee Ltd. (2006) also suggested that one should not exclude the major contaminants of the site in calculating the SoQI.

The total number of selected contaminants is very important for the index to yield meaningful results. Choosing a small number of contaminants for which the guidelines are not met will provide a different picture than if a large number of contaminants are chosen where most of them meet their guidelines.

In order to avoid any misuse of this tool, the user, as well as the regulatory officer, must ensure that the guidance in selecting the appropriate number and type of contaminants is followed in calculating the soil quality index. Failing to include relevant contaminants in the calculation, or conversely, loading up the calculation with data on irrelevant substances at a site, can both skew the index results and affect the ability to make fair and appropriate comparisons of scores among sites.

Sample Collection and Contaminant Analysis

Analytical data are required on the concentrations of all applicable contaminants from numerous soil samples collected at the site. Ideally, samples should be collected from various locations (horizontally) and at various soil

depths (vertically) at the site in order to capture the range of distribution of the contamination. Recommended approaches for the collection of soil samples and contaminant analysis can be found in volumes I and II of the "Guidance Manual on Sampling, Analysis, and Data Management for Contaminated Sites" (CCME 1993a,b).

The total number of soil samples depends upon the required level of precision. Also, the locations (horizontal and vertical) within the contaminated site should be based on the mobility of various contaminants and history of contamination at that site. It must be left up to the professional judgment of the user for selecting the number of sampling locations including soil depths, number of contaminants, and total number of soil samples to be used for chemical analysis in calculating the soil quality index.

Site assessment data

Additional information on characteristics of the contaminated site is also required, especially for liquid or highly mobile contaminants. Data that should be collected include: soil texture, present and future land use, hydraulic conductivity, distances to nearby buildings and surface water sources and depth of the groundwater table.

For example, present and future land use and soil texture are useful in selecting the appropriate guidelines. Information on distances to nearby buildings and surface water sources will help in determining the applicable pathways and receptors for a Tier 2 approach where applicable. Similarly, hydraulic conductivity, soil texture of the confining layer and depth of the water table will help in determining any possible impact on groundwater sources around that site. Such information can also be used in developing the soil quality guidelines if required for using Tier-2 at any particular site.

Soil Quality Guidelines

The role of soil quality guidelines in the successful implementation and reporting of the SoQI cannot be overstated. The ability of the SoQI to accurately "score" the quality of contaminated sites and the level of concern for public and ecosystem health depends directly on the use of appropriate guidelines against which monitoring data are compared. The key point is that the guidelines used in the SoQI computation should be locally relevant, meaning appropriate to the local assemblage of species, natural background and soil characteristics such as organic carbon content, particle size, pH and redox

potential that can affect the toxicity of some chemicals of concern.

The guideline values could be national, provincial/territorial or site-specific in origin, so long as they fit the local conditions. For example national guidelines will likely be locally relevant if the toxicity of the substance is not modified by pH or redox potential, or if the national guidelines can be adjusted easily through an existing equation or model to accommodate the toxicity modifying effects of pH or redox potential. True site-specific guidelines involving site-specific assessment and toxicity testing will need to be developed for substances and sites for which national or other generic or provincial guidelines cannot be applied. For example, national values for naturally occurring substances (e.g., metals) will not likely be appropriate if the local natural background is high or if there are local sensitive species or species of concern to be considered.

Some of the criteria for selecting appropriate guidelines are described below.

In the case of petroleum hydrocarbons, there are two possible scenarios that may apply when selecting guidelines/standards for calculating the SoQI:

1. TIER-1 scenario: when the contamination is relatively small and it is economical and practical to remediate the contaminated site to the minimum guideline of all possible receptors of human and ecological health. In these cases, soil analyses may be compared directly with the Tier-1 values provided in the Canada-wide Standard for Petroleum Hydrocarbons in Soils (CCME, 2001a).
2. TIER-2 scenario: when the contamination is relatively large and it is not practical or economical to remediate the site to the minimum guideline of all possible receptors of human and ecological health; further, it is quite obvious that some of the pathways will not apply because of the location, land use or geology at that site. In these cases, a Tier-2 approach to develop site-specific guidelines should be used, as described in CCME (2001a).

Similarly, with other types of contaminants, concentrations may be compared directly with existing soil quality guidelines (i.e., a Tier-1 approach), or a Tier-2 approach can also be used to derive site-specific guidelines, if applicable.

Under Tier-1, the soil quality index should be calculated by using the most stringent guideline of all pathways and

receptors for a specified land use. Under a Tier-2 scenario, pathways that are not applicable at the contaminated site will be eliminated and the most stringent guideline of all the applicable pathways and receptors will be used or modified guidelines will be developed if required, by using local site information and available models (CCME, 2001b).

A spreadsheet model was developed (CCME, 2003) for determining the most stringent guidelines of petroleum hydrocarbons for both scenarios. That model can be updated if significant changes in the guidelines are approved anytime in the future by CCME.

Soil quality guidelines for most contaminants are generally available for human health and environmental health under the four land use categories, namely: Agricultural, Residential / Parkland, Commercial and Industrial. The human health guidelines are further divided under different pathways, namely: soil ingestion (and/or particle inhalation and dermal contact); drinking water; inhalation of indoor air; offsite migration; and consumption of produce, meat and milk. Similarly, the environmental health guidelines are divided under: direct soil contact; soil and food ingestion; nutrient and energy cycling; groundwater (aquatic life, irrigation, and /or livestock watering); and offsite migration. Soil quality guidelines of many contaminants are not available for all the above pathways due to lack of available scientific data, or where a pathway is not applicable for a particular contaminant.

In view of the available soil quality guidelines, the soil quality index can be quite flexible for calculating the SoQI for human health or environmental health separately if required. Also the index can be calculated either for the applicable land use or can be further refined to use the most stringent pathway or receptor. The final value of the soil quality index and site-ranking category will vary widely with the selection of guidelines used for any contaminated site. If the basic information required for assessing various pathways and possible receptors at the contaminated sites is available or can be obtained, it is recommended that one should assess all pathways and receptors and use the most stringent soil quality guideline of the applicable pathways or receptor.

Selection of guidelines also depend upon the future land use of the area. The guidelines for calculating the SoQI should first be selected based on the future land use (agriculture, residential/parkland, commercial or industrial) of the area, followed by soil texture and for applicable receptors, if required.

CCME (1999) has published Canadian Soil Quality Guidelines for about 70 chemical substances. For detailed information on the soil quality guidelines for various contaminants, please refer to chapter 7 of *Canadian Environmental Quality Guidelines* (CCME 1999). A summary table of the guideline values is also available on the CCME website at http://www.ccme.ca/publications/ceqg_xrqs.html?category_id=124. Information on the Canada-wide standards for petroleum hydrocarbons is also available at http://www.ccme.ca/ourwork/soil.html?category_id=43. These guidelines are provided for four land uses (agricultural, residential/parkland, commercial and industrial) and for various receptors of human and ecological health. Some provinces in Canada develop and use their own provincial or site-specific guidelines (e.g., Quebec, Ontario, Alberta, British Columbia) while others adopt CCME's guidelines as such or modify them for their use based on the background concentrations and other local conditions.

Under the general guidance of the United States Environmental Protection Agency (USEPA), various states of the U.S.A. have developed soil quality guidelines/standards for over 200 chemicals. For example, the soil quality guidelines developed by Michigan Department of Environmental Quality (2004) are available at their website (<http://www.deq.state.mi.us/documents/deq-mi-part201-ruler-Rule746Table.pdf>). If appropriate guidelines are not available in Canada for a particular contaminant, U.S. guidelines may be considered for use in calculating the soil quality index. However, this should be done with caution, as guidelines from the U.S. are developed using different procedures and may also have different levels of protection than Canadian Soil Quality Guidelines. Soil quality guidelines have also been published by various European countries, which are also accessible if required.

Site-specific soil quality guidelines are always preferred when available. However, in their absence, use of provincial or national soil quality guidelines is recommended. If a jurisdiction does not have guidelines for all contaminants of interest for a site, a mix from different jurisdictions could be considered. However, in using a mix, it would be preferable if the approach used in deriving their guidelines is comparable and they are based on comparable levels of protection. The SoQI Calculator (available online at www.ccme.ca) includes the Canadian Soil Quality Guidelines as the default option; however, other guidelines may be added to the calculator by the user.

CCME Soil Quality Index Formulations

The SoQI for contaminated sites was developed by using three factors, namely: F1 (Scope), F2 (Frequency), and F3 (Amplitude). A brief description of these factors and formulae for calculating the index are as follows:

F1 (Scope)

The factor F1 (as calculated in equation 1) represents the percentage of contaminants that do not meet their respective guidelines (failed contaminants) relative to the total number of contaminants that were measured (and selected for inclusion in the SoQI calculation) at the site.

$$F_1 = \frac{\text{Number of failed contaminants}}{\text{Total number of contaminants}} \times 100 \dots (1)$$

F2 (Frequency)

The factor F2 (equation 2) represents the percentage of individual tests that do not meet their respective guidelines (failed tests):

$$F_2 = \frac{\text{Number of failed tests}}{\text{Total number of tests}} \times 100 \dots (2)$$

F3 (Amplitude)

The factor F3 (equation 3) represents the amount by which failed test values do not meet their respective guidelines (excursion from the guideline value). The relationship between F3 and the amount by which the concentrations of contaminants depart from their guidelines are described by Wright et al. (1999). F3 is calculated in the following three steps.

Step 1: Calculate the excursion of all tests in the dataset:

When the concentration of a contaminant is greater than (or less than, when the guideline is a minimum) the soil quality guideline, it is called an excursion. The magnitude of excursion of each test is calculated as follows:

When the test value must not exceed the guideline:

$$\text{Excursion} = \frac{\text{Failed Test Value}}{\text{Guideline}} - 1 \dots (3a)$$

For the cases in which the test value must not fall below the guideline:

$$Excursion_i = \frac{Guideline_i}{Failed\ Test\ Value_i} - 1 \dots\dots(3b)$$

Step 2. Calculate the average sum of excursions or 'ase'

This refers to the average amount by which individual tests are out of compliance and is calculated by summing the excursion of all individual tests from their guidelines and dividing by the total number of tests that do not meet their guidelines as follows:

$$ase = \frac{\sum_{i=1}^n excursion_i}{\#\ of\ failed\ tests} \dots\dots\dots(4)$$

In the water quality index (CCME, 2001), rather than calculating the 'ase', the 'normalized sum of excursions' or 'nse' was calculated by dividing the sum of excursions by the total number of tests (tests that meet as well as those that do not meet the guidelines). By using 'nse' instead of 'ase', factor F3 becomes smaller and increases the value of the soil quality index. The impact of using 'nse' is that both F3 and the final value of the soil quality index increase with an increase in the total number of tests. Therefore, for the purposes of the SoQI, F3 has been modified to use 'ase', where the sum of excursions is divided by only the total number of tests that are not in compliance (equation 4). The main reasons for this change are as follows:

1. As the quality of a contaminated site is primarily judged by the amount of excursions of various contaminants from their guidelines, the value of F3 should appropriately reflect that in comparison to F1 and F2.
2. The effect of contaminants gets diluted by dividing the excursions by the total number of tests.
3. Any one of the contaminants that is not in compliance can cause severe limitations for the ecosystem or public health. Therefore, the impact of any contaminant should not be minimized in rating the contaminated site.

Step 3. F3 is then calculated by an asymptotic function that scales the average sum of excursions (ase) to yield a range between 0 and 100 as follows:

$$F3 = \frac{ase}{0.01\ ase + 0.01} \dots\dots\dots(5)$$

The Soil Quality Index (SoQI)

Once the factors have been quantified, the SoQI can be calculated by summing all the factors as if they were vectors as shown below in equation # 6. This approach treats the index as a three dimensional space defined by each factor along one axis. With this model, the index changes in direct proportion to changes in all three factors

$$SoQI = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \dots\dots\dots(6)$$

The divisor (1.732) normalizes the resultant values to a range between zero and one hundred, where zero represents a very high level of contamination or public concern and one hundred represents negligible amount of contamination or public concern. The value of the divisor is calculated as follows:

$$\frac{\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2}}{100} = 1.732 \dots\dots\dots(7)$$

If a site is not tested more than once over time or space, the Factor F2 (frequency) won't be applicable and the divisor for the equation (6) for calculating the SoQI will be 1.414. Although contaminated sites may not be tested more than once over time, typically they are tested over a wide area or space, i.e., with various samples collected vertically at different depths and horizontally at different distances from the main site of contamination to determine the total spread of contamination. As a result, all samples taken both in horizontal and vertical directions make the Factor 2 applicable for its use in calculating the soil quality index.

Based on the final value of the index, contaminated sites can be divided into five different classes as follows. Each class of contaminated site needs to be interpreted based on the level of concern for public and ecosystem health and the need for remediation. Sites with a high SoQI

score (e.g., 90-100) are of high quality and have a very low level of concern. Therefore, these would be low priorities for remediation. At the other end of the scale, a low SoQI score (0-30) would indicate a very high level of concern due to contamination, and therefore a high need for remediation.

It is important to note that in the NCS method of assessing contaminated sites, a high score means a high potential and a low score means a low potential or concern for negative impact. On the other hand, in the soil quality index, the scoring and categories are opposite to the NCS method and are designed to be consistent with the CCME's water quality and sediment quality indices.

Site Classes or Level of concern	Soil Ranking Categories of the SoQI
Very Low	90-100
Low	70-90
Medium	50-70
High	30-50
Very high	0-30

When reporting SoQI scores for contaminated sites, users should also provide a list of major contaminants of public concern and a statement describing the need for soil remediation or soil management options where possible.

An Example of Calculating the SoQI for Contaminated Sites

This case study is a site located in Saskatchewan that was found to be contaminated with petroleum hydrocarbons and later remediated by using a Tier-1 approach. The soil samples were taken from four different locations and analyzed for benzene, ethylbenzene, toluene, xylenes, petroleum hydrocarbons F1 (C6-C10), F2 (C10-C16), F3 (C16-C34), F4 (C34-C50), and lead. The analytical data and applicable soil quality guidelines are presented below in Table 1.

Calculation of the SoQI for case study:

$$F1 = \frac{5}{9} \times 100 = 55.6$$

$$F2 = \frac{6}{36} \times 100 = 16.7$$

$$F3: \text{Excursion - i} = \frac{40}{5} - 1 = 7$$

$$\text{Excursion - ii} = \frac{82}{50} - 1 = 0.64$$

$$\text{Excursion - iii} = \frac{220}{50} - 1 = 3.4$$

$$\text{Excursion - iv} = \frac{2840}{1000} - 1 = 1.84$$

$$\text{Excursion - v} = \frac{100}{30} - 1 = 2.3$$

$$\text{Excursion - vi} = \frac{180}{50} - 1 = 2.6$$

$$ave = \frac{17.78}{6} = 2.96$$

$$F3 = \frac{2.96}{(2.96 \times 0.01 + 0.01)}$$

$$F3 = \frac{2.96}{0.0396} = 74.8$$

$$SoQI = 100 - \frac{\sqrt{55.6^2 + 16.7^2 + 74.8^2}}{1.732}$$

$$SoQI = 100 - 56 = 45$$

Conclusions of case study:

Level of concern: High

Type of Contamination: Soil is contaminated with benzene, ethylbenzene, toluene, xylenes and PHC fraction F1 (C6-C10).

Management Options: The soil should be remediated to the levels of Saskatchewan guidelines and Canada-wide standards for PHC fraction F1.

Table 1. Soil sample analysis of a commercial site contaminated with petroleum hydrocarbons.

Parameter	West wall mg/kg	Bottom mg/kg	North wall mg/kg	South wall mg/kg	Saskatchewan Subsoil Guidelines**
Depth (m)	2.4	5.3	2.4	3.0	-
Benzene	0.8	1.1	0.5	40	5.0
Ethylbenzene	27	0.8	4.7	82	50
Toluene	100	2.0	0.8	14	30
Xylenes	180	4.5	7.8	220	50
PHC F1	820	96	140	2840	1000
PHC F2	130	8.9	21	180	3000
PHC F3	<5	<5	<5	<5	5,000
PHC F4	<5	<5	<5	<5	10,000
Lead	10	8	8	16	1000***

Data exceeding the Saskatchewan guidelines are shown in **BOLD** and shaded

< Not detected at level stated

** Saskatchewan's Interim Criteria of BTEX and PHC fractions of soils for the year 2003

*** Saskatchewan's 'Risk Based Corrective Actions for petroleum contaminated sites, November 1995'

Sensitivity Analysis

There are some major differences in the formulations of the SoQI in the second and third factors and range of site ranking categories compared to the WQI. In view of these differences, the Soil Quality Guidelines Task Group of CCME initiated a study to carry out a sensitivity analysis of the proposed soil quality index. Major tasks of this study were as follows:

1. Carry out a sensitivity analysis of using 'use' vs. 'use' in calculating the factor F3.
2. Investigate the effects of other potential modifications to F1 and F2 and compare this with the results of the sensitivity analysis conducted for the Water Quality Index.
3. Evaluate the sensitivity of the SoQI to the number of contaminants used, selection of guidelines and the selection of contaminants.
4. Evaluate the proposed SoQI site ranking categories.
5. Compare the site assessment results obtained by using the SoQI versus classification scores determined using the NCSCS method.

Gartner Lee Limited carried out the study and submitted their report to the SQGTG of CCME in April 2006 (Gartner Lee Ltd., 2006). They examined over 600 contaminated sites with over 50,000 analytical measurements. Their conclusions were as follows:

- a. The SoQI is sensitive to a variety of inputs, as is required for an index to reflect changes in the characteristics of the sites it is supposed to reflect.
- b. Of the four alternative formulations of the SoQI considered, the one proposed by Jain (2007) and used here in this fact sheet appears to be the preferred formulation, based on the relatively evenly distributed influence of the three factors that comprise the index and correspondence to an independent assessment methodology already used for contaminated sites.
- c. Contaminant selection should be based on measurements of soil quality relevant to the site. There appears to be no simple "rule of thumb" for selecting an optimal set of contaminants.
- d. The SoQI is sensitive to the number of contaminants used for its calculation. In general, the SoQI value increases as the number of contaminants is decreased, and the variability of the index also increases.
- e. The SoQI responds in the expected manner to changes in guidelines, yielding higher scores (better site quality assessment) with less stringent guidelines and lower scores (poorer site quality assessment) with more stringent guidelines.
- f. In the database considered, there was a median 32 samples for 7 contaminants taken at each site. If this is representative of the typical sampling effort at a contaminated site, it appears to be adequate for assessment using the SoQI.
- g. There is an overall (inverse) correspondence between the SoQI score for a site and the NCSCS score, with a significant (p<0.05) correlation. There is also a

correspondence between the SoQI score and the overall categorical ranking of the site using NCSOS nominal classifications, but on individual sites there may be significant differences. These differences may be due to fundamental differences in the site factors considered in the two scoring systems.

- h. There is an opportunity for further investigation into the specific reasons for discrepancy between the SoQI and NCSOS evaluation systems.

Further details of the sensitivity analysis are available in the Gartner Lee Ltd. (2006) report.

Acknowledgements

This method was developed by Pritam Jain of Saskatchewan Environment (Jain 2007). It was then brought forward to the Soil Quality Guidelines Task Group of CCME for development as a national tool. Kelly Potter of Environment Canada and Pritam Jain led the projects required to finalize this method. The sensitivity analysis of the soil quality index and preparation of the spreadsheet model or calculator were done by Bernice Neary and Richard Purswell of Gartner Lee Ltd. Thanks are extended to Jean Pinesault of Fisheries and Oceans Canada for providing contaminated site data for use in the sensitivity analysis. Review comments that contributed to the development of this project were provided by: Susan Roe, Kelly Potter and Vincent Mercier of Environment Canada; members of the CCME Soil Quality Guidelines Task Group; Saskatchewan Environment; and Bernice Neary of Gartner Lee Ltd.

References

CCME. 1992. National classification system for contaminated sites. Report # CCME EPC-CS39E. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

CCME. 1993a. Guidance manual on sampling, analysis, and data management for contaminated sites. Volume 1: Main report. Report CCME EPC-NC562E. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. 79 pp.

CCME. 1993b. Guidance manual on sampling, analysis, and data management for contaminated sites. Volume 2: Analytical method summaries. Report CCME EPC-NC566E. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. 171 pp.

CCME. 1999. Canadian environmental quality guidelines (and subsequent addendums). Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

CCME. 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME Water Quality Index 1.0. Technical Report. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

CCME. 2001a. Canada-wide standard for petroleum hydrocarbons (PHC) in soil. Technical Supplement. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

CCME. 2001b. Canada-wide standard for petroleum hydrocarbons (PHC) in soil. User Guidance. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

CCME. 2003. Canada-wide standards for petroleum hydrocarbons (PHC) in soil: Spreadsheet Model. Prepared by Meridian Environmental Inc. for CCME.

Environment Canada. 2003. PCSAAP contaminated site classification guidance document. Final report version 1.5. Environment Canada, Ottawa.

Gartner Lee Ltd. 2006. A sensitivity analysis of the Soil Quality Index. Prepared for the Canadian Council of Ministers of the Environment. 23 pp.

Grzeskowiak, I., Marvin, C. H., and Painter, S. 2002. Development and evaluation of a sediment quality index for the Great Lakes and associated areas of concern. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 8: 1549-1567.

Hébert, S. 1996. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour des rivières du Québec. Report of the Ministère de l'Environnement et de la Faune.

Jain, P. 2007. A soil quality index for rating contaminated sites. Saskatchewan Environment Report. 20 pp.

Marvin, C.J., Grzeskowiak, and S. Painter. 2004. Application of a sediment quality index to the lower Laurentian Great Lakes. *Environmental Monitoring and Assessment* 91: 1-16.

Michigan Dept. Environmental Quality. 2004. Tier1 Lookup Tables for Risk Based Corrective Action. <http://www.deq.state.mi.us/documents/deq-rtd-par201-rules-Rule746Table.pdf>

Roosch, R. and L.G. Swain. 1995. The British Columbia Water Quality Index. Water Quality Branch, Environmental Protection Department, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks. B.C. 13 pp.

Wright, C.R., K.A. Saffrin, A.M. Anderson, R.D. Neilson, N.D. MacAlpine and S.E. Cooks. 1999. A water quality index for agricultural streams in Alberta: The Alberta Agricultural Water Quality Index (AAWQI). Alberta Agriculture, Food and Rural Development.