



*"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"*

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA**

(Creada por Ley N° 25265)



## **ESCUELA DE POSGRADO**

### **TESIS**

**“GEOESTADISTICA APLICADA A LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE SUELOS AFECTADOS POR ARSENICO (AS) Y MERCURIO (HG) EN EL POBLADO DE MOLLEHUACA - AREQUIPA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: GESTION DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE EN MINERÍA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. EMMANUEL HERNAN TUMY GOMEZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN:  
GESTION DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE EN  
MINERÍA**

**HUANCAVELICA - PERÚ**

**2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESGUELA DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Ante el Jurado conformado por los docentes: **Dr. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo, MSc. CANTA CARLOS Paul Percy, y Mg. SOTO CARBAJAL Demetrio**

**Asesor: Mg. MEDINA CHAMPE Dedicacion Mguel**

De conformidad al Reglamento único de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH, ratificado con resolución N° 378-2019-CU-UNH.

El Candidato al **GRADO DE MAESTRO EN GESTION DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE EN MINERIA**

Don, **Emmanuel Hernán, TUMY GOMEZ** procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado **"GEOESTADISTICA APLICADA A LOS NIVELES DE CONTAMINACION DE SUELOS AFECTADOS POR ARSÉNICO (AS) Y MERCURIO (HG) EN EL POBLADO DE MOLLEHUACA-AREQUIPA"**

Luego, de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

Aprobado

Con el calificativo:

Por: UNANIMIDAD

Desaprobado

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los treinta días del mes de diciembre del año 2019.

.....  
**Dr. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo**

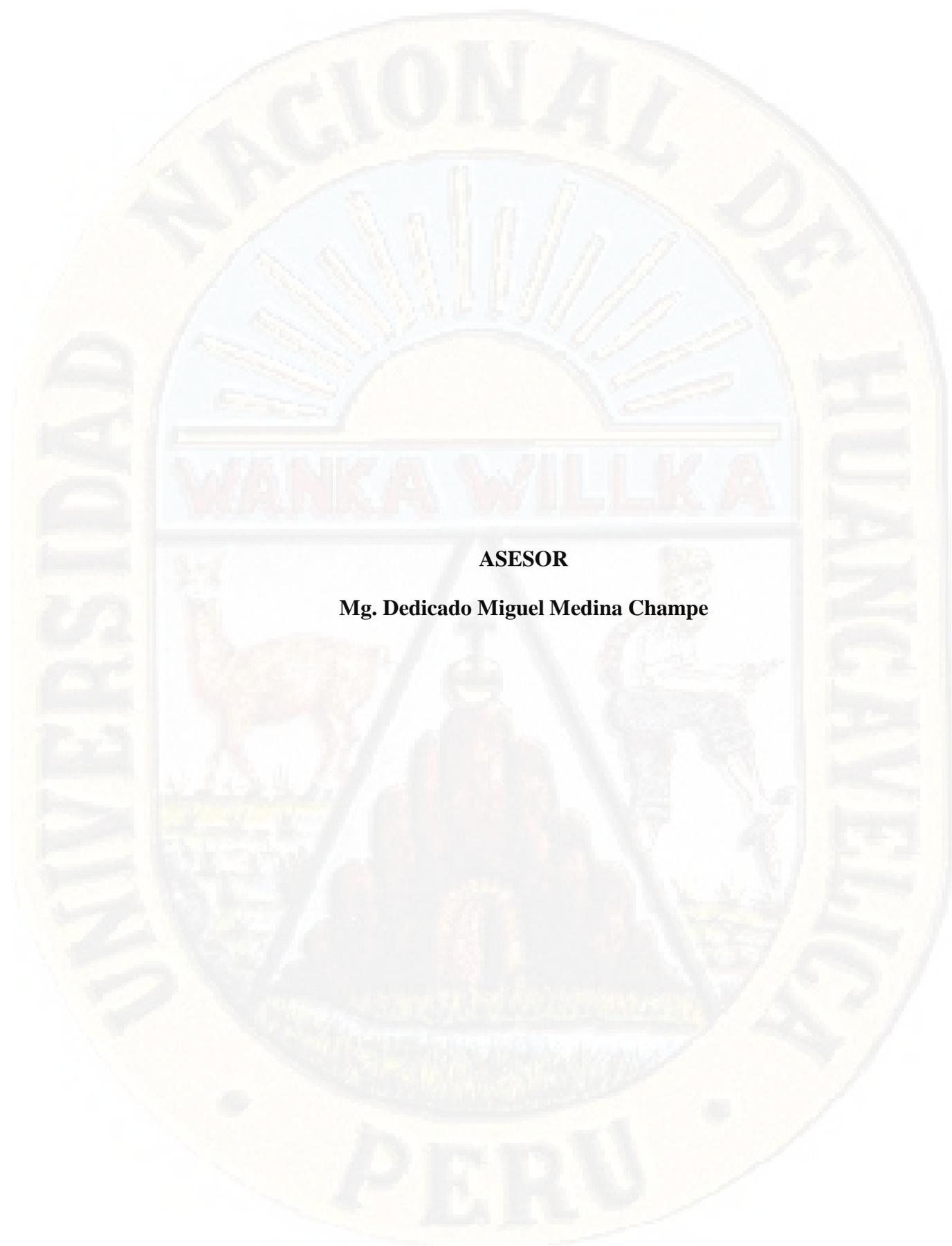
Presidente del Jurado.

.....  
**MSc. CANTA CARLOS Paul Percy**

Secretario del Jurado

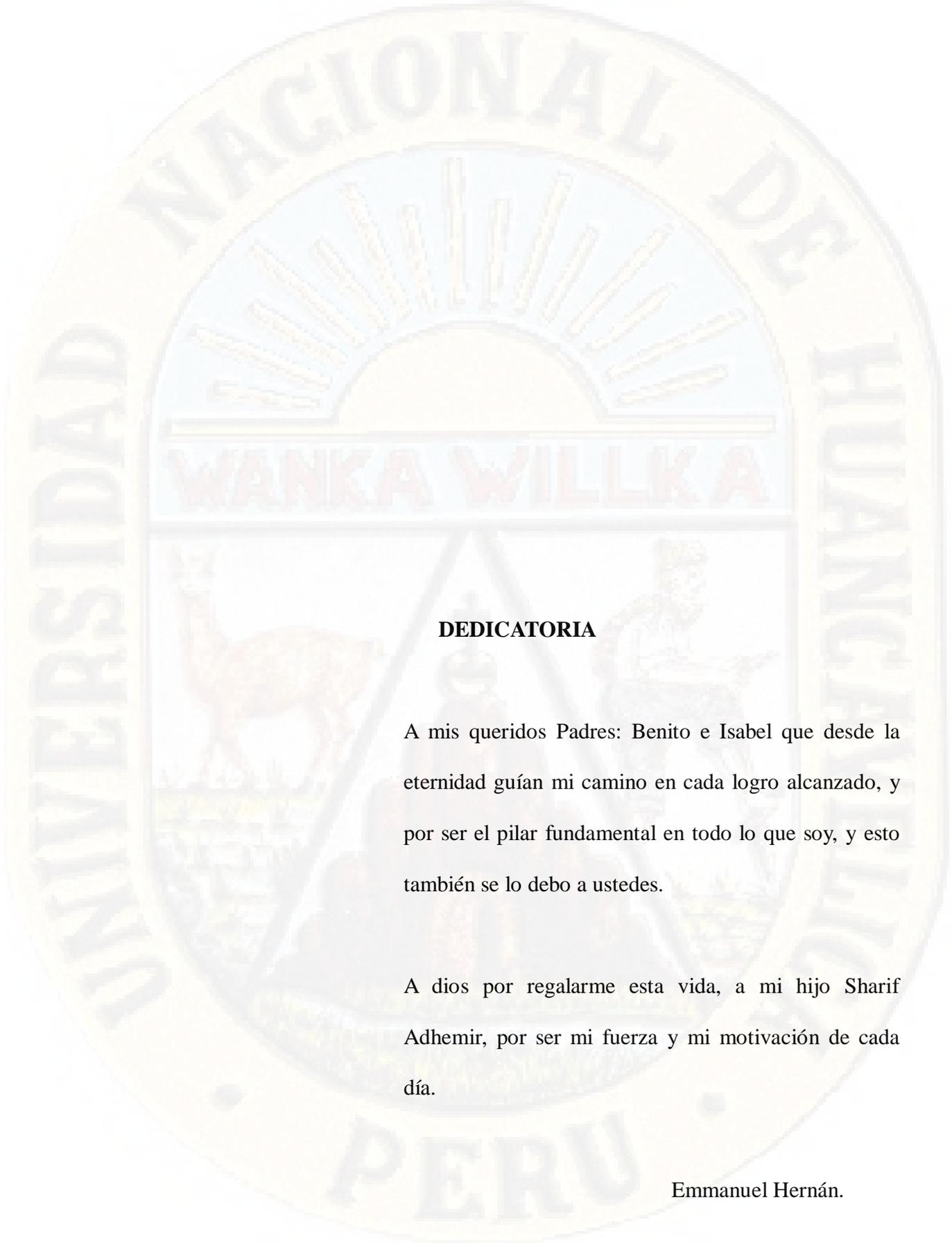
.....  
**Mg. SOTO CARBAJAL Demetrio**

Vocal del Jurado



**ASESOR**

**Mg. Dedicado Miguel Medina Champe**



## **DEDICATORIA**

A mis queridos Padres: Benito e Isabel que desde la eternidad guían mi camino en cada logro alcanzado, y por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, y esto también se lo debo a ustedes.

A dios por regalarme esta vida, a mi hijo Sharif Adhemir, por ser mi fuerza y mi motivación de cada día.

Emmanuel Hernán.

## **AGRADECIMIENTOS**

He agradecer de forma especial y leal al MSc. Américo Arizaca Avalos por su gran apoyo y cordialidad en mi labor y su lucidez para dirigir mis ideas ha sido clave, no solamente para el proceso de esta tesis, además también en mi formación como investigador.

Y a mí asesor el Mg. Dedicado Miguel Medina Champe, por su valioso aporte y contribución activa durante el desarrollo de esta tesis. Debo mencionar, además su disponibilidad y tolerancia, permitieron realizar un trabajo impecable junto. Muchas gracias estimado asesor.

## RESUMEN

El trabajo de investigación presenta la aplicación de la geoestadística como herramienta en estudios medio ambientales en espacial en los niveles de contaminación en suelos por arsénico (As) y mercurio (Hg), esta zona de estudio se caracteriza por su actividad minera a pequeña escala. Tiene como objetivo predecir el nivel de contaminación del suelo afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg) originado por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca - Arequipa con la aplicación geoestadística. Metodología para el desarrollo del estudio es Descriptivo - Predictivo, en donde se realizó el análisis exploratorio y estructural de datos, y las estimaciones mediante el krigado ordinario de dos elementos observados como trazadores de los niveles de contaminación son arsénico (As) y mercurio (Hg). Cuyos suelos Resultaron con niveles altos de concentraciones de estos elementos que se localizan en las áreas periféricas del poblado de Mollehuaca; Conclusión El Análisis de la tendencia espacial nos concedió estudiar la distribución en el espacio o en el tiempo de un conocimiento espacial puntual a continua de los sitios contaminados afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg), asimismo, los niveles contaminación de estos dos elementos superan los ECA para suelo del poblado de Mollehuaca – Arequipa. Y es un riesgo para la salud de la población.

**Palabra clave:** Arsénico, Mercurio, Geoestadística, Contaminación de suelos.

## ABSTRACT

The research paper presents the application of geostatistics as a tool in environmental studies in space in the levels of contamination in soils by arsenic (As) and mercury (Hg), this study area is characterized by its small-scale mining activity. It aims to predict the level of soil contamination affected by arsenic (As) and mercury (Hg) caused by small-scale mining activity in the town of Mollehuaca - Arequipa with the geostatistical application. Methodology for the development of the study is Descriptive - Predictive, where the exploratory and structural data analysis was performed, and the estimates by means of the ordinary monitoring of two elements observed as tracers of the contamination levels are arsenic and mercury. Whose soils were found with high levels of concentrations of these elements that are located in the peripheral areas of the town of Mollehuaca; Conclusion The analysis of the spatial tendency allowed us to study the distribution in space or time of a timely and continuous spatial knowledge of the contaminated sites affected by arsenic (As) and mercury (Hg), also, the pollution levels of these two elements exceed the ECA for soil of the town of Mollehuaca - Arequipa. And it is a risk to the health of the population.

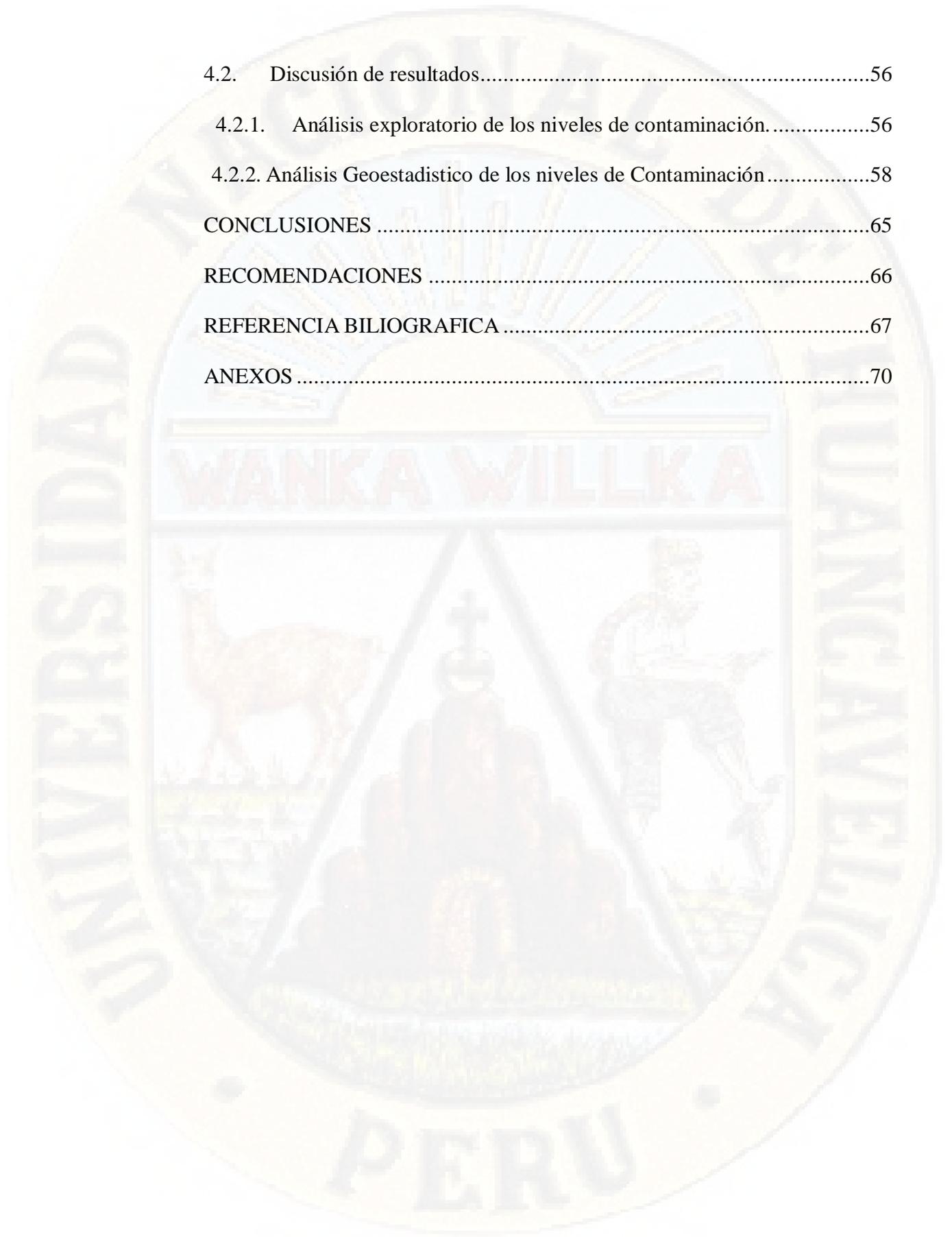
**Keyword:** Arsenic, Mercury, Geostatistics, Soil pollution

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMEINTOS.....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
INTRODUCCION .....	xiv
CAPITULO I .....	1
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION .....	1
1.1.    Planteamiento del problema .....	1
1.2.    Formulación del Problema .....	2
1.2.1.    Problema específico .....	2
1.3.    Objetivos .....	3
1.3.1.    Objetivos General .....	3
1.3.2.    Objetivos Específicos.....	3
1.4.    Justificación.....	3
CAPITULO II.....	5
MARCO TEORICO .....	5
2.1.    Antecedentes de la Investigación .....	5
2.1.1.    Reseña histórica del área de estudio.....	5
2.1.2.    Reseña histórica de la geoestadística aplicada a la contaminación de suelos. ....	6
2.2.    Bases Teóricas .....	14
2.2.1.    La geoestadística aplicada a la contaminación de suelos .....	15

2.2.2.	Estándares de Calidad Ambiental para Suelo .....	23
2.3.	Formulación de Hipótesis .....	23
2.3.1.	Hipótesis General.....	23
2.3.2.	Hipótesis Específicas.....	24
2.5.	Identificación de variables. ....	26
2.6.	Operativa de variables e indicadores. ....	27
CAPITULO III.....		28
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....		28
3.1.	Tipo de la investigación. ....	28
3.2.	Nivel de investigación.....	29
3.3.	Método de investigación. ....	29
3.4.	Diseño de investigación. ....	29
3.5.	Población y muestra.....	29
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	30
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	31
3.8.	Descripción de la prueba de hipótesis.....	32
CAPITULO IV.....		33
PRESENTACION DE RESULTADOS.....		33
4.1.	Presentación e interpretación de datos.....	33
4.1.1.	Zona de Estudio. ....	33
4.1.2.	Análisis Exploratorio de los Datos (EDA) .....	35
4.1.3.	Análisis Estructural de los Datos .....	41
4.1.4.	Técnica de Interpolación: Krigado .....	45
4.1.5.	Validación de los resultados del Krigado .....	52

4.2.	Discusión de resultados.....	56
4.2.1.	Análisis exploratorio de los niveles de contaminación.....	56
4.2.2.	Análisis Geoestadístico de los niveles de Contaminación.....	58
	CONCLUSIONES .....	65
	RECOMENDACIONES .....	66
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....	67
	ANEXOS .....	70



## INDICE DE GRAFICOS

Figura 1: Variograma experimental ajustado a un variograma teórico esférico.....	17
Figura 2: Comportamiento típico de un variograma acotado con una representación de los parámetros básicos.....	19
Figura 3: Comparación de los modelos exponencial, esférico y gaussiano.....	20
Figura 4: Esquema de localización de los sondeos.....	22
Figura 5: Mapa de ubicación de la zona de estudio y localización de los sondeos o muestras.....	34
Figura 6: Localización espacial de los sondeos o muestras.....	35
Figura 7: Histograma de los sondeos de partida del arsénico.....	36
Figura 8: Histograma de los datos de partida del mercurio.....	36
Figura 9: Histograma de los datos de arsénico con transformación logarítmica.....	37
Figura 10: Histograma de los datos de mercurio con transformación logarítmica.....	38
Figura 11: Caja y bigotes de datos de partida y con transformación logarítmica.....	38
Figura 12: Probability Plot de los datos de partida para arsénico y mercurio.....	39
Figura 13: Probability Plot de los datos transformados del arsénico y mercurio.....	39
Figura 14: Scatter-Plot de los datos de arsénico y mercurio.....	40
Figura 15: Variograma experimental para los niveles de arsénico.....	42
Figura 16: Curva teórica del modelo de variograma para los niveles de arsénico.....	43
Figura 17: Variograma experimental para los niveles de mercurio.....	44
Figura 18: Curva teórica del modelo de variograma para los niveles de mercurio.....	45
Figura 19: Creación del soporte o malla.....	47
Figura 20: Información requerida para la estimación OK.....	48

Figura 21: Cartografía de los niveles de contaminación afectados por arsénico (OK_As.mg/kg). .....	49
Figura 22: Varianza del error de la estimación (OK_As.mg/kg_Krig_Var):.....	50
Figura 23: Cartografía de los niveles de mercurio (OK_Hg.mg/kg). .....	51
Figura 24: Varianza del error de la estimación (OK_Hg.mg/kg_Krig_Var): .....	52
Figura 25: Histograma de los datos de partida para Arsénico (mg/kg):.....	53
Figura 26: Histograma de los datos estimados para Arsénico (OK_As.mg/kg):.....	54
Figura 27: Histograma de los datos de partida para mercurio (mg/kg):. ....	55
Figura 28: Histograma de los datos estimados para mercurio (OK_Hg.mg/kg). .....	56

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo .....	23
Tabla 2: Matriz de operativa de variables .....	27
Tabla 3: Resumen estadístico de los niveles de contaminación en mg/kg .....	57
Tabla 4: Ajuste de los variogramas de las variables estudiadas .....	60
Tabla 5: Área superficial con niveles de contaminación.....	63

## INTRODUCCION

Este trabajo de investigación se realizó en el Poblado de Mollehuaca cuyo capital es Tocota, se encuentra en el distrito de Huanuhuanu, provincia de Caravelí y región de Arequipa. Y pretende despertar el interés por la geoestadística en contaminación ambiental en especial niveles de contaminación en suelo, cabe señalar que la geoestadística es muy popular en el ámbito minero y resulta una gran desconocida en temas medio ambientales. Hoy en día son pocos los países que vienen implantando la geoestadística en sus manuales medioambientales como: Estados Unidos, Canadá y Bélgica que emprende y sugieren esta metodología como instrumento de apoyo a la toma de decisión en proyectos complejos.

Razón a ello, planteamos el problema de nuestro trabajo de investigación para detectar y predecir el problema de los niveles de contaminación en los suelos no muestreados, generados por la actividad minera a pequeña escala en el Poblado de Mollehuaca - Arequipa.

Dołęgowska & Michalik, (2019). El uso del modelo geoestadístico confirmó una relación directa entre el contenido de mercurio y las operaciones mineras históricas. También, apporto los autores que la evaluación de la concentración de metales en los suelos de las áreas posteriores a la minería se considera necesaria para la evaluación de los niveles de contaminación y para tomar decisiones adicionales sobre las acciones que deben tomarse.

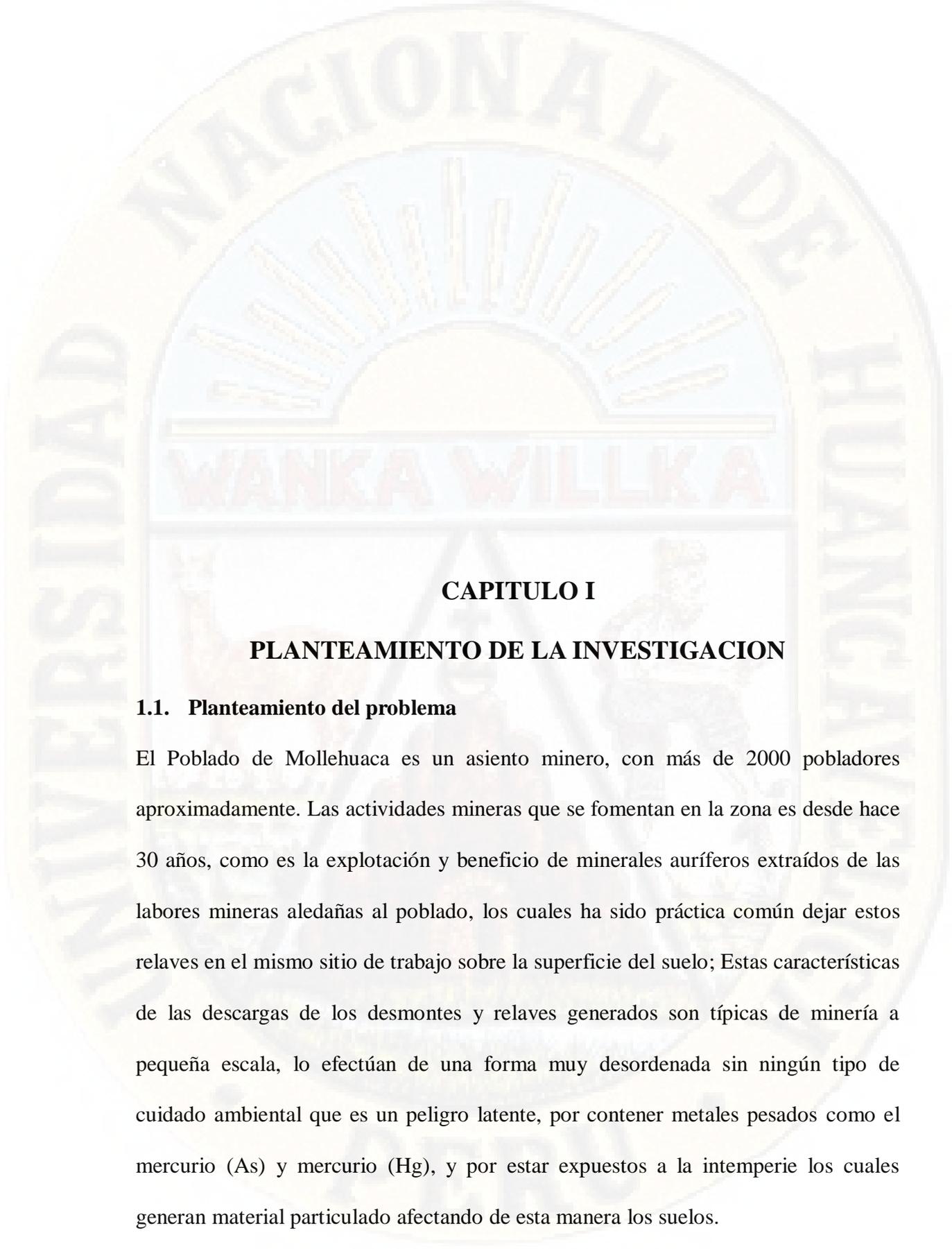
Por otro lado, Kabir, Salam, Paul, Hossain, Rahman & Latif, (2017). En sus resultados menciona que el análisis geoestadístico detallado de la distribución del arsénico ayuda a reunir más información sobre la variabilidad de las concentraciones

de arsénico en el suelo. Asimismo, Trinidad S. (2013) debido a que esta técnica de interpolación proporciona una mejor predicción de la variable de interés.

El objetivo principal para esta investigación es predecir el nivel de contaminación del suelo afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg) originado por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca - Arequipa con la aplicación geoestadística.

La hipótesis general que se planteó fue; mediante la aplicación de la geoestadística permitirá predecir los niveles de contaminación del suelo por arsénico (As) y mercurio (Hg) en sitios no muestreados en el poblado de Mollehuaca – Arequipa, y se encuentran con niveles altos de contaminación que superan los ECA para suelo.

En el presente trabajo de investigación; como método universal se utilizó el Método Científico. Y en lo específico el método para el desarrollo del estudio es Observacional – Retrospectivo – Transversal - Analítico, entre otros. De modo que, se utiliza los conocimientos de la geoestadística como una rama de la estadística aplicada que se especializa en el análisis, modelización y predicción de la variabilidad espacial de fenómenos en Ciencias de la Tierra.

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a circular emblem. It features a central sun with rays, a banner below it with the text 'WANKA WILLKA', and a figure of a person on horseback at the bottom. The words 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' are written around the perimeter of the circle.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

El Poblado de Mollehuaca es un asiento minero, con más de 2000 pobladores aproximadamente. Las actividades mineras que se fomentan en la zona es desde hace 30 años, como es la explotación y beneficio de minerales auríferos extraídos de las labores mineras aledañas al poblado, los cuales ha sido práctica común dejar estos relaves en el mismo sitio de trabajo sobre la superficie del suelo; Estas características de las descargas de los desmontes y relaves generados son típicas de minería a pequeña escala, lo efectúan de una forma muy desordenada sin ningún tipo de cuidado ambiental que es un peligro latente, por contener metales pesados como el mercurio (As) y mercurio (Hg), y por estar expuestos a la intemperie los cuales generan material particulado afectando de esta manera los suelos.

Razón por la cual, hace posible un estudio que permita determinar espacialmente los sitios contaminados afectados por Arsénico (As) y mercurio (Hg), así detectar el problema de los niveles de contaminación en los suelos generados por la actividad minera a pequeña escala en el Poblado de Mollehuaca; de tal manera que los altos niveles de contaminación de estos sitios contaminados que superan los ECA para suelo puedan representar un riesgo al ambiente por estos Elementos Potencialmente Tóxicos para la salud en el poblado de Mollehuaca.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Cuál será el nivel de contaminación del suelo afectado por arsénico (As) y mercurio (Hg) originado por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca – Arequipa, con la aplicación geoestadística?

### **1.2.1. Problema específico**

- ¿Cuál será la tendencia espacial de los sitios contaminados afectados por arsénico y mercurio, generados por la actividad minera a pequeña escala en el poblado Mollehuaca – Arequipa?
- ¿Cuál será la Construcción del variograma experimental y la curva teórica para los suelos afectados por arsénico y mercurio?
- ¿Cuál será los niveles de contaminación afectados por arsénico y mercurio en los suelos mediante la técnica del Krigeado Ordinario?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivos General**

Predecir el nivel de contaminación del suelo afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg) originado por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca - Arequipa con la aplicación geoestadística.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la tendencia espacial de los sitios contaminados afectados por arsénico y mercurio, generados por la actividad minera a pequeña escala en el poblado Mollehuaca – Arequipa.
- Realizar la Construcción del variograma experimental y curva teórico para los suelos contaminados afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg).
- Estimar los niveles de contaminación afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg) en los suelos mediante la técnica del Krigado Ordinario.

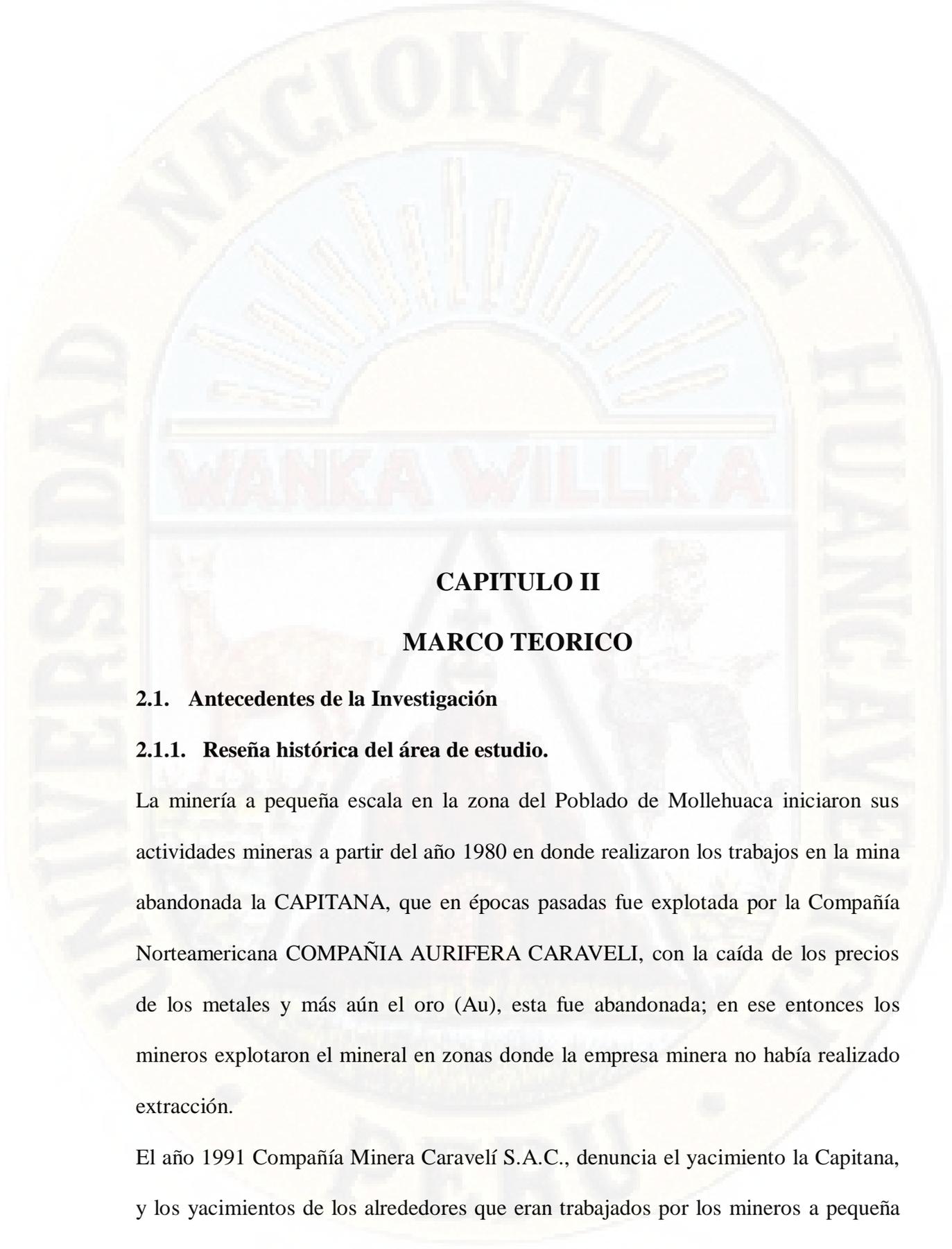
### **1.4. Justificación**

La evolución del precio de los metales en el mercado internacional ha hecho que la minería a pequeña escala crezca desordenadamente sin ningún cuidado al medio ambiente. Los procesos de explotación y beneficio de minerales han generado durante 30 años de actividad minera, gran cuantía de residuos que se encuentran asentados en las periferias del Centro Poblado de Mollehuaca, a su vez, estos sitios de acumulación se encuentran comprometidos a los factores climatológicos (lluvias, vientos o derrames). ¿Por qué?; la calidad del suelo puede ser afectado por compuestos potencialmente tóxicos.

La importancia a esta problemática que afecta de manera directa a la población y trabajadores, por contacto con el agua, suelos afectados por agentes tóxicos o por partículas en el aire.

Es preciso adoptar ¿Para qué? una estimación de los niveles de suelos contaminados cuyos trazadores para nuestro estudio son el arsénico (As) y mercurio (Hg) en el poblado de Mollehuaca - Arequipa. Investigaciones han mostrado que las actividades humanas alteran o aumentan la concentración natural de metales en el suelo. En nuestro caso la actividad minera protagoniza el origen de los metales pesados al medio ambiente.

Razón por la cual, se ha plasmado las interrogantes: ¿Cómo predecir el nivel de contaminación de los suelos afectados por esta actividad humana mediante la aplicación de la geoestadística?, ¿De qué manera identificar la tendencia espacialmente de los sitios contaminados y los niveles de contaminación afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg), que puedan afectar a la población de Mollehuaca – Arequipa?

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a circular emblem. It features a sun with rays rising over a horizon line. Below the sun, the words "WANKA WILLKA" are written in a stylized font. The entire emblem is surrounded by the text "UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO" in a circular arrangement.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

##### **2.1.1. Reseña histórica del área de estudio.**

La minería a pequeña escala en la zona del Poblado de Mollehuaca iniciaron sus actividades mineras a partir del año 1980 en donde realizaron los trabajos en la mina abandonada la CAPITANA, que en épocas pasadas fue explotada por la Compañía Norteamericana COMPAÑIA AURIFERA CARAVELI, con la caída de los precios de los metales y más aún el oro (Au), esta fue abandonada; en ese entonces los mineros explotaron el mineral en zonas donde la empresa minera no había realizado extracción.

El año 1991 Compañía Minera Caravelí S.A.C., denuncia el yacimiento la Capitana, y los yacimientos de los alrededores que eran trabajados por los mineros a pequeña

escala, y estos mineros forman una empresa minera, con el nombre de COMUNIDAD MINERA DE MOLLEHUACA, instalan una planta de beneficio de minerales, a su vez, ellos realizan los denuncios mineros para la explotación de minerales, y abastecer la planta de beneficio. Lastimosamente, por la baja de precios de los minerales la planta de beneficio queda paralizada, los mineros a pequeña escala siguieron trabajando nuevas zonas, esto ha llevado que los mineros procesen su propio mineral en los molinos y quimbaletes y los relaves son tratados en pozas de cianuración. (Artesanal, n.d.). Asimismo, la minería a pequeña escala tiene especial responsabilidad en relación a los problemas generados por la disposición de relaves.(B, José Miguel Sánchez C, 1996). Los sustratos superficiales de origen antropogénico, como los relaves y minerales colocados al aire libre. Por otro lado, se revelaron contaminantes por encima de los ECA para suelo, y por ende, se precisa un riesgo potencial para los trabajadores y la población por un trato directo con estos materiales.(Ambiente, 2015).

### **2.1.2. Reseña histórica de la geoestadística aplicada a la contaminación de suelos.**

En los años 60, Matheron formalizo el término de Geoestadística. Además reconocido como el padre de esta disciplina, Matheron formalizó y generalizó matemáticamente un conjunto de técnicas desarrolladas por D. G. Krige (1941) que explotaban la correlación espacial para hacer predicciones en las estimaciones de reservas de las minas de oro en Sudáfrica. Y definió a la Geoestadística como "la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales" (Matheron, 1962).

La geoestadística es una familia de la estadística aplicada que se caracteriza en la observación y la modelación de la variabilidad espacial en ciencias de la tierra. Cuyo fin de estudio es el análisis y la predicción de rarezas en el espacio y/o tiempo, tales como: ley de metales, porosidades, concentraciones de un contaminante, etc. (Díaz Viera, 2002). A su vez, es un grupo de técnicas estadísticas utilizadas en el análisis de datos georreferenciados que se pueden aplicar a la contaminación ambiental y estudios de remediación (Henshaw et al., 2004). Y viene a ser el estudio de la correlación de un fenómeno en el espacio, apareció a partir de los años cincuenta en el entorno minero con la finalidad de pronosticar estimaciones de las variables en sitios no muestreados, y particularmente, como método para pronosticar las reservas de oro en las minas Sudafricanas. Asimismo, es uno de los métodos de interpolación geoestadísticas más habitual, el kriging o krigeado, se debe su nombre al geólogo sudafricano D.G. Krige (1941), por ser el pionero en realizar una primera estimación de las reservas de oro utilizando los métodos geoestadísticos iniciales que se extendieron en aquellos años. Y unos años más tarde, y gracias a los trabajos realizados por Matheron en la Escuela de Minas de París, este método se fue depurando y ampliando, tanto en sus herramientas como en sus campos de aplicación. Tales como en la industria petrolera, hidrogeología, ecología y medio ambiente (Cartografías geoquímicas, Estudios de Impacto Ambiental y en estimación de suelos contaminados).(Ingeoexpert/CRS, 2016a).

En el campo medioambiental, la geoestadística se ha avanzado de modo tardío a diferencia de otros campos de aplicación, en función de las nuevas exigencias medioambientales reglamentadas por las legislaciones de cada país.

Cabe decir que la geoestadística, incluso muy conocida en el sector de la minería y el petróleo, resulta muy desconocida en temas medioambientales, exclusivamente en el uso de suelos contaminados. Actualmente son pocos los países que incorporan la geoestadística en sus manuales medioambientales, aunque algunos países como: Estados Unidos o Canadá comienzan a preocuparse y sugieren esta metodología como herramienta de ayuda en las tomas de decisiones en proyectos complejos, entretanto en Bélgica la jefatura medioambiental la recomienda en proyectos vinculados con la radio contaminación.

#### **A Nivel Internacional:**

**1. Título:** The use of a geostatistical model supported by multivariate analysis to assess the spatial distribution of mercury in soils from historical mining areas: Karczówka Mt., Miedzianka Mt., and Rudki (south-central Poland)

**Autor:** Dołęgowska & Michalik, 2019

**Objetivos:** Visualizar y caracterizar la distribución espacial de Hg en muestras de suelo recolectadas en tres áreas posteriores a la minería e identificar y discutir diferentes fuentes de contaminación por mercurio utilizando una combinación de factores geoquímicos seleccionados y análisis estadísticos con un modelo de análisis espacial.

#### **Resultados y Conclusiones:**

La evaluación de la concentración de metales en los suelos de las áreas posteriores a la minería se considera necesaria para la evaluación de los niveles de contaminación y para tomar decisiones adicionales sobre las acciones que deben

tomarse. Los caracteres heterogéneos y particulares de estas áreas hacen que esta evaluación sea mucho más problemática.

Fuentes antropogénicas y geogénicas de mercurio se han identificado en suelos afectados por minas de tres áreas posteriores a la minería utilizando el mapa integrado de distribución espacial de mercurio

El uso del modelo geoestadístico combinado confirmó una relación directa entre el contenido de mercurio y las operaciones mineras históricas.

**2. Título:** Geo-statistical models for determinining spatial variation and spatial dependency of soil arsenic in Bangladesh.

**Autor:** Kabir, Salam, Paul, Hossain, Rahman & Latif, 2017.

**Objetivos:** Describir la variación espacial del arsénico en el suelo de Bangladesh y también identificar la dependencia espacial del suelo arsénico.

**Resultados y Conclusiones:**

El análisis geoestadístico detallado de la distribución del arsénico ayuda a reunir más información sobre la variabilidad de las concentraciones de arsénico en el suelo.

El modelo esférico, en general, se adapta bien a casi todos los casos en las áreas de comando. basado en los resultados, el método geoestadístico (kriging) fue relativamente más preciso que el método IDW para estudios a nivel micro.

**3. Título:** Predicted Mercury Soil Concentrations from a Kriging Approach for Improved Human Health Risk Assessment.

**Autor:** Imo, David Dressel, Holger Byber, Katarzyna Hitzke, Christine Bopp, Matthias Maggi, Marion Bose-O'Reilly, Stephan Held, Leonhard Muff, Stefanie., 2018

**Objetivos:** Investigar posibles asociaciones de suelo de mercurio y valores de HBM volviendo a analizar los datos descritos, utilizando predicciones de las concentraciones de Hg con un enfoque de kriging.

Comprender si es beneficioso realizar más análisis geoestadísticos en el contexto de este estudio de salud ambiental.

**Resultados y Conclusiones:** Las concentraciones de suelo predichas utilizando un enfoque de kriging, por otro lado. Este enfoque geoestadístico que utiliza las concentraciones pronosticadas del suelo puede aplicarse en futuras evaluaciones de riesgos cuando el número de mediciones es limitado. Los métodos pueden refinarse aún más, por ejemplo, mediante el uso de indicadores kriging, o teniendo en cuenta las dependencias espaciales del error de medición de Berkson inducido por kriging. En nuestro entorno de estudio real, usando las concentraciones pronosticadas de mercurio en el suelo y el biomonitorio humano, no encontramos asociación entre los valores de mercurio en el suelo y los biomonitorización humana.

**4. Título:** Aplicación de técnicas de análisis geoespacial para el estudio de suelos contaminados.

**Autor:** Antonio Hernandez Camara, 2015.

**Objetivos:** Analizar y representar espacialmente la concentración de metales pesados en el suelo para dar conocimiento de la distribución que estos presentan en el área de estudio. A través del análisis geoestadístico se pretende dar respuesta a cómo los distintos elementos químicos están distribuidos a lo largo de la malla de puntos de la que partimos.

**Resultados y Conclusiones:** En el Krigeado realizado para el Zinc y la Plata, se aprecia una distribución con tres zonas de concentración de metales, rompiendo un poco el patrón que siguen los otros elementos.

Por el contrario, el Arsénico muestra un krigeado mucho más suave, ya que posee una zona de concentración de metales, y a medida que nos alejamos de este foco la concentración va disminuyendo considerablemente. Lo mismo ocurre con el antimonio, ya que su krigeado está básicamente representado por dos rangos de concentración. El Cadmio por último encuentra una única zona de fuerte concentración, a partir de este punto los valores descienden bruscamente. Se puede decir que la presencia de unos determinados metales en la malla de puntos de la que se ha partido, tiene mucha relación con la actividad humana que se ha ido desarrollando a lo largo de la historia. De este modo, se puede señalar, que la explotación de minas dedicadas al Plomo, ha hecho que este elemento esté significativamente presente en el suelo. Además, las estrechas relaciones entre los diferentes metales, hace que estos últimos también adquieran importancia en el estudio.

**5. Título:** Spatial Distribution of Heavy Metals and the Environmental Quality of Soil in the Northern Plateau of Spain by Geostatistical Methods.

**Autor:** Santos-Francés, Martínez-Graña, Zarza, Sánchez, & Rojo, 2017.

**Objetivos:** Cuantificar la calidad ambiental del suelo del norte Meseta de España mediante el análisis de sus contenidos de metales pesados; evaluar el riesgo ambiental de metales pesados calculando varios índices de contaminación y analizando su distribución espacial y vertical.

**Resultados y Conclusiones:** Teniendo en cuenta los valores obtenidos de metales pesados, análisis de componentes principales y por su distribución espacial, se puede concluir que un determinante de las concentraciones de la mayoría de los metales en el suelo de la meseta norte de España es la naturaleza de la roca madre. Algunos metales, como Cu, Zn y As, también han aumentado su contenido en el suelo debido a ciertas actividades humanas (agrícolas). El Hg está relacionado con el suelo que se ha desarrollado en depósitos aluviales y en el suelo regado.

**6. Título:** Análisis Geoestadístico de los niveles geogénicos de metales pesados en suelos de Asturias.

**Autor:** Álvaro Domínguez López, 2015

**Objetivo:** Realizar un análisis geoestadístico de la contaminación de suelos por metales pesados en el Principado de Asturias mediante el empleo del GIS. Comprobar la efectividad de la normativa vigente (BOPA NÚM. 91 21-VI-2014). Y Conocer el origen de las anomalías geoquímicas encontradas.

**Resultados y Conclusiones:**

**Arsénico:** Se observaron un total de cuatro zonas con elevadas concentraciones de arsénico todas ellas con origen geogénico: Zona de Picos de Europa asociados a yacimientos de mercurio-arsénico, Zona de Mieres asociados a yacimientos de mercurio-arsénico, Zona de Tineo asociados skarns de cobre-oro-arsénico destacando el skarn de Carlés. Y la Zona de Boal asociado a intrusiones graníticas y yacimientos meso-epitermales de oro-arsénico-antimonio asociados, siendo un claro ejemplo de este tipo de yacimientos el de Salave.

**Mercurio:** Se pueden ver dos zonas de concentraciones muy elevadas resultando especialmente una de ellas situada en el entorno de Mieres y debidos a

yacimientos de mercurio - arsénico destacando en cuanto a volumen de la mineralización los de Terronal y la Peña en Mieres y los de Soterraña y Muñón Cimero en Pola de Lena. Por otro lado en la zona de Picos de Europa las concentraciones deben guardar relación también con la presencia de otros yacimientos de este tipo pero de menor importancia. En ambos casos los niveles genéricos de referencia establecidos son superados.

Los niveles genéricos de referencia en el principado de Asturias utilizan como factor principal a la hora de realizar la clasificación los usos del suelo con matices geológicos en algunas ocasiones. Aun así los resultados muestran que en algunos casos estos NGR son superados sin estar relacionadas las concentraciones con actividad antrópica siendo el caso del zinc, el plomo, el arsénico y el mercurio.

**7. Título:** Comportamiento del Mercurio total en los sistemas terrestres del distrito minero de San Joaquín, Querétaro. Aplicación de Modelos Geoestadísticos y de Regresión con árboles de decisión.

**Autor:** Sergio Martinez Trinidad, 2013

**Objetivos:** Evaluar el contenido de mercurio total en los cuatro sistemas terrestres (aire-suelo- agua-planta) para conocer su comportamiento en el medio ambiente del distrito minero de San Joaquín, Querétaro, México.

Aplicar modelos geoestadísticos para mapear la distribución de las propiedades de los materiales estudiados en la superficie terrestre.

**Resultados y Conclusiones:**

Los contenidos de mercurio total en la región minera de San Joaquín, Qro., México, Las concentraciones de mercurio en cada componente cambian sustancialmente; puede observarse que la mayor fuente de contaminación del

mercurio se encuentra en los terreros de mina, relacionados con el procesamiento deficiente del cinabrio. Estos terreros están expuestos a las condiciones climáticas y a la erosión eólica e hídrica, transportando sus partículas tanto a la atmósfera como a los sistemas terrestres. Esto repercute en el nivel de las concentraciones de mercurio que se presenta tanto en el agua de lluvia como en los suelos forestales, agrícolas y sedimentos.

En el ámbito de los Sistemas Terrestres se observó la presencia de tres áreas que agrupan terreros con las mayores concentraciones de mercurio y que contribuyen a la dispersión del contaminante en suelos y sedimentos aledaños.

## **2.2. Bases Teóricas**

Actualmente, uno de los principales impactos negativos de la minería a pequeña escala es sobre el medio ambiente. Actividad minera que causa la extracción de los recursos mineros, los cuales modifican la topología de la zona en donde se realiza la explotación. Asimismo, los procesos de beneficio de los minerales nos dejan residuos altamente tóxicos, tanto por los insumos empleados o por la evacuación de estas sustancias químicas como resultado del mismo proceso. La concentración de estos residuos y sustancias actúa negativamente en el medio ambiente, y terminan por tener consecuencias graves en los ecosistemas y, eventualmente, en la salud humana.

En el Poblado de Mollehuaca, la contaminación localizada en el área histórico es una amenaza potencialmente tóxica para la salud de la población y como para el medio ambiente en general. Además, existen suelos afectados con altas concentraciones de metales pesados como el arsénico (As) y mercurio (Hg), los cuales están expuestas al riesgo de la salud de la población (Eppers, 2014).

### **2.2.1. La geoestadística aplicada a la contaminación de suelos**

Comprender la geoestadística divulgando el método y sus aplicaciones es una tarea primordial, esta herramienta pueda ir integrándose en los estudios al resultar una herramienta de elevado valor agregado en los ya complejos estudios de caracterización de suelos contaminados.(Ingeoexpert/CRS, 2016a). La geoestadística se muestra como una tecnología capaz de localizar fuentes de contaminación y proporcionar el alcance de los focos puntuales de contaminación.(Rodríguez, Jose, Carbonel Martin, & Manuel., 2010). La posibilidad de que las concentraciones de sustancias tóxicas en el suelo u otro medio excedan los máximos permisibles en cualquier lugar no muestreado se puede evaluar mediante la geoestadística del indicador.(Goovaerts, Webster, & Dubois, 1997). Mediante técnicas geoestadísticas se construyeron mapas cartográficos, a su vez, verificar las causas de origen y fijar la magnitud de las áreas que están afectadas acorde a los límites preestablecidos.(C., L., S., & R., 2000).

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua. Todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en tres etapas:

- 1. Análisis exploratorio de los datos.** Se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. El EDA, corresponde a un análisis de datos utilizando herramientas estadísticas, que permitirán:
  - Realizar estadísticas descriptivas (media, varianza, desviación típica...).
  - Analizar en detalle la distribución de la variable estudiada (realización de histogramas, mapas de los puntos de muestreo).

- Verificar la presencia de valores anómalos (realización de diagramas de cajas y bigotes).
- Verificar la normalidad de los datos obtenidos (ya que ciertos métodos estadísticos necesitan este tipo de distribución).
- Comprobar si existen correlaciones entre la(s) variable(s) principal(es) y otras variables de interés como la geología, la topografía (ACP, diagramas de correlación).

**2. Análisis estructural de los datos.** Estudio de la continuidad espacial de la variable. La construcción del variograma experimental se realiza a partir de muestras puntuales en puntos conocidos. El interés de la geoestadística, consiste en estimar de forma continua, en cualquier punto del espacio, el comportamiento espacial de la variable. El paso de un conocimiento espacial puntual a continuo, se realiza gracias a la modelización del variograma experimental, ajustando una curva teórica a la primera curva experimental, la cual será utilizada en los distintos métodos de interpolación.

### **Variograma**

Díaz Viera,(2002) define el semivariograma, conocido también como variograma, es la herramienta central de la geoestadística. Dada una variable regionalizada  $Z(x)$  que cumpla la Hipótesis Intrínseca entonces existe la función semivarianza y se define como sigue:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i \in h} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

El variograma es una función que relaciona la semivarianza con el vector  $h$  conocido con “lag”, el cual denota la separación en distancias y dirección de cualquier par de valores  $Z(x)$  y  $Z(x+h)$ .

Para un estudio de estimación, el variograma experimental no se puede hacer uso directamente. Es decir, solo está determinado para ciertas distancias y direcciones, por lo que es insuficiente. Por otro lado, está sujeto a ciertas proximidades, debido al número reducido de datos y los parámetros de tolerancia empleado en el cálculo. Para corregir esta situación, se debe ajustar un modelo teórico de variograma en torno al variograma experimental. Esta etapa es la fase esencial de todo estudio geoestadístico.

Distinguiremos entonces dos variogramas.

1. Variograma experimental; calculado a partir de los datos de campo.
2. Variograma teórico; que corresponde a una ecuación que se ajusta al variograma experimental.

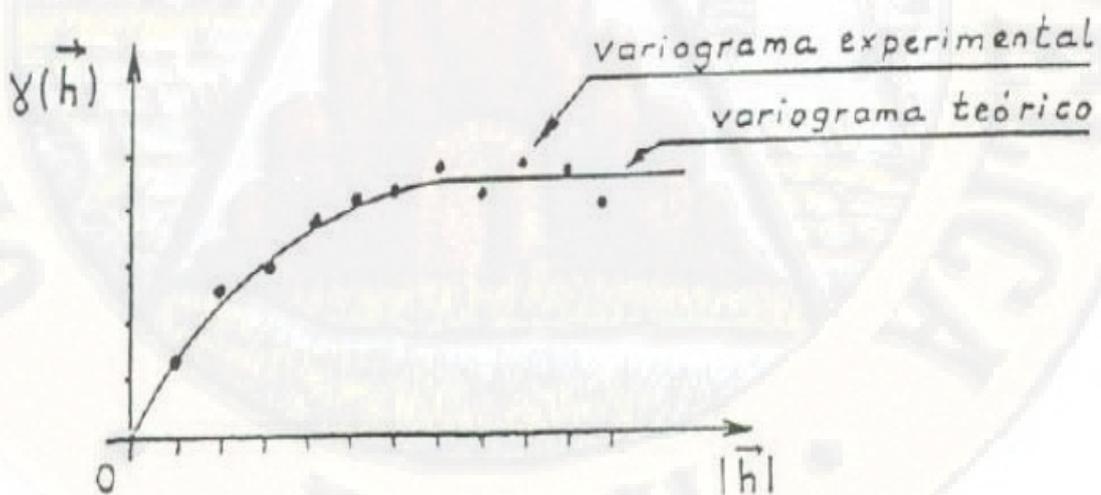


Figura 1: Variograma experimental ajustado a un variograma teórico esférico.

Fuente: Nube Minera & H. Guerra.

Para ello, se requieren las siguientes definiciones:

- a) **Efecto pepita.-** Se expresa por  $C_0$  y constituye una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen. Puede ser debido a aberraciones de medición en la variable o a la escala de la misma. En ciertos casos puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se agrupa a distancias menores a las observadas.
- b) **Meseta o Sill (C).-** Es la acotación superior del semivariograma. También puede precisarse como la frontera del semivariograma cuando la distancia  $h$  tiende a infinito. Es decir, es el valor de la varianza para el cual con el aumento de  $h$ , su valor permanece constante. Representa la varianza total del fenómeno y por tanto se calcula como  $C_0+C$ .
- c) **Rango o Alcance (a).-** En términos prácticos corresponde a la distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes. En otras palabras, el rango corresponde a la distancia a partir de la cual se considera que dos puntos comparados dejan de tener correlación espacial entre ellos. El variograma se consolida y alcanza su valor máximo de varianza, la cual se mantiene constante para cualquier valor de  $h$ . hay que mencionar, además que el valor del alcance no supere  $2/3$  del tamaño total de la zona estudiada.

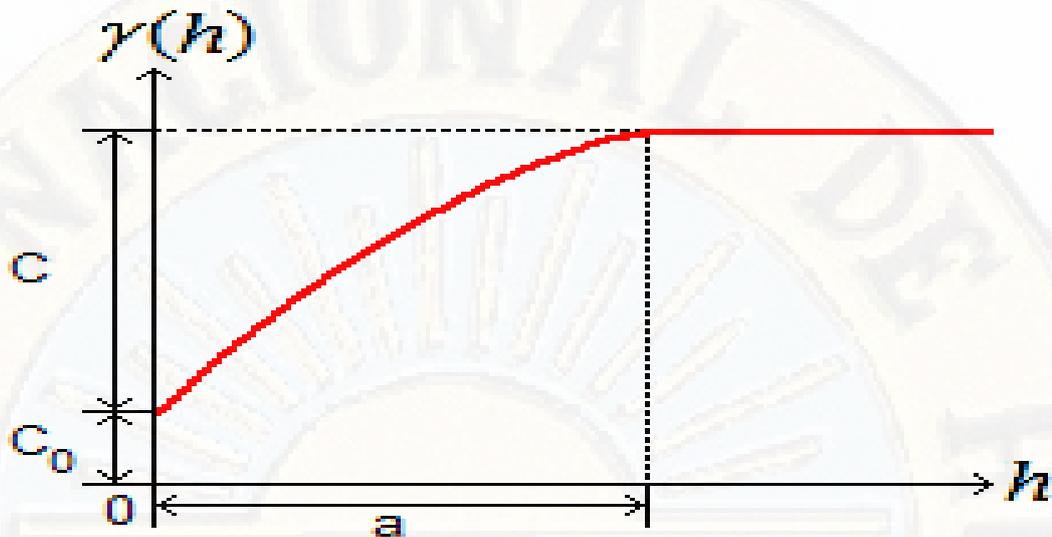


Figura 2: Comportamiento típico de un variograma acotado con una representación de los parámetros básicos. Fuente: G. Matheron.

### Tipos de Modelos Teóricos de Variograma

Existen varias curvas para ejecutar la modelización del variograma experimental y para cada una de ellas es preciso especificar cada una de estas curvas que tiene propiedades y expresiones matemáticas conocidas.

En el caso de, modelar variogramas direccionales, será esencial ajustar una curva para cada ruta fijada en el variograma experimental. Ahora veamos, las curvas más empleadas para la modelización de variogramas experimentales.

- i. **Modelo Esférico:** Este método es el más utilizado, tiene un incremento veloz cerca al origen (Fig. 3), pero los crecimientos marginales van bajando para distancias grandes, hasta que para distancias superiores al rango los crecimientos son nulos. Su fórmula que lo define se presenta a continuación

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left( \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases}$$

En donde  $C_1$  representa la meseta,  $a$  el rango y  $h$  la distancia.

- ii. **Modelo Exponencial:** Este modelo se aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial respecto a la distancia entre las observaciones. El valor del rango es igual a la distancia para la cual el variograma toma un valor igual al 95% de la meseta (Fig. 3). Este modelo es similar al esférico. Su fórmula matemática es la siguiente:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left( 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right)$$

- iii. **Modelo Gaussiano:** Al igual que en el modelo exponencial, la dependencia espacial se deshace solo en una distancia que tiende a infinito. la primordial característica de este modelo es su estilo parabólico cerca al origen (Fig.3).

Su fórmula matemática es:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left( 1 - \exp\left(\frac{-h^2}{a^2}\right) \right)$$

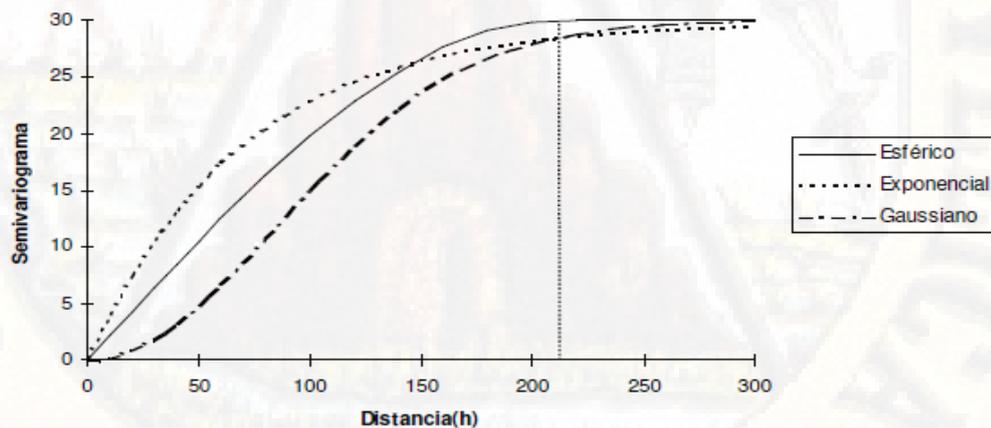


Figura 3: Comparación de los modelos exponencial, esférico y gaussiano.

Fuente: R. Henao.

3. **Predicciones.** Estimación mediante la realización de una interpolación permite cartografiar el fenómeno de contaminación permitiendo visualizar de forma precisa la distribución del contaminante. El método de interpolación más

conocido es el kriging y más en particular el kriging ordinario. Este método permite realizar cartografías de error, en función del variograma realizado y de la posición de los puntos de muestreo.

**El kriging o Kriging:** Este nombre apareció alrededor de 1960 para nombrar una técnica creada en Francia por Matheron a partir de los trabajos de D. G. Krige quién fue probablemente el primero que hizo uso de la correlación espacial y del mejor estimador lineal insesgado en el campo de la evaluación de yacimientos minerales.

Por definición, el kriging es una técnica de estimación lineal, no sesgada, que minimiza la varianza de la estimación. Cuyo propósito del kriging radica en estimar los valores de la variable analizada en los puntos donde no se dispone de datos, a partir del conocimiento de los valores en puntos próximos.

### **Tipos de Kriging**

En el marco estacionario consta de dos formas típicas de kriging: el kriging simple y el kriging ordinario. Las ecuaciones matemáticas para cada uno de ellos se reflejan a continuación.

$$Z_v^* = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z_i - m) \quad (1) \text{ Expresión matemática del kriging simple}$$

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (2) \text{ Expresión matemática del kriging ordinario}$$

$Z^*$  = valores estimados

$\lambda$  = pesos del kriging que se establecen a los valores cercanos durante el proceso de interpolación

$m$  = media

$Z$  = valores de partida

La diferencia entre el uno y otro tipo de krigado es que el simple supone que la media de la variable regionalizada es, al mismo tiempo de constante, conocida. En la mayoría de los hechos, esto es metódicamente imposible, por lo que de modo habitual, se aplica el krigado ordinario como técnica de estimación más común. En lo que sigue, nos concentraremos principalmente en este tipo de interpolación.

**krigado ordinario:** Como se afirmó arriba, el krigado ordinario asume que la media de la variable regionalizada es desconocida. En cuanto a, su ecuación matemática es la siguiente:

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (1) \text{ Expresión matemática del krigado ordinario}$$

De acuerdo con, la definición el krigado es una ponderación lineal a la que se le impone como condición que la suma de los pesos relativos sea igual a la unidad (condición de estimador sin sesgo) por esto, es necesario añadir la siguiente ecuación matemática:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2) \text{ Condición de insesgo}$$

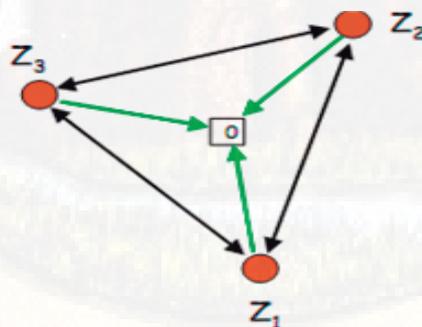


Figura 4: Esquema de localización de los sondeos.

## 2.2.2. Estándares de Calidad Ambiental para Suelo

Tabla 1: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Parámetros en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del Suelo <sup>(1)</sup>			Método de Ensayo <sup>(7)</sup> y <sup>(8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(3)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)/ Industrial/ Extractivo<sup>(6)</sup></sup>	
As	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Hg	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 o 200.8

Fuente: Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM

(1) Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) PS: Peso seco.

(3) Suelo agrícola: Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) Suelo residencial/parques: Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) Suelo comercial: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) Suelo industrial/extractivo: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA correspondiente al parámetro bajo análisis.

(8) Para aquellos parámetros respecto de los cuales no se especifican los métodos de ensayo empleados para la determinación de las muestras, se deben utilizar métodos que cumplan con las condiciones señaladas en la nota (7).

## 2.3. Formulación de Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis General

Mediante la aplicación de la geoestadística permitirá predecir los niveles de contaminación del suelo por arsénico (As) y mercurio (Hg) en sitios no muestreados en el poblado de Mollehuaca – Arequipa, y se encuentran con niveles altos de contaminación que superan los ECA para suelo.

### 2.3.2. Hipótesis Específicas.

- La tendencia especial de los sitios contaminados por arsénico (As) y mercurio (Hg) permitirá representar mediante cartografías la distribución de los niveles de contaminación del Poblado de Mollehuaca.
- El variograma experimental, permitirá ajustar una curva teórica que reproducirá la variabilidad espacial del nivel de contaminación en todo punto del espacio por arsénico (As) y mercurio (Hg) en los suelos del Poblado de Mollehuaca.
- La técnica del Krigado Ordinario permitirá estimar los niveles de arsénico (As) y mercurio (Hg) en los suelos del Poblado de Mollehuaca.

### 2.4. Definición de términos

- **Afectado:** Persona, animal, territorio o infraestructura que sufre perturbación en su ambiente por efectos de un fenómeno, puede requerir de apoyo inmediato para eliminar o reducir las causas de la perturbación para la continuación de la actividad normal.
- **Arsénico (As):** El arsénico presenta algunas propiedades similares a las del fósforo y forma enlaces covalentes con el carbono, hidrógeno y oxígeno. Forma compuestos trivalentes inorgánicos (trióxido arsenioso, arsenito de sodio) y orgánicos (arsfenamina) y pentavalentes inorgánicos (pentaóxido de arsénico, arseniato de plomo, ácido arsénico). (Juarez, Y, & Martinez, 2008)
- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Es 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.

Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

- **Efecto pepita o Nugget Effect (N):** Es el valor en que el modelo del semivariograma intercepta al eje coordenado “y”, es decir al eje de la semivarianza. Este valor puede ser atribuido a errores de medida o fuentes especiales de variación en la distancia de las muestras.
- **Geoestadística:** Una rama de la estadística aplicada que se especializa en el análisis, modelización y predicción de la variabilidad espacial de fenómenos en Ciencias de la Tierra.
- **Krigeado:** El método de interpolación más conocido es el krigado y más en particular el krigado ordinario. Este método permite realizar cartografías de error, en función del variograma realizado y de la posición de los puntos de muestreo.
- **Mercurio (Hg):** Es el único elemento metálico que es líquido y volátil a temperatura ambiente. Su forma más frecuente en la naturaleza es como cinabrio, mineral compuesto de sulfuro de mercurio (HgS). (Juarez et al., 2008)
- **Meseta o Sill (s):** Es la cima superior de cualquier modelo de semivariograma. También se determina como el límite del semivariograma cuando la distancia  $h$  tiende a infinito. La meseta puede ser o no finita.
- **Rango o Alcance:** En lo práctico corresponde a la distancia a partir del cual dos observaciones son independientes. El rango se interpreta como la zona de influencia.

- **Software:** El programa informático utilizado para el presente trabajo de investigación corresponde a S-GemS, desarrollado por la universidad de Standford y dispone de varias versiones gratuitas (Software libre).
- **Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.
- **Suelo contaminado:** Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana.
- **Variograma** experimental: se realiza a partir de muestras puntuales en puntos conocidos. El interés de la geoestadística, consiste en estimar de forma continua, en cualquier punto del espacio, el comportamiento espacial de la variable.

## 2.5. Identificación de variables.

Las variables identificadas en el presente proyecto de investigación son:

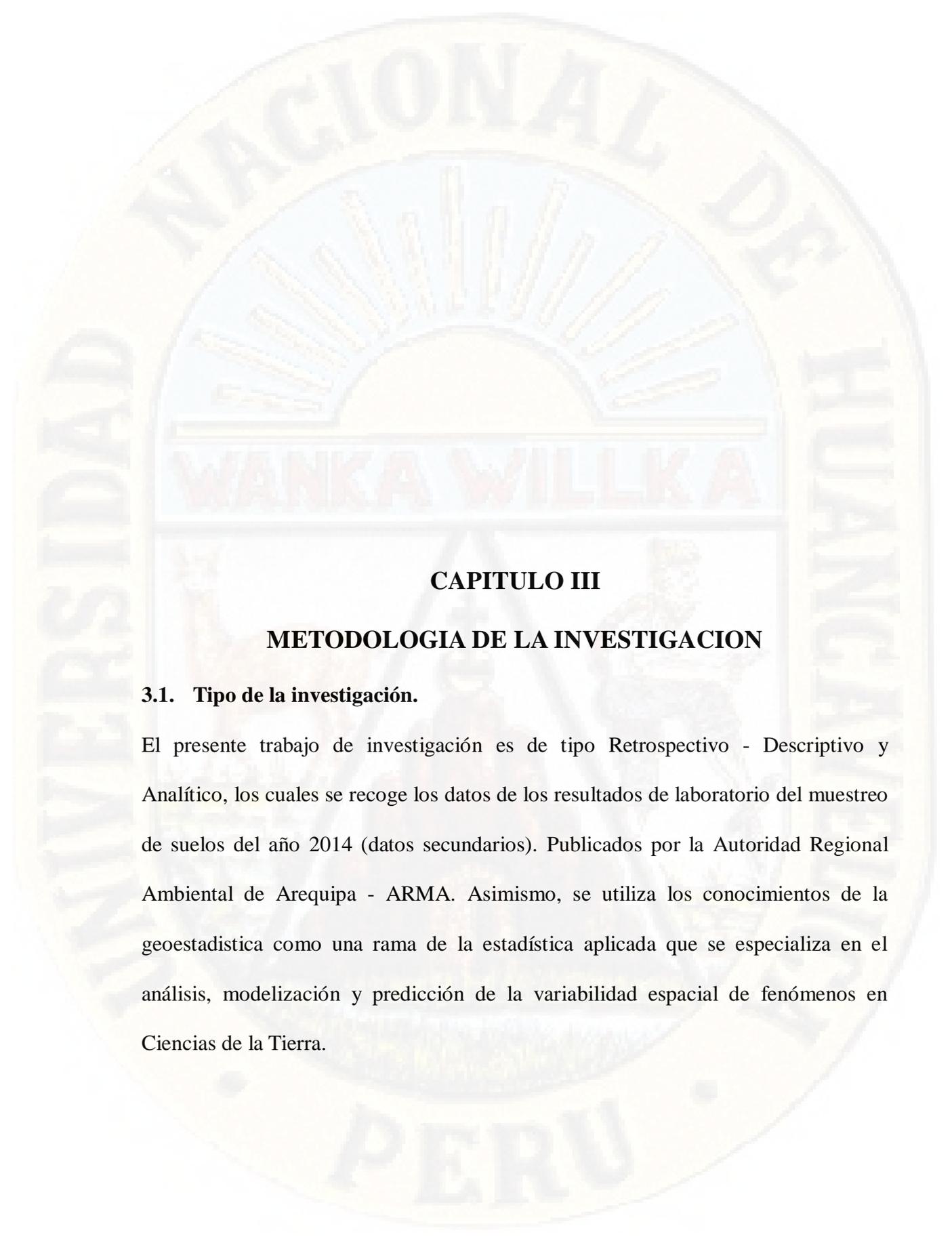
- V.I. Contaminación de suelos por arsénico y mercurio.
- V.D. Aplicación geoestadística

## 2.6. Operativa de variables e indicadores.

Tabla 2: Matriz de operativa de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
V.I. Contaminación de suelos por arsénico y mercurio.	Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana.	Análisis exploratorio y estructural de la contaminación de suelo por arsénico y mercurio.	Niveles por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo. Niveles por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo. Análisis de la tendencia espacial de los sitios contaminados afectados por arsénico y mercurio.	mg/kg de contaminantes por arsénico y mercurio en suelos superficiales a 0.20 m.
V.D. Aplicación geoesatdistica	Aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de los suelos contaminados.	Predicciones de los niveles de contaminación de suelo en sitios no muestreados..	Construcción del variograma experimental y teórico para los suelos afectados por arsénico y mercurio Estimar niveles de contaminación de suelo afectados por arsénico y mercurio	Cartografiar el fenómeno de contaminación permitiendo visualizar de forma precisa la distribución del contaminante.

Fuente: Elaboración Propia



### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

##### **3.1. Tipo de la investigación.**

El presente trabajo de investigación es de tipo Retrospectivo - Descriptivo y Analítico, los cuales se recoge los datos de los resultados de laboratorio del muestreo de suelos del año 2014 (datos secundarios). Publicados por la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa - ARMA. Asimismo, se utiliza los conocimientos de la geoestadística como una rama de la estadística aplicada que se especializa en el análisis, modelización y predicción de la variabilidad espacial de fenómenos en Ciencias de la Tierra.

### **3.2. Nivel de investigación.**

En cuanto a su finalidad el Nivel de Investigación es Descriptivo - Predictivo; en donde se estimara la calidad ambiental del Poblado de Mollehuaca con el fin de determinar y predecir los niveles de contaminación en suelos afectados por arsénico y mercurio en zonas no muestreadas.

### **3.3. Método de investigación.**

En el presente trabajo de investigación; como método universal se utilizara el Método Científico. Y en lo específico el método para el desarrollo del estudio es Observacional – Retrospectivo – Transversal - Analítico, entre otros.

### **3.4. Diseño de investigación.**

En el presente estudio desarrollado se basara en el Observacional – Retrospectivo - Transversal y Analítico; permitirá la aplicación de la geoestadística; esta herramienta permite modelar esta estructura de dependencia espacial, mediante la utilización de Variogramas, con el fin de estimar a través, del Kriging Ordinario, por ende, evaluar la distribución de un área donde los niveles de contaminación de suelos afectados por Arsénico y Mercurio del poblado de Mollehuaca – Arequipa.

### **3.5. Población y muestra.**

Supo, Jose (2017) expresa: “Una población de estudio es un conjunto de unidades de estudio, generalmente sujetos u objetos; pero puede ser cualquier cosa susceptible de estudiar”.

En el presente trabajo de investigación; la población de estudio representa el poblado de Mollehuaca, donde se ha estudiado los resultados de laboratorio del muestreo de suelos del año 2014; Publicados por la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa – ARMA, que se encuentra ubicado en el distrito de Huanuhuanu, provincia de Caravelí y región de Arequipa. Es aquí donde se ha estimado los niveles de contaminación en suelos afectados por arsénico y mercurio, y que están ubicadas en la periferia del poblado de Mollehuaca que simboliza el 100% de la población.

La muestra es el total de los sondeos analizados para suelo por laboratorio del año 2014, las cuales son 58 sondeos de suelos superficiales.

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

El presente trabajo de investigación se trata de un estudio Retrospectivo, porque se trabajara con datos secundarios, dado que no se realizara mediciones, no se necesita de ningún instrumento de medición y la recolección de datos consiste solamente en trasladar los datos de su fuente original hacia los propios registros (Supo, 2015), y a esta técnica se le conoce como Documentación. Asimismo, en estudios retrospectivos no se pueden detallar los procedimientos de la medición, por cuando los datos utilizados provienen de mediciones donde el investigador no tuvo participación; Por lo que, nos limitaremos a redactar la forma en que se accedió a los documentos que contiene los datos.(Supo, 2017).

Para nuestro trabajo de investigación se recoge los datos de los resultados de laboratorio del muestreo de suelos del año 2014. Publicados por la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa - ARMA. Por ende, esto es un estudio basado en la documentación.

Supo, José (2015) "La documentación. Consiste en copiar los datos a partir de los documentos donde se encuentran almacenados, por ejemplo: informes de laboratorio, registros sanitarios, consolidados de notas, libros de reclamaciones, buzón de sugerencias, etc.; son datos recolectados con fines ajenos a tu investigación".

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

En el presente trabajo de investigación se hará uso de diferentes programas o software especializados para el análisis y modelamiento, en donde se caracterizara mediante cartografías los niveles de contaminación de suelos afectados por arsénico y mercurio del poblado de Mollehuaca - Arequipa.

Para la aplicación de la geoestadística implica la utilización de programas informáticos apropiados. Existen numerosos programas informáticos tanto de pagados como gratuitos que forman los instrumentos imprescindibles para la ejecución de un estudio geoestadístico. Por lo tanto, el software a utilizar serán: el S-GemS, Paleontological Statistics, Minitab, procesadores de texto y la hoja de cálculo EXCEL.

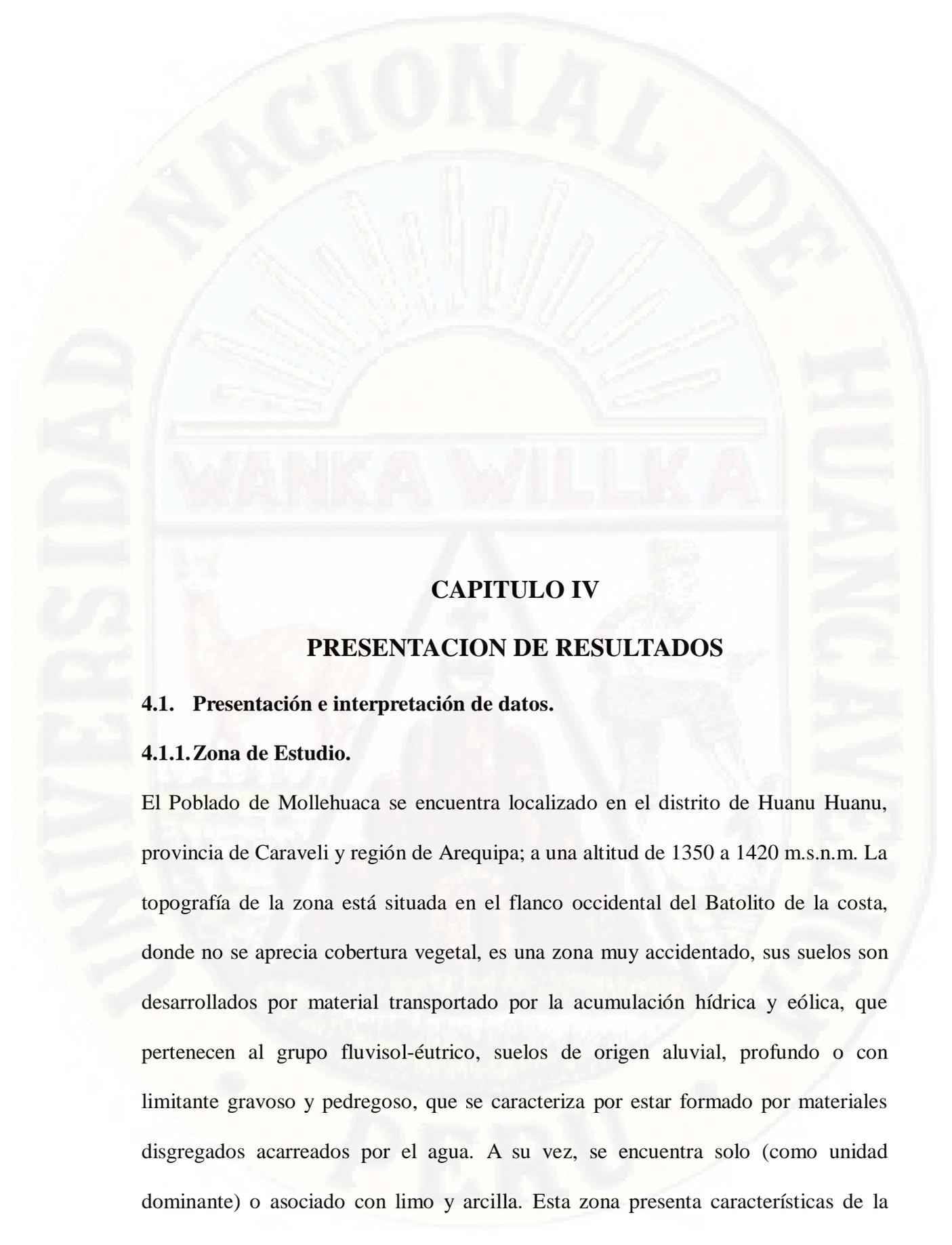
Para ello, la creación de una base de datos completa y ordenada es una etapa imprescindible previa a la aplicación de la geoestadística; posterior a ello corresponde a un análisis exploratorio de los datos utilizando herramientas estadísticas que nos permitirán: Realizar estadísticas descriptivas (media, varianza, desviación típica...). Analizar en detalle la distribución de la variable estudiada (realización de histogramas, mapas de los puntos de muestreo). Identificar presencia de valores anómalos (realización de diagramas de cajas y bigotes).

Comprobar la normalidad de los datos obtenidos (ya que ciertos métodos estadísticos necesitan este tipo de distribución).

Comprobar si existen correlaciones entre la(s) variable(s) principal. Luego a ello, se ha realizado la construcción y modelización del variograma experimental y finalmente el método de interpolación más conocido, el krigado y más en especial el krigado ordinario. Este método admite realizar cartografías de error, en función del variograma elaborado y de la posición de los puntos de muestreo.

### **3.8. Descripción de la prueba de hipótesis.**

Los niveles de contaminación del suelo afectados por de arsénico (As) y mercurio (Hg), originadas por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca – Arequipa, con la aplicación de la geoestadística superan los estándares de calidad ambiental y es un riesgo potencial para la población.

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a large, semi-circular emblem. It features a central sun with rays, a banner with the text 'WANKA WILLKA', and a shield below containing a llama and a human figure. The words 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' are written around the perimeter of the emblem.

## **CAPITULO IV**

### **PRESENTACION DE RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación e interpretación de datos.**

##### **4.1.1. Zona de Estudio.**

El Poblado de Mollehuaca se encuentra localizado en el distrito de Huanu Huanu, provincia de Caraveli y región de Arequipa; a una altitud de 1350 a 1420 m.s.n.m. La topografía de la zona está situada en el flanco occidental del Batolito de la costa, donde no se aprecia cobertura vegetal, es una zona muy accidentado, sus suelos son desarrollados por material transportado por la acumulación hídrica y eólica, que pertenecen al grupo fluvisol-éutrico, suelos de origen aluvial, profundo o con limitante gravoso y pedregoso, que se caracteriza por estar formado por materiales disgregados acarreados por el agua. A su vez, se encuentra solo (como unidad dominante) o asociado con limo y arcilla. Esta zona presenta características de la

región Yunga en el flanco occidental del Batolito de la costa, con temperaturas moderadas, bastante regulares y estables y se caracterizan como semi-cálidas. La actividad económica más importante es la extracción y procesamiento de minerales que se desarrollan en la zona hace 30 años. Se presenta en la figura 5: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

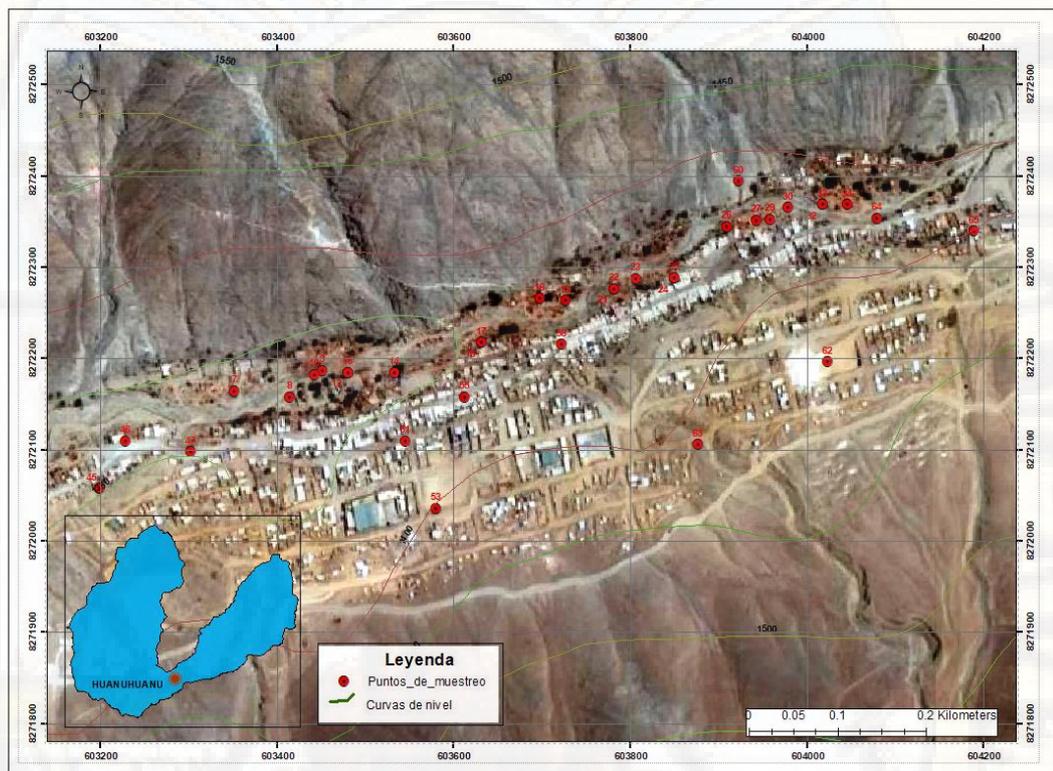


Figura 5: Mapa de ubicación de la zona de estudio y localización de los sondeos o muestras. Fuente: Elaboración propia

Podemos observar la localización de los sondeos en nuestro sistema de referencia de coordenadas UTM, Datum, WGS-84, Zona 18. Del total de la información recogida se ha creado un nuevo archivo de Excel (Niveles de Contaminación Mollehuaca.xls) donde contiene la siguiente información:

- ✓ N° de sondeos o muestras
- ✓ Coordenadas Este y Norte de cada una de los sondeos.

- ✓ Concentraciones de arsénico y mercurio (mg/kg)

Quedando así, un total de 35 sondeos o muestras con un mallado irregular tal como se observa en la figura 6, los contaminantes afectados por arsénico y mercurio se encuentran en suelos limos arenosos de espesores variables.

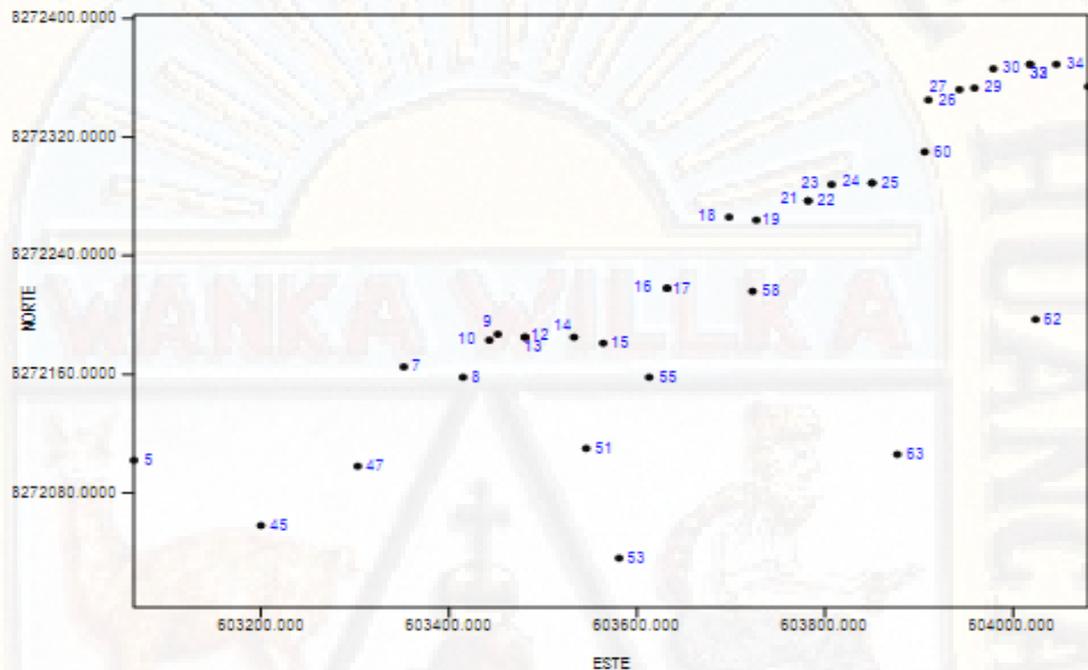


Figura 6: Localización espacial de los sondeos o muestras.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Análisis Exploratorio de los Datos (EDA)

Teniendo nuestra base de datos de los contaminantes afectados por arsénico y mercurio procederemos a realizar el análisis exploratorio, para ello utilizaremos los Software Excel 2013, PAST y Minitab (versión prueba). Que nos permitirá:

- ✓ Analizar en detalle la distribución de la variable estudiada en nuestro caso contaminante afectados por arsénico y mercurio.
- ✓ Verificar la presencia de valores anómalos y posterior eliminación
- ✓ Normalidad de los datos obtenidos
- ✓ Realizar estadísticas descriptivas

✓ Comprobar si existen correlaciones entre las variables.

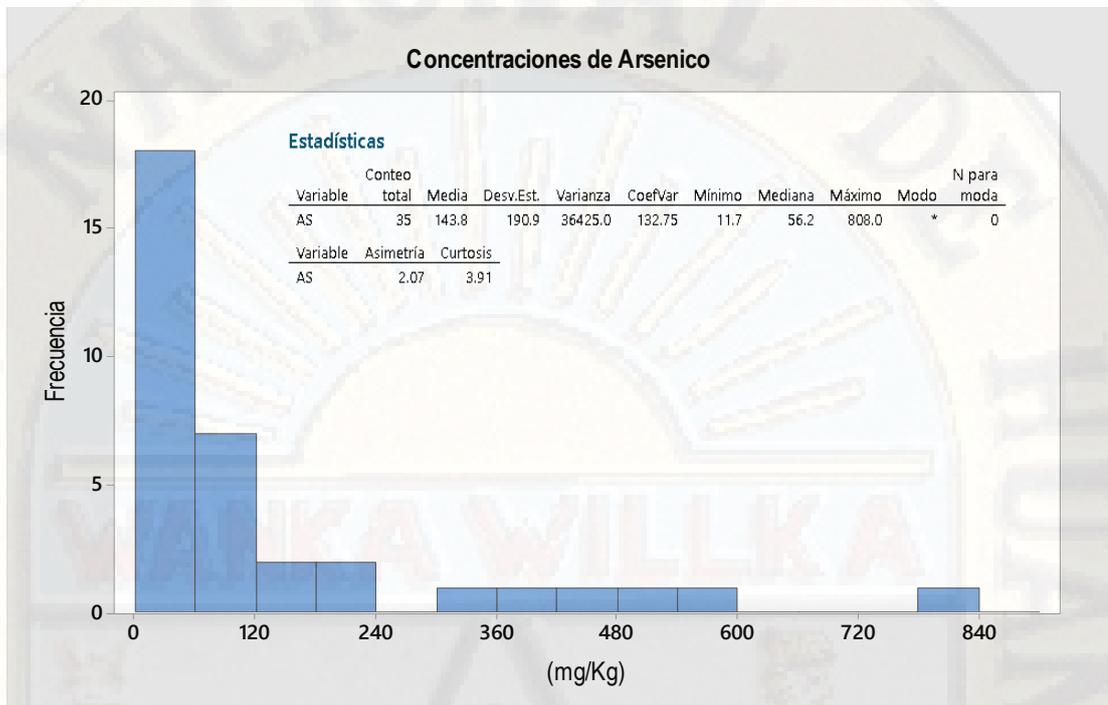


Figura 7: Histograma de los sondeos de partida del arsénico.  
Fuente: Elaboración propia

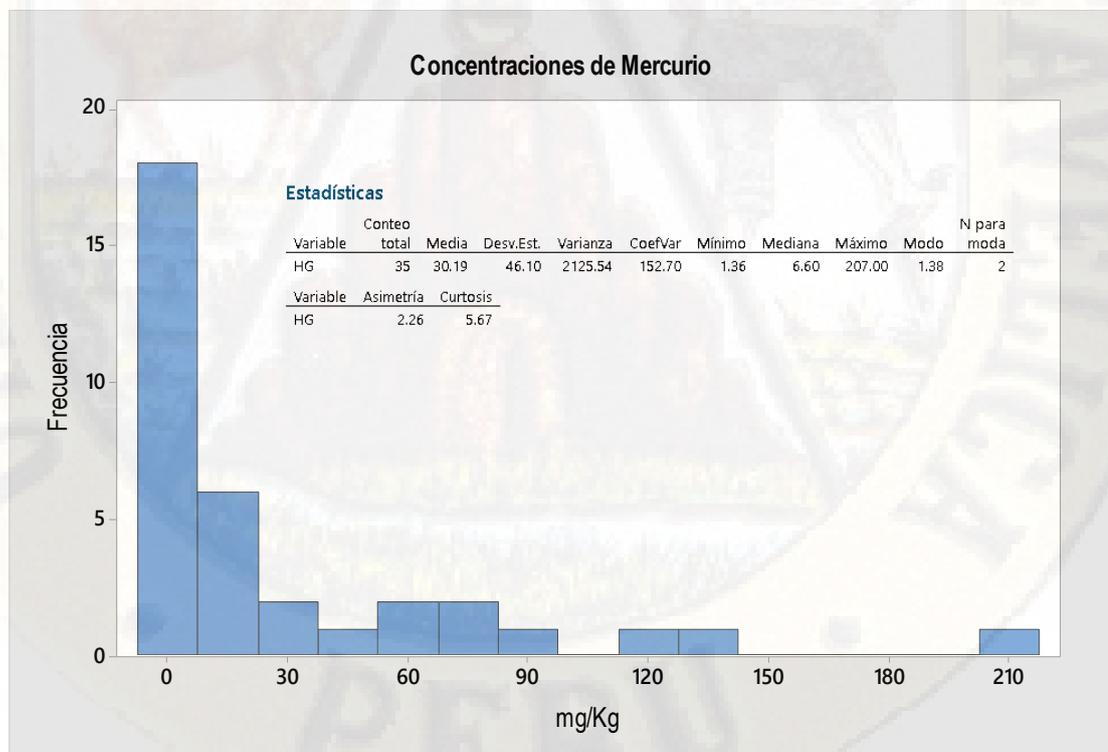


Figura 8: Histograma de los datos de partida del mercurio.  
Fuente: Elaboración propia

Los histogramas que se muestran (Fig. 7 y Fig. 8); para los datos de partida del arsénico como para los datos del mercurio nos muestran una forma lognormal positiva que las mayores frecuencias relativas más significativa corresponden a valores de concentraciones bajas, cercanas al valor de detección a los Estándares de Calidad Ambiental para suelo, mientras tanto, para los valores máximos, se muestran niveles de contaminación significativa para ambos casos.

En general, se observa que las distribuciones están alejadas de la normalidad; por lo que se realizó la verificación de los valores anómalos y eliminarlos, así como también se ha realizado una transformación logarítmica. De esta forma se obtiene los siguientes resultados:

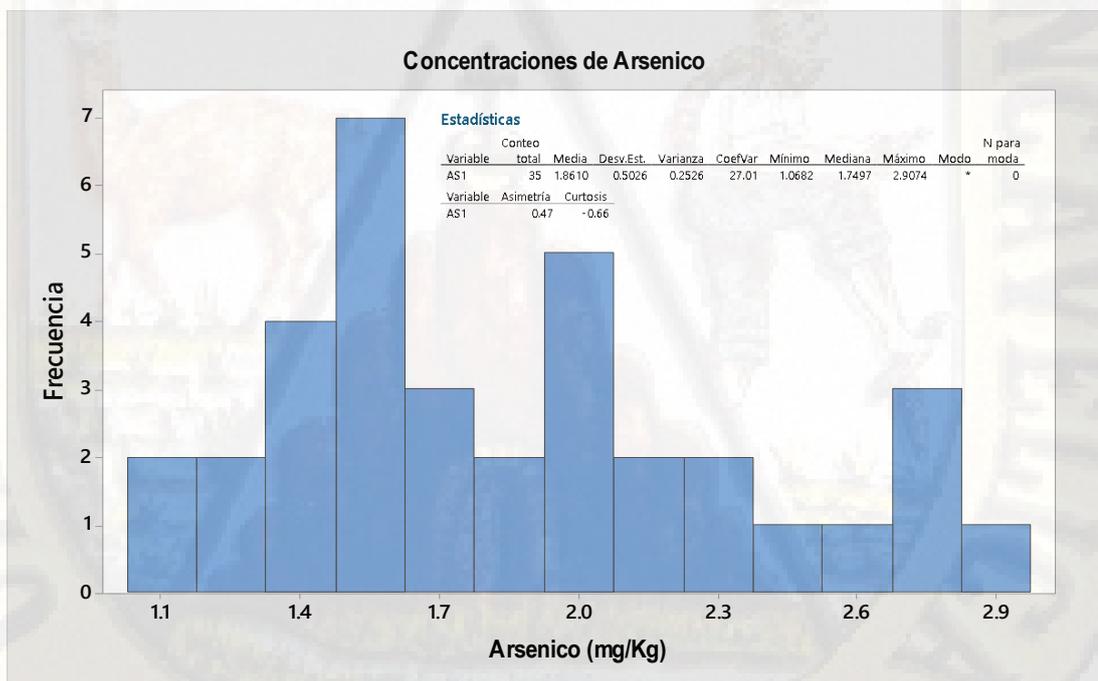


Figura 9: Histograma de los datos de arsénico con transformación logarítmica.  
Fuente: Elaboración propia

Si observamos (Fig. 9 y Fig. 10); los parámetros de validación de normalidad en los datos de los elementos del arsénico y mercurio, se acepta la función de probabilidad como normal dada que la asimetría se encuentra en los parámetros de  $0 < |CS| < 0.5$ . Y

el coeficiente de exceso toma valores cercano a cero, asimismo la media y la mediana se encuentran próximos entre sí.

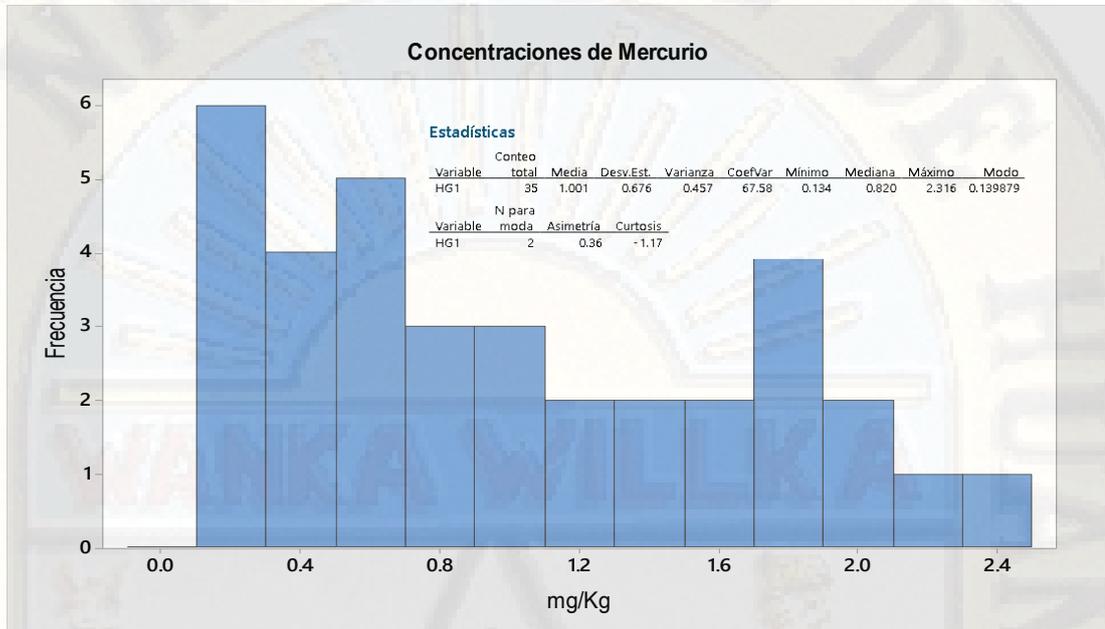
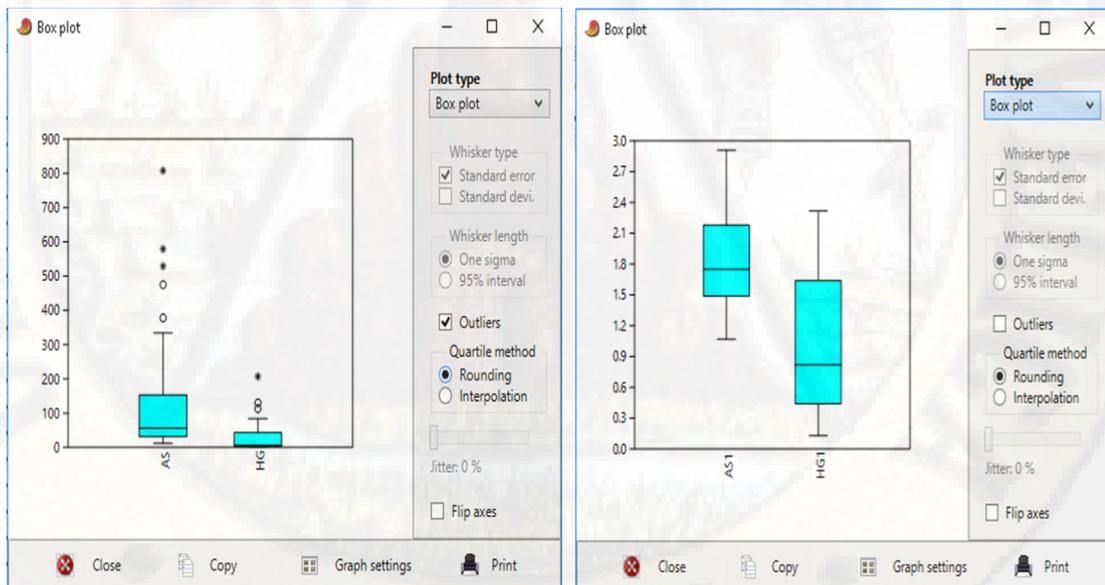


Figura 10: Histograma de los datos de mercurio con transformación logarítmica.  
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se procede aplicar el método geoestadístico a los datos.

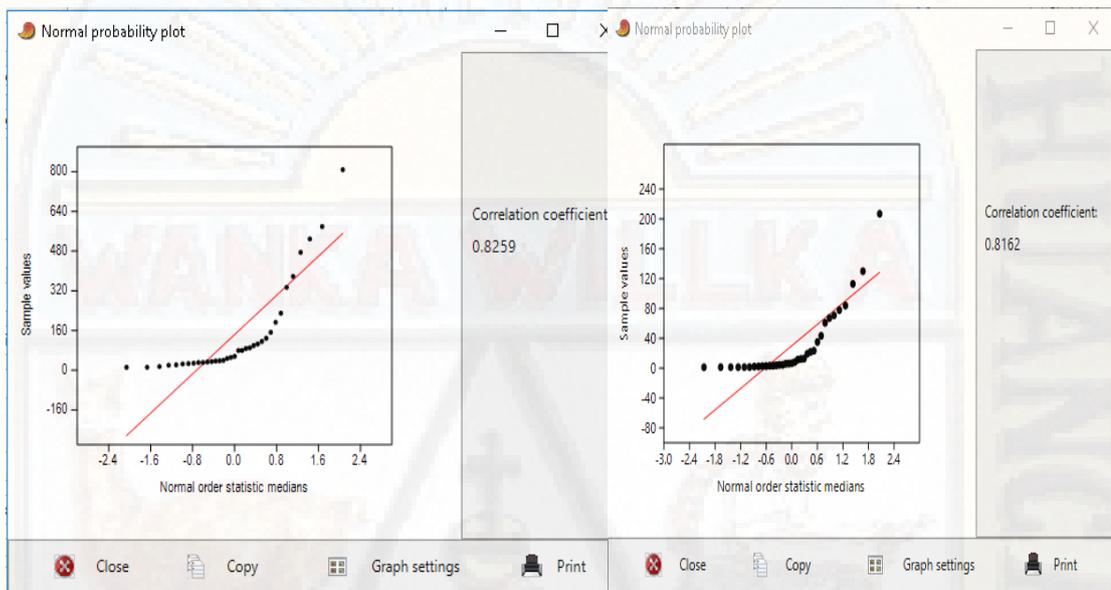


(a)

(b)

Figura 11: Caja y bigotes de datos de partida y con transformación logarítmica  
Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 11 (a) (lado izquierdo) se puede apreciar los datos de partida para el arsénico y mercurio valores anómalos que se encuentran situados fuera del rango intercuartil. Y en la Fig. 11(b) (lado derecho) visualizamos que la media y mediana están muy cercanas tanto para los elementos del arsénico como para los elementos de mercurio, siendo esto típico en las distribuciones normales.

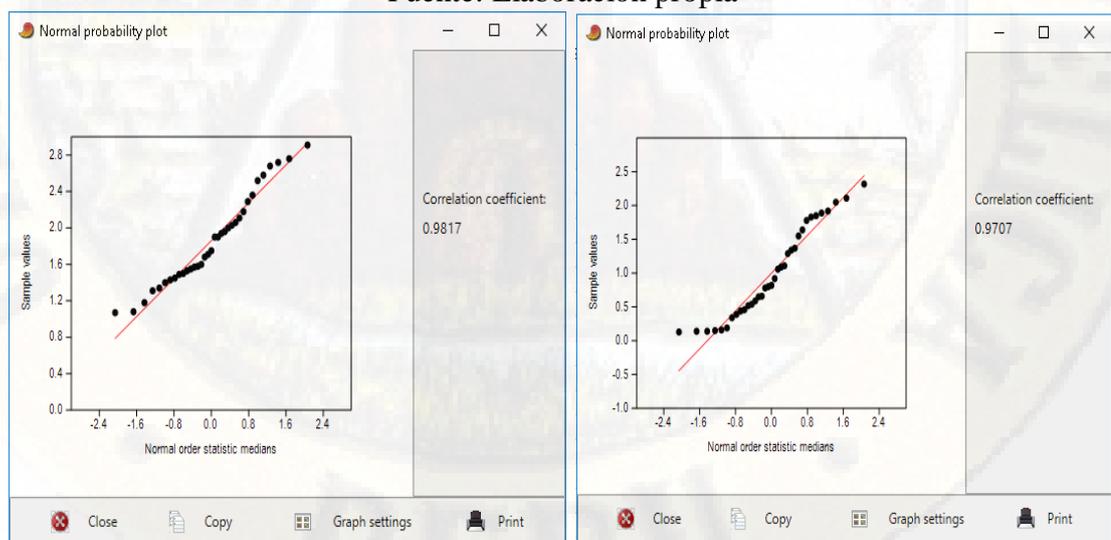


(a)

(b)

Figura 12: Probability Plot de los datos de partida para arsénico y mercurio.

Fuente: Elaboración propia



(a)

(b)

Figura 13: Probability Plot de los datos transformados del arsénico y mercurio.

Fuente: Elaboración propia

Los valores analizados de los datos de partida para el arsénico y mercurio tal como se muestra en la (Fig. 12 a y b), vemos que no se ajusta a una recta. Por ende, no representa el valor esperado de una distribución normal. Sin embargo, en la (Fig. 13 a y b) analizamos los datos con transformación logarítmica donde se visualiza un ajuste mejor a la recta, además, observamos un incremento del coeficiente de correlación entre los datos de partida y los datos esperados para ambos elementos.

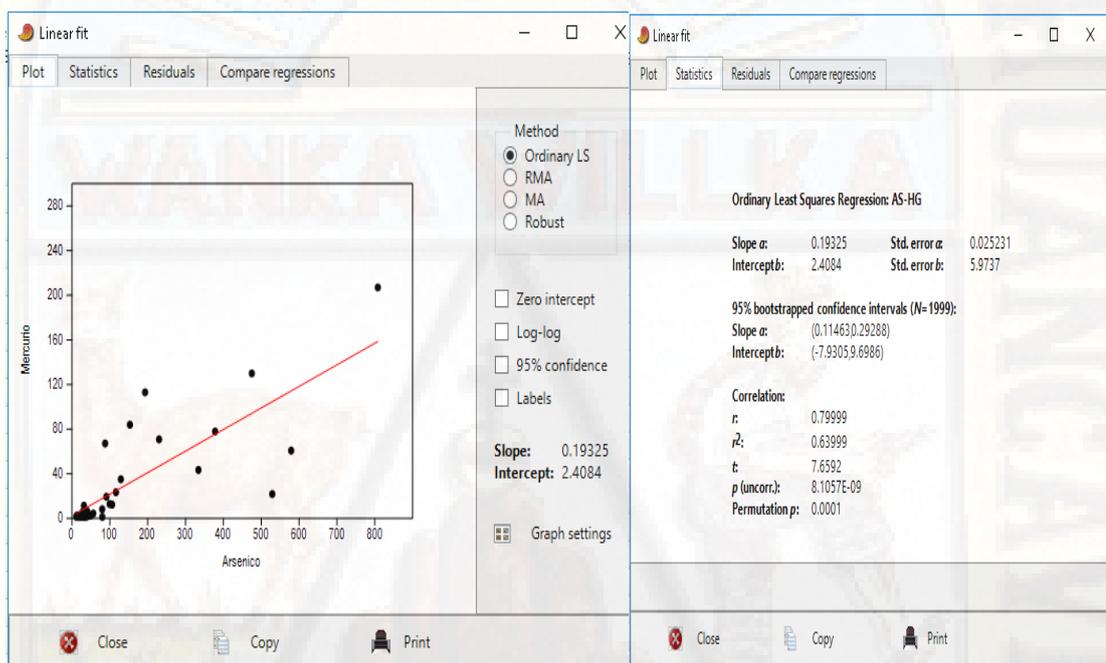


Figura 14: Scatter-Plot de los datos de arsénico y mercurio.  
Fuente: Elaboración propia

En el figura N° 14. Se puede visualizar el coeficiente de correlación ( $r$ ) entre los datos del arsénico y mercurio es de 79%, lo que significa que ambos elementos analizados parecen tener un comportamiento similar en los suelos, de manera que, estos elementos probablemente proceden de las mismas fuentes de contaminación.

#### **4.1.3. Análisis Estructural de los Datos**

El interés de la geoestadística, radica en estimar de carácter continuo, en cualquier punto del espacio, el comportamiento espacial de la variable. (Ingeoexpert/CRS, 2016c). Hay que mencionar, además que el propósito del análisis estructural de los datos es lograr un modelo de variabilidad que nos permitirá, mediante el krigado, proceder a la estimación espacial de manera excelente de la variable en puntos o bloques no experimentales. (Soldado, Olmo, Sánchez, Iguzquiza, & Galiano, 2003).

El análisis se ha realizado para cada una de las concentraciones, en donde se construye el variograma experimental y el modelo del variograma mediante el uso del Software S-GemS, especializado en el tratamiento geoestadístico de datos.

#### **Variografía y Modelización de los niveles de Arsénico (As) y Mercurio (Hg).**

El objetivo del variograma experimental es fijar la estructura espacial del fenómeno estudiado. Su construcción se ajusta a una etapa fundamental del tratamiento geoestadístico los cuales condicionará el grupo de resultados que se lograra en las fases posteriores del procesamiento. (Ingeoexpert/CRS, 2016c). En similares estudios se llevaron a cabo análisis geoestadísticos, incluido el cálculo de variogramas experimentales y un modelo adecuado. (McGrath, Zhang, & Carton, 2004).

#### **Niveles de Arsénico (As).**

Los parámetros elegidos para la variable de arsénico que nos permitirán construir el variograma experimental a partir de nuestros datos de partida; con una separación entre pasos de 90 m, tolerancia de paso 45 m, para nuestro caso realizaremos un variograma omnidireccional con un Azimut y Dip 0, Tolerancia 90° y un Bandwidth: 20000 (lo bastante extenso para englobar todos los datos posible).

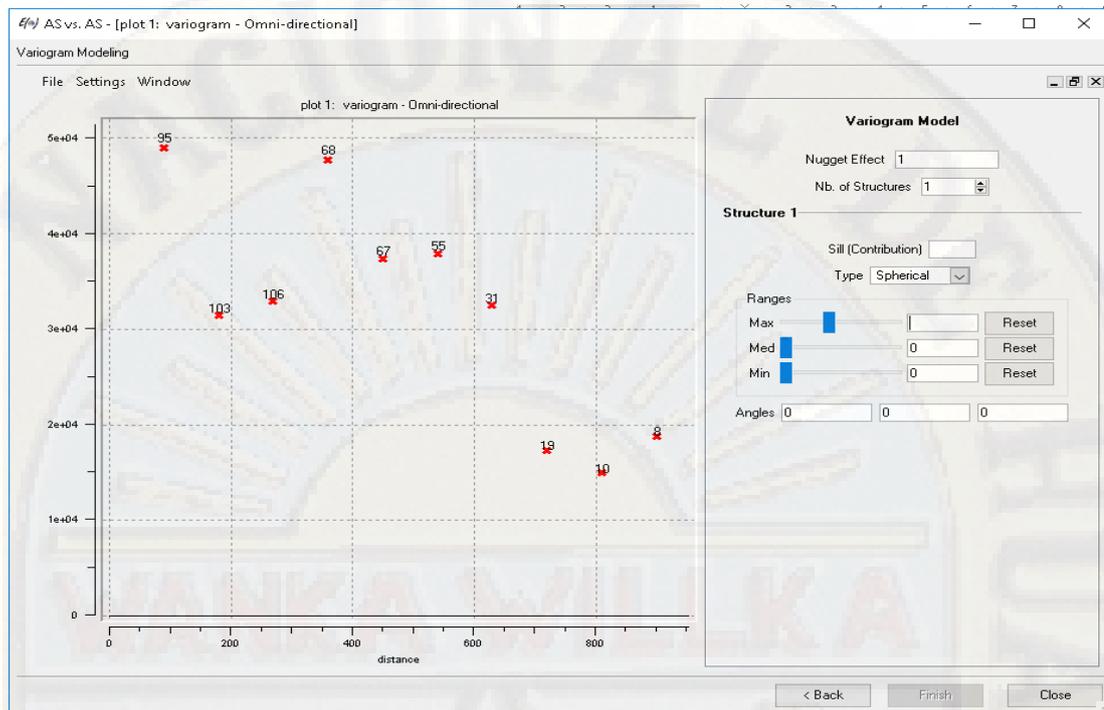


Figura 15: Variograma experimental para los niveles de arsénico  
Fuente: Elaboración propia

En la (Fig. 15) observamos la cantidad de datos que constituyen en el variograma experimental que simboliza la varianza media de los pares de puntos comparados en cada paso +/- su tolerancia, a su vez se puede apreciar un comportamiento espacial poco estructurado de la variable Arsénico.

Una vez determinada la curva experimental a partir de los datos de muestreo disponibles, procedemos a la modelización dicho variograma con el propósito de fijar el proceder de la variable en todo lugar del espacio.

Para localizar la curva que se adapte al presente variograma experimental, se ha realizado la modelización del variograma con un modelo esférico, con un efecto pepita de 1.0, una meseta de 37,000 y un rango o alcance de 369 m. tal como se muestra en la Fig. 16.

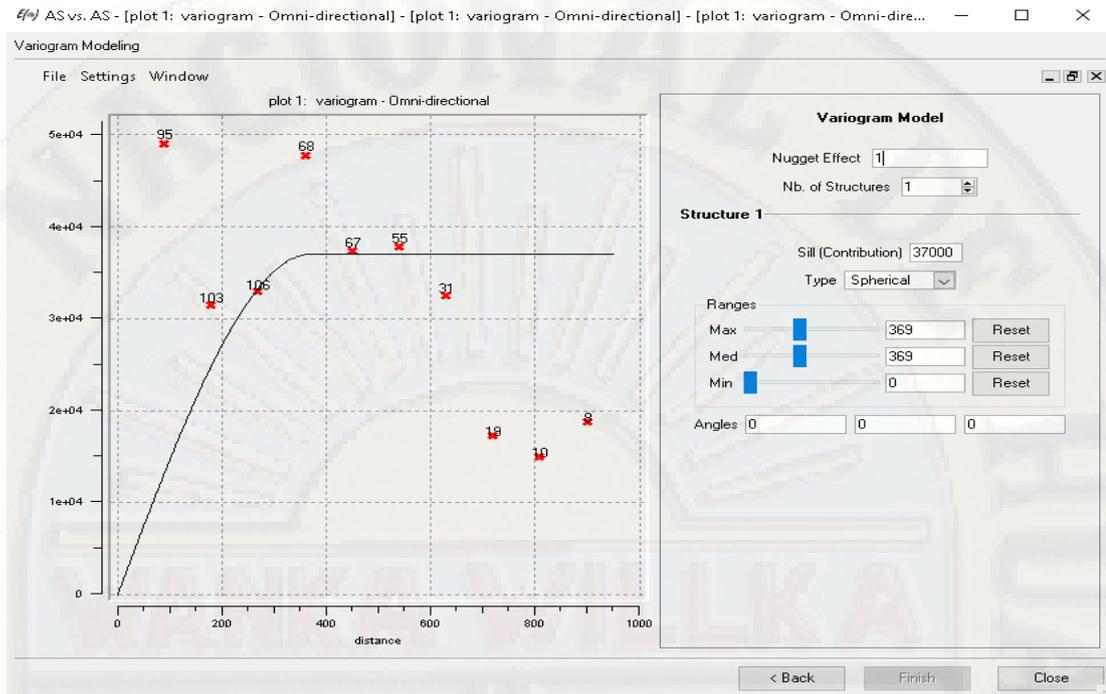


Figura 16: Curva teórica del modelo de variograma para los niveles de arsénico.  
Fuente: Elaboración propia

### Niveles de Mercurio (Hg).

Los parámetros elegidos para los niveles de mercurio que nos permitirán construir el variograma experimental a partir de nuestros datos de partida; con una separación entre pasos de 60 m, tolerancia de paso 30 m, para nuestro caso realizaremos un variograma omnidireccional con un Azimut y Dip 0, Tolerancia 90° y un Bandwidth: 20000 (lo bastante extenso para englobar todos los datos posible).

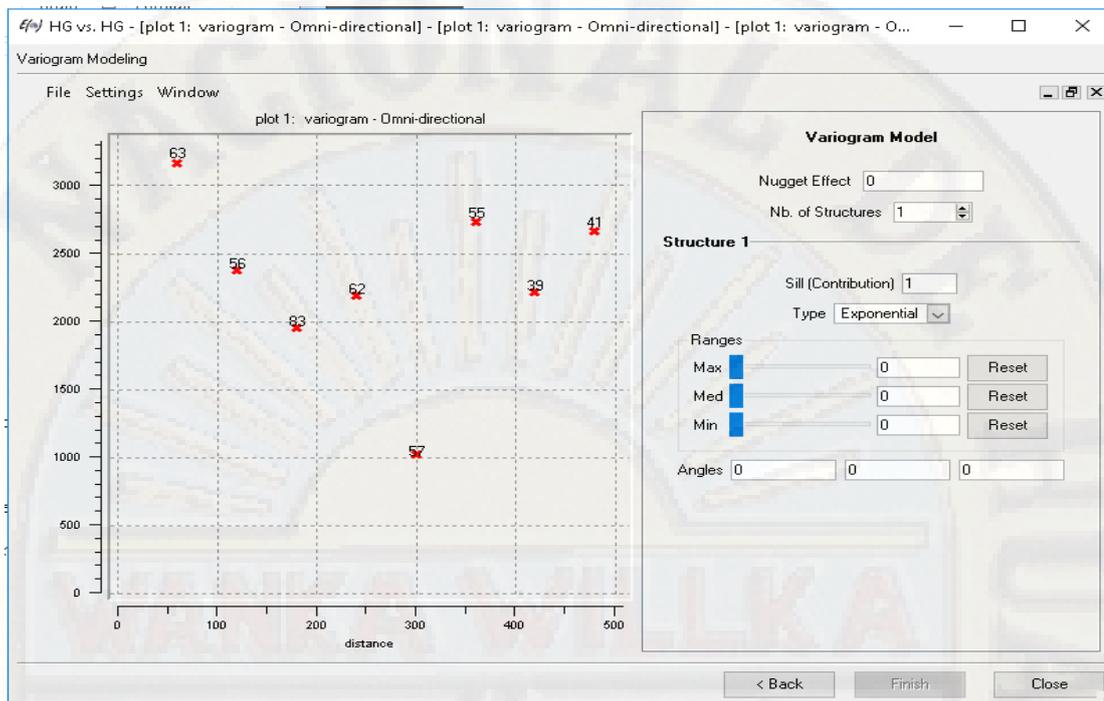


Figura 17: Variograma experimental para los niveles de mercurio. Fuente: Elaboración propia

De igual forma a lo observado para los niveles de arsénico nos muestra la cantidad de datos que constituyen en el variograma experimental (Fig. 17) que simboliza la varianza media de los pares de puntos comparados en cada paso +/- su tolerancia, también se puede apreciar un comportamiento espacial poco estructurado de la variable de mercurio.

Determinada el variograma experimental procedemos a modelizar dicho variograma. Para localizar la curva que se adapte al presente variograma experimental, se ha realizado la modelización del variograma con un modelo esférico, con un efecto pepita de 1.0, una meseta de 2,500 y un rango o alcance de 302.4 m. tal como se muestra en la Fig. 18.

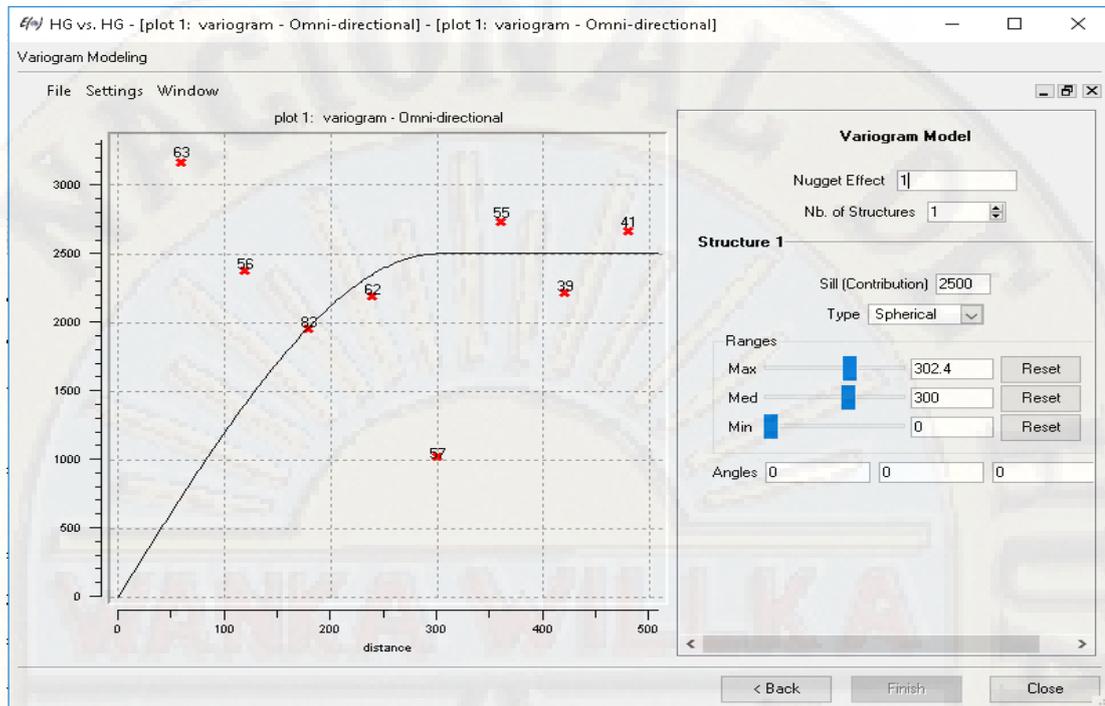


Figura 18: Curva teórica del modelo de variograma para los niveles de mercurio.  
Fuente: Elaboración propia

El modelo de variograma más empleado es el modelo esférico. Si bien la variación de pepita es primordial pero no es grande y hay un rango y un umbral claro, una curva conocida como modelo esférico a menudo comprime el variograma. (Kabir et al., 2017). Además, el modelo esférico es probablemente el más utilizado en suelos contaminados para modelar variogramas experimentales, donde se puede observar una pendiente suave al origen hasta llegar al valor del alcance. (Ingeoexpert/CRS, 2016c).

#### 4.1.4. Técnica de Interpolación: Kriging

Este nombre apareció alrededor de 1960 para nombrar una técnica creada en Francia por G. Matheron a partir de los trabajos de D. G. Krige quien fue probablemente el primero que hizo uso de la correlación espacial y del mejor estimador lineal

insesgado en el campo de la evaluación de yacimientos minerales.(Díaz Viera, 2002). Para nuestro caso utilizaremos el krigado ordinario como técnica de estimación más común. Por ende, nos concentraremos fundamentalmente en este tipo de interpolación.

### **El krigado ordinario**

El krigado ordinario asume que la media de la variable regionalizada es desconocida. Por tanto, su expresión matemática del krigado ordinario es la siguiente:

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$$

Realizado el modelo de variograma de los niveles de arsénico y para los niveles de mercurio, el cual nos permitirá definir la estructura espacial de nuestra variable en todo punto del espacio, procederemos a cartografiar la asignación definida a partir de esa estructura. El variograma se puede juzgar sobre la base del conocimiento experto del sitio. Y hace que el kriging sea una técnica confiable para investigar la distribución y las fuentes de contaminantes en el suelo.(Carlón, Critto, Marcomini, & Nathanail, 2001). La técnica más utilizada en contaminación de suelos corresponde al Krigado Ordinario (Ingeoexpert/CRS, 2016b).

Para ello, es indispensable crear un soporte o mallado donde se va realizar las estimaciones. Ahora veamos, para nuestro estudio trabajaremos con un tamaño de bloque pequeño de 2x2 metros para una mejor visibilidad y precisión de la dispersión de los niveles de contaminación en los suelos afectados por arsénico y mercurio.

Las dimensiones de nuestro mallado es de 540 bloques en X y 200 bloques en Y; cuyas dimensiones de cada bloque es de 2x2 metros y las coordenadas UTM WGS84

Zona 18, de la esquina inferior izquierda de nuestro soporte de estimación es de 603 045 Este y 8 272 016 Norte.

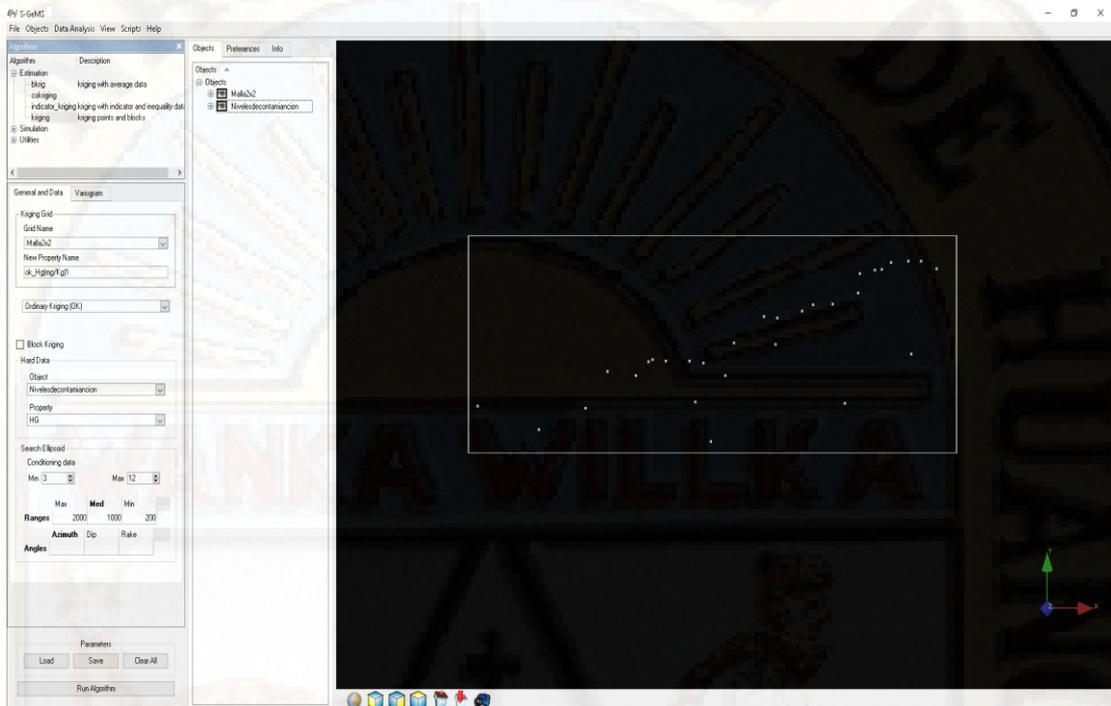


Figura 19: Creación del soporte o mallado.  
Fuente: Elaboración propia

Podemos observar (Fig. 19) el mallado 2x2 metros donde visualizamos sus límites en el visor de que coinciden con los límites de nuestros sondeos.

Por lo que, procederemos a la estimación mediante la técnica de interpolación del krigado ordinario para las variables de interés, en nuestro caso para los niveles de contaminación por arsénico y mercurio en este soporte de estimación.

➤ **Krigado para los niveles de Arsénico (mg/kg).**

Para la estimación de los niveles de contaminación en suelos afectados por arsénico mediante el krigado ordinario con el Software SgemS rellenamos la información en dos pestañas: General and Data y Variogram.

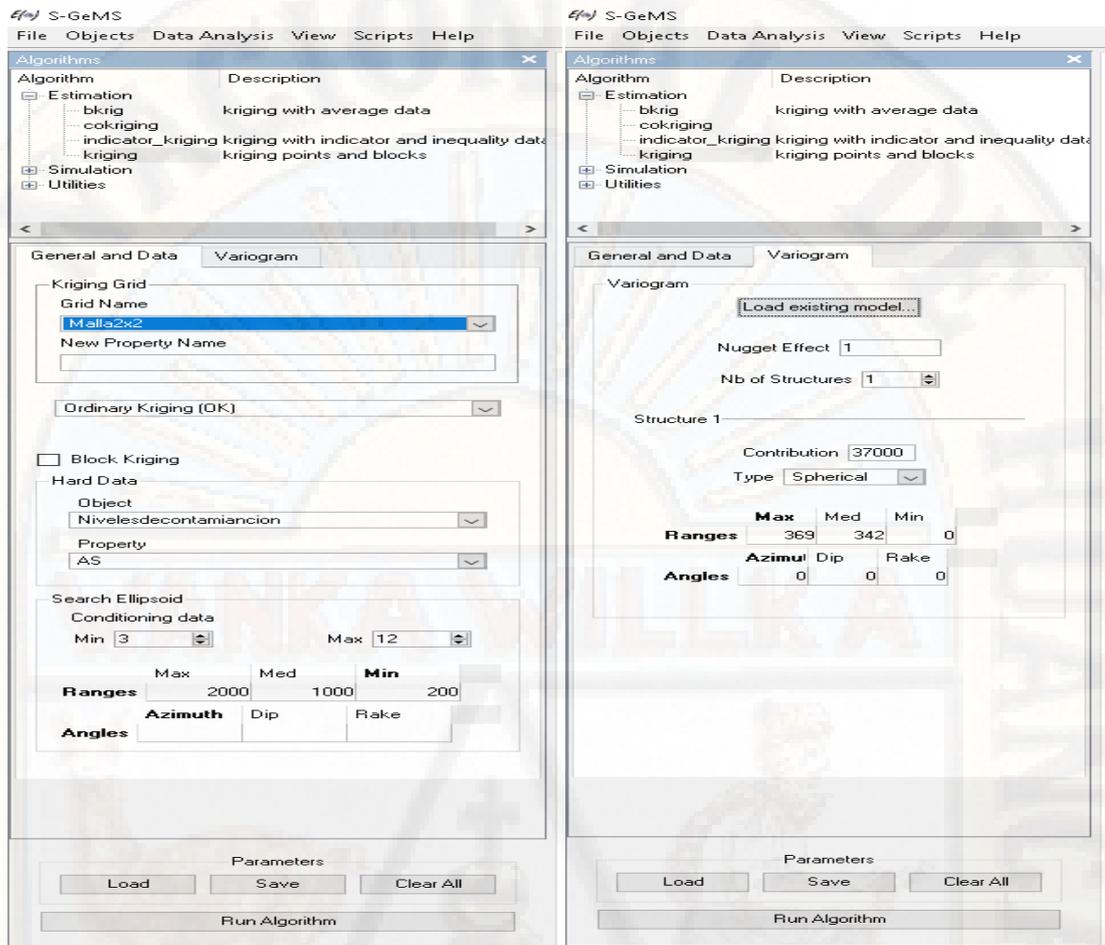


Figura 20: Información requerida para la estimación OK  
Fuente: Elaboración propia

Ahora observamos (Fig. 20) que el número de datos máximos y mínimos que aplicaremos durante el desarrollo del krigeado ordinario; asimismo, los radios a partir de los cuales se escogen las muestras en el proceso, en nuestro caso utilizaremos radios grandes debido a que se dispone pocas muestras, de esta manera nos permitirá coger mayor número de muestras posibles durante la estimación. Posteriormente cargamos la información de nuestro variograma y modelización correspondiente a la variable de Arsénico (mg/kg).

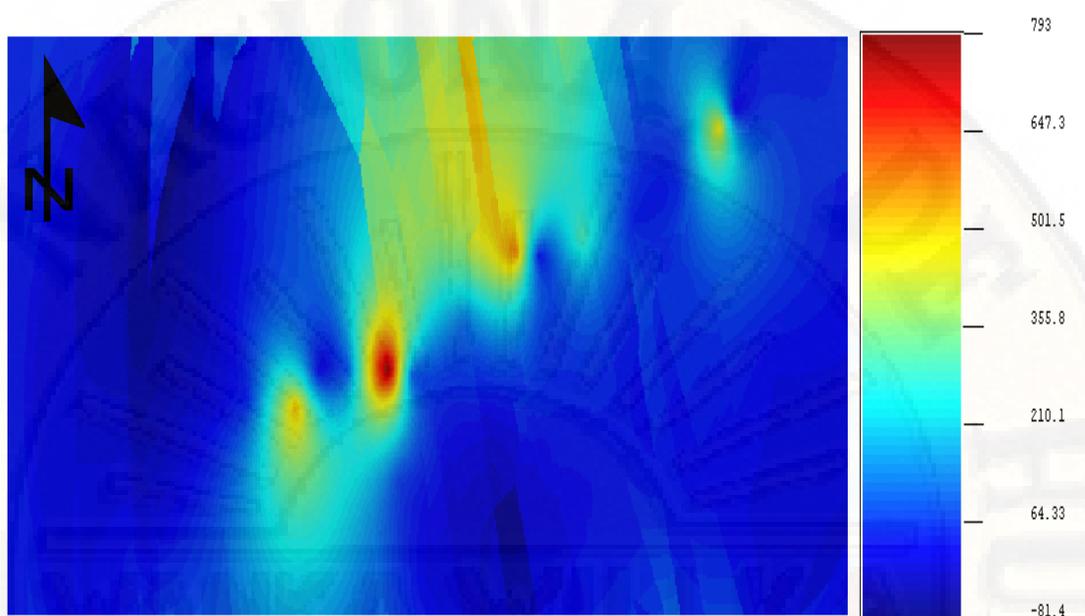


Figura 21: Cartografía de los niveles de contaminación afectados por arsénico (OK\_As.mg/kg). Fuente: Elaboración propia

Tras la estimación de los niveles de contaminación de suelos afectados por arsénico, SgemS genera dos tipos de información, el krigado ordinario correspondiente a la cartografía representando la distribución espacial de los niveles de contaminación (OK\_As.mg/kg) Fig. 21 y la varianza del error de la estimación (OK\_As.mg/kg\_Krig\_Var). Fig. 22.

Podemos visualizar 5 fuentes de niveles de contaminación afectados por arsénico alrededor de los sondeos 8, 14, 18, 22 y 29 donde se localizan las zonas de los quimbaletes de las actividades mineras a pequeña escala. Por otro lado, los niveles de contaminación se expanden con dirección al Sur, Norte y Noreste, no logrando definir exactamente su expansión en el extremo Sur y Norte de la zona de estudio, por lo que continua hacia el exterior los niveles de contaminación.

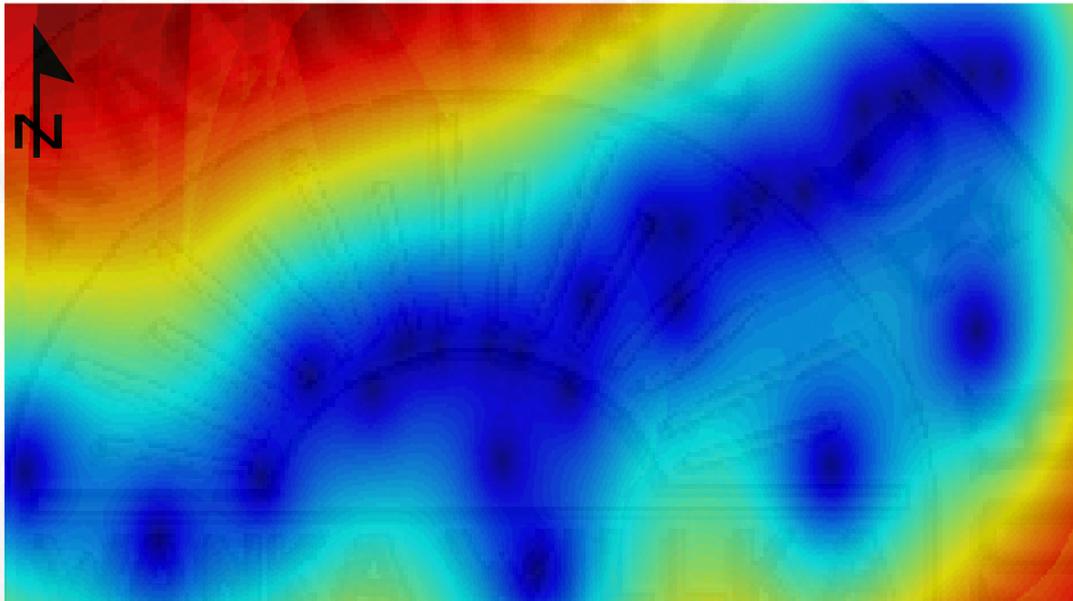


Figura 22: Varianza del error de la estimación (OK\_As.mg/kg\_Krig\_Var). Fuente: Elaboración propia

De tal modo, (Fig. 22) logramos observar la cartografía de la varianza del error asociada al krigeado realizado (OK\_As.mg/kg). Esta cartografía nos muestra que en las zonas donde se tiene puntos se estiman valores bajos de varianza. Este error se va elevando cada vez que nos vamos distanciando de los sitios conocidos quedando su valoración extremo en las zonas no muestreadas. (Ingeoexpert/CRS, 2016b).

➤ **Krigeado para los niveles de Mercurio (mg/kg).**

La técnica utilizada para la estimación de los niveles de contaminación en suelos afectados por mercurio mediante el krigeado ordinario es la misma que para los niveles de arsénico. Por lo que, procedemos a rellenar la información requerida al software SgemS para la variable Mercurio (mg/kg).

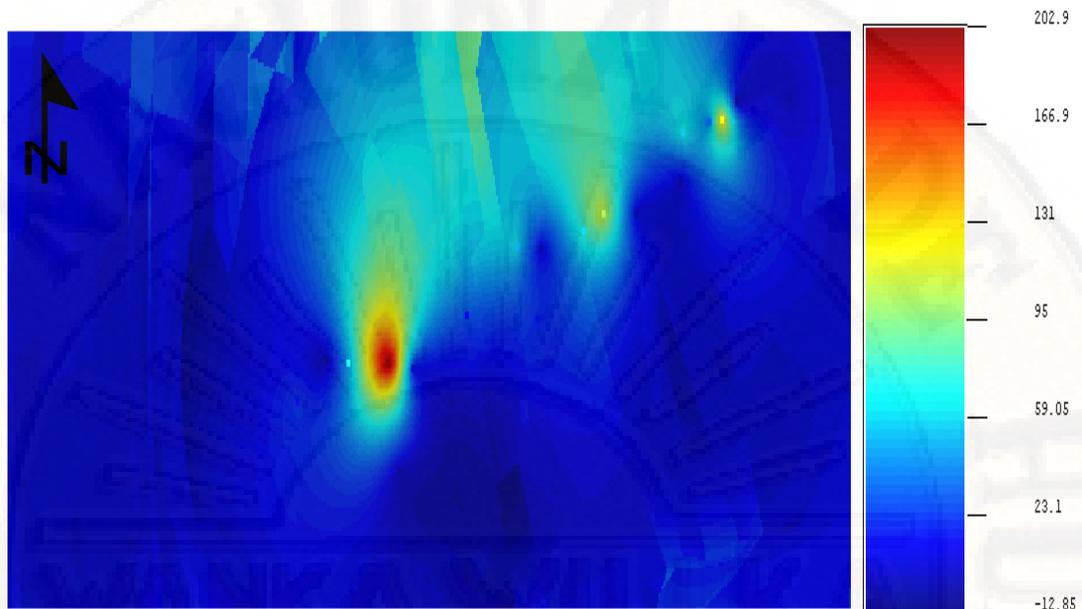


Figura 23: Cartografía de los niveles de mercurio (OK\_Hg.mg/kg). Fuente: Elaboración propia

De la misma forma que la anterior técnica, la estimación de los niveles de contaminación de suelos afectados por mercurio, SgemS genera dos tipos de información, (Fig. 23) el krigeado ordinario correspondiente a la cartografía representando la distribución espacial de los niveles de contaminación (OK\_Hg.mg/kg) y (Fig. 24) la varianza del error de la estimación (OK\_Hg.mg/kg\_Krig\_Var). Además, podemos visualizar 3 fuentes de niveles de contaminación afectados por mercurio alrededor de los sondeos 14, 23 y 29 donde se localizan las zonas de quimbaletes de las actividades mineras a pequeña escala. Por otro lado, los niveles de contaminación se expanden al igual que los niveles de contaminación en suelos afectados por arsénico con dirección al Norte y Noreste, no logrando definir exactamente su expansión en el extremo Norte de la zona de estudio, por lo que continua hacia el exterior los niveles de contaminación.

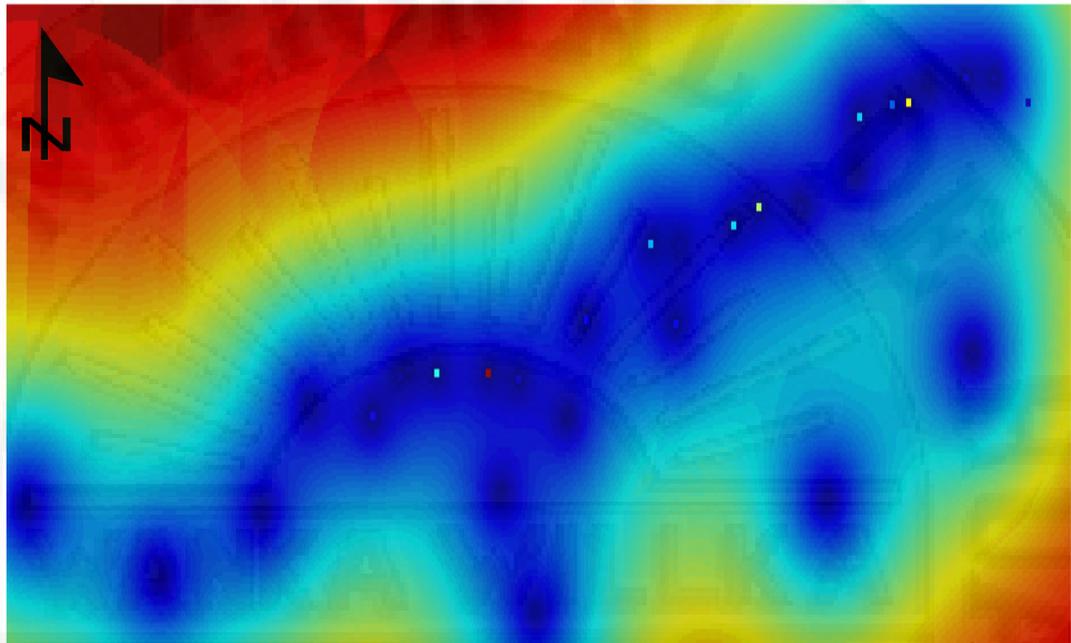


Figura 24: Varianza del error de la estimación (OK\_Hg.mg/kg\_Krig\_Var) Fuente: Elaboración propia

La cartografía del error nos muestra que en esta zona, (Fig. N° 24) la varianza del krigado es elevado debido a que no se sitúa de datos de muestreo. Por lo tanto, los resultados conseguidos en esta área son menos correctos, aunque no se alinea información relativa a la incertidumbre existente sobre la aparición de un posible nivel de contaminación en suelos afectados por mercurio.

#### 4.1.5. Validación de los resultados del Krigado

Los resultados se pueden observar en tablas como las de la validación cruzada, Histogramas, QQPlot, Análisis de tendencia, Nube de puntos del semivariograma, etc. (Cely, Siabato, Sánchez Ipia, & Rangel, 2002). Para nuestro caso comprobaremos la fidelidad de los resultados examinando los histogramas de los datos partida y de los

datos estimados para los niveles de contaminación en suelos afectados por arsénico y mercurio.

➤ **Niveles de Arsénico (As).**

Si observamos los histogramas de los datos de partida (Fig. 25) la media de los 35 datos propios al arsénico es de 143.77 mg/kg estando como valor mínimo de 11.7 mg/kg y un valor máximo de 808 mg/kg. Más de 50% de los datos muestran niveles de arsénico cercanos al límite de detección a los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos. A su vez, observamos intervalos vacíos en el histograma esto debido a que no se obtuvieron esos rangos en los resultados analíticos.

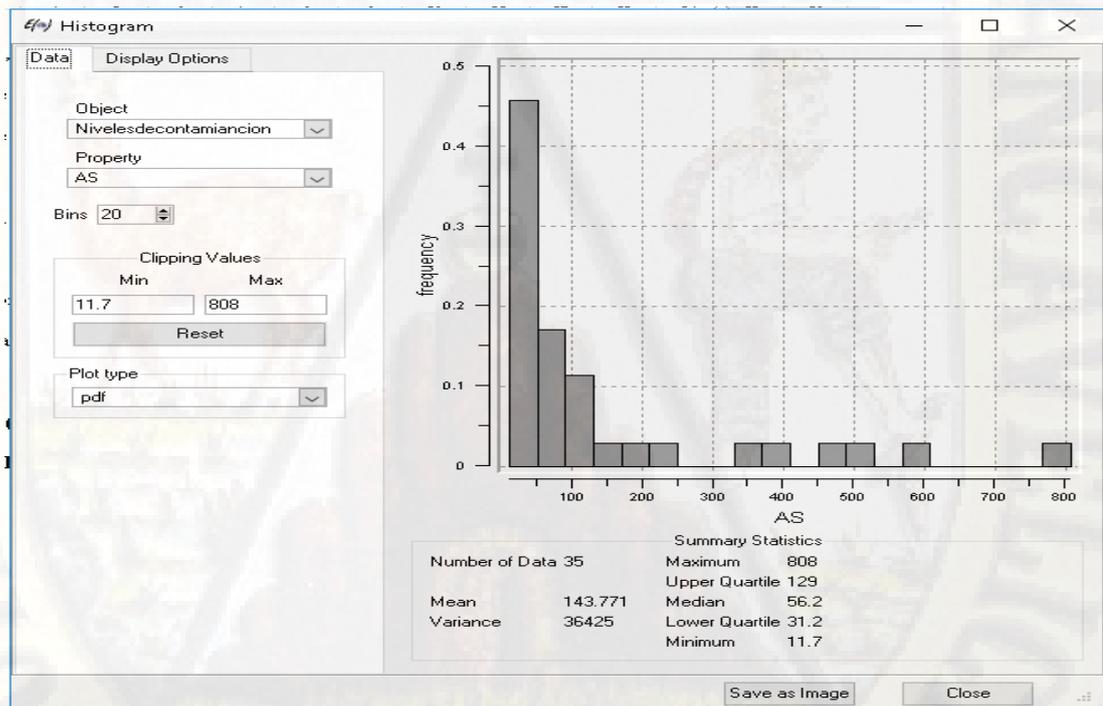


Figura 25: Histograma de los datos de partida para Arsénico (mg/kg). Fuente: Elaboración propia

Mientras tanto, al analizar el histograma y sus estadísticas para los datos estimados (Fig. 26), se observa 108 000 bloques estimados con un valor máximo de 793.016 mg/kg, mientras que el valor mínimo cercano a cero. Así

mismo, el valor de la media de los valores krigeados disminuye de 143.77 mg/kg a 101.16 mg/kg.

Por otro lado, se tiene la diferencia más significativa entre ambos histogramas es la forma donde en el histograma del krigeadado, se percibe un suavizado de los valores máximos y mínimos.

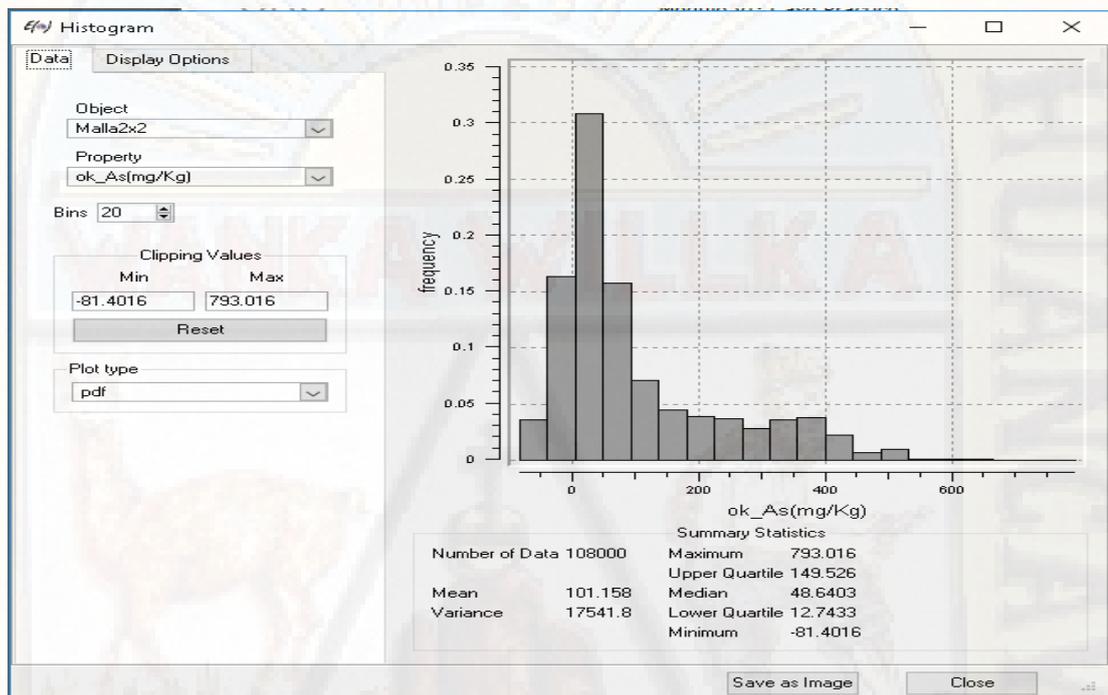


Figura 26: Histograma de los datos estimados para Arsénico (OK\_As.mg/kg) Fuente: Elaboración propia

### ➤ Niveles de Mercurio (Hg).

En la (Fig. 27) se puede visualizar que el valor medio de los datos de partida para el mercurio es de 30.19 mg/kg teniendo como valor máximo 207 mg/kg y el mínimo de 1.36 mg/kg. También observamos intervalos vacíos en el histograma al igual que para el arsénico.

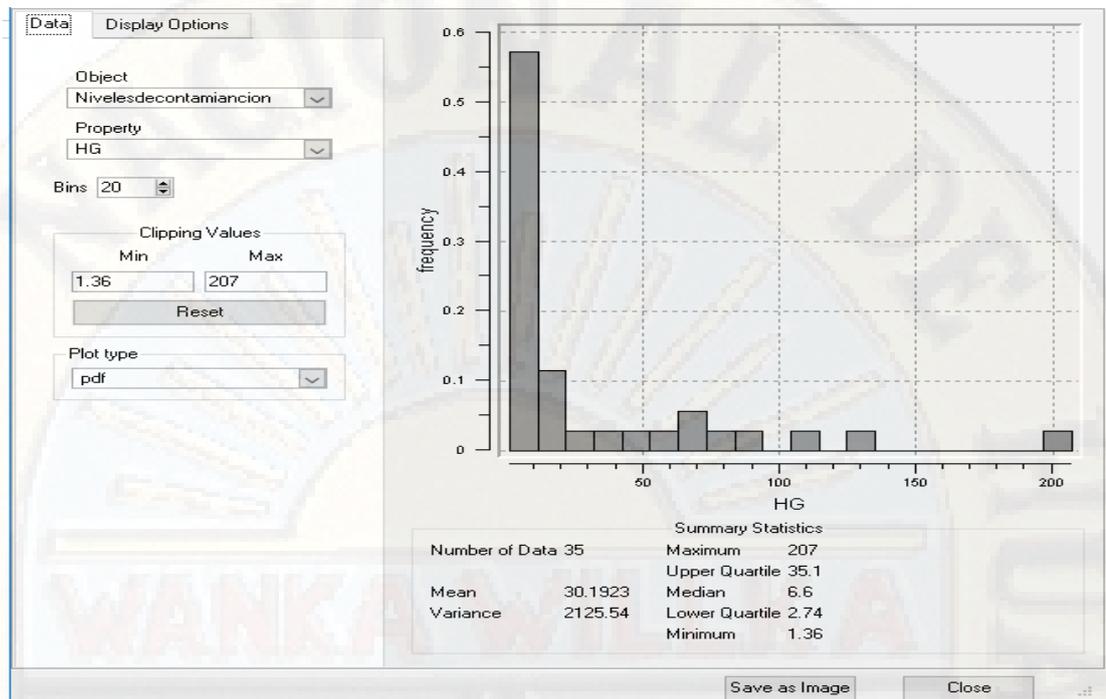


Figura 27: Histograma de los datos de partida para mercurio (mg/kg). Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, tenemos el análisis y estadísticas para los datos estimados (Fig. 28), se observa 108 000 bloques estimados con un valor máximo de 202.856 mg/kg, mientras que el valor mínimo cercano a cero. Así mismo, el valor de la media de los valores krigeados es menor que la observada para los datos de partida.

También se observa la diferencia más significativa entre ambos histogramas es la forma donde en el histograma del krigado, se percibe un suavizado de los valores máximos y mínimos.

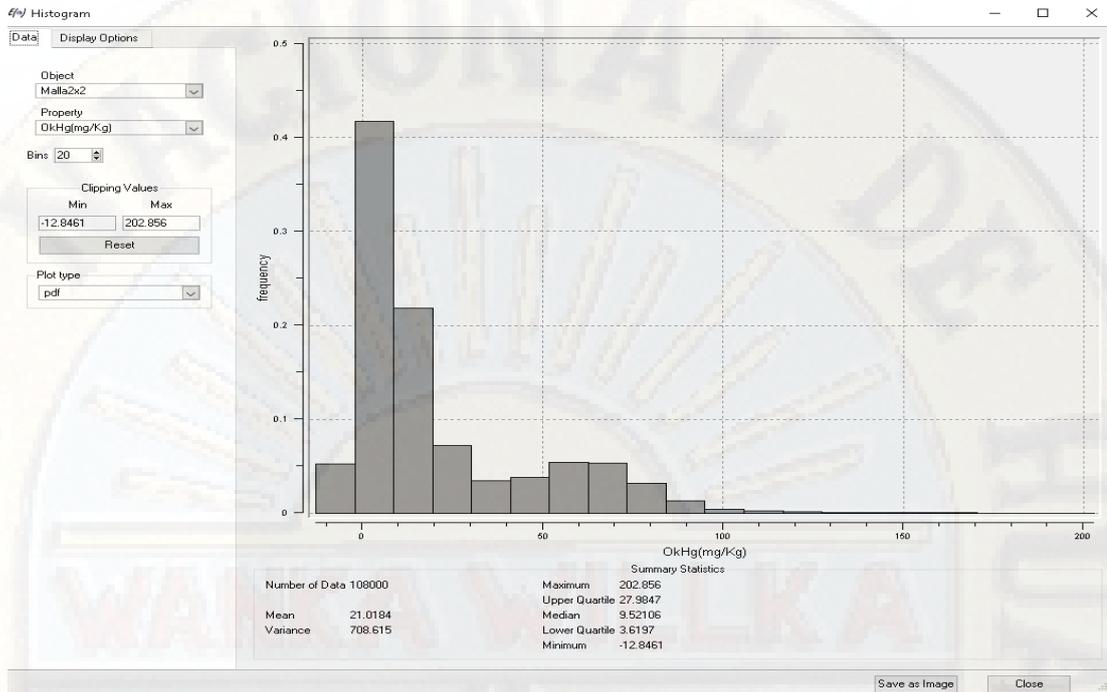


Figura 28: Histograma de los datos estimados para mercurio (OK\_Hg.mg/kg).  
Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, podemos validar nuestros resultados puesto que no se tiene en ningún de los casos sobreestimación de los niveles de contaminación. Y a esto añadimos que el grado de correlación entre los valores de partida y los datos estimados es de un 83.0 %.

## 4.2. Discusión de resultados

### 4.2.1. Análisis exploratorio de los niveles de contaminación.

Los niveles de contaminación afectados por arsénico y mercurio en los suelos superficiales estudiados se resumen en la Tabla 3 de las principales estadísticas. Los mínimos y máximos y las medias de los niveles de contaminación en mg/kg son las

siguientes: Arsénico 11.70 - 808.0 (media 143.80) y Mercurio 1.36 – 207.0 (media 30.19).

Tabla 3: Resumen estadístico de los niveles de contaminación en mg/kg

<b>Variables</b>	<b>Arsénico</b>	<b>Mercurio</b>
<b>Sondeos</b>	35	35
<b>Media</b>	143.80	30.19
<b>Desv.Est.</b>	190.90	46.10
<b>Mediana</b>	56.20	6.60
<b>Mínimo</b>	11.70	1.36
<b>Máximo</b>	808.00	207.00
<b>UCL95</b>	517.96	120.55

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 1 se muestra los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos (ECA) establecidos por la Normatividad Peruana Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM (Ambiente, 2017).

Como niveles de contaminación representativa establecida al medio fuente se contempla el Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95 % de la media aritmética (95% Upper Confidence Limit o UCL95) de los datos de niveles de contaminación determinados. Ver Tabla 3.

Del total de los 35 sondeos superficiales (0.05-0.20 m) el 57.14 % y 48.57% de los valores conseguidos en los sondeos para los niveles de contaminación de suelo afectados por arsénico y mercurio respectivamente se encuentran por encima de los límites establecidos por la normatividad conforme con los resultados, Los niveles más altos de arsénico y mercurio se localizaron en zonas cercanas a las actividades

mineras de beneficio a pequeña escala (zona antigua de quimbaletes). Mientras en la zona urbana de la población de Mollehuaca del total de 10 sondeos superficiales, el 40% y 20% de los valores superan los niveles de contaminación afectados por arsénico y mercurio respectivamente. Al respecto, Oswald Eppers (2014) expresa: “En sus resultados demuestra que en la zona urbana del Poblado de Mollehuaca, los suelos son impactados por la contaminación ambiental de la actividad minera, con un 22.7% y 9.1% de las muestras de suelos analizados contenían concentraciones de arsénico y mercurio respectivamente por encima del Estándares de Calidad Ambiental para suelo en áreas residenciales”. También, similares resultados demuestran que en la zona urbana del distrito de Chala los valores UCL95 de los elementos As y Hg exceden los Estándares de Calidad Ambiental y como consecuencia son considerados Contaminante de Preocupación Potencial (CPP) en suelos y esto es causada por la pequeña minería y minería artesanal.(Ambiente, 2015).

Por otro lado, tenemos los valores más bajos de arsénico y mercurio en la zona de cultivo alrededor del sondeo N° 5 los cuales se encuentran por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo.

#### **4.2.2. Análisis Geoestadístico de los niveles de Contaminación**

El análisis reside en la generación gráfica, mediante cartografías o mapas, de la distribución espacial de los distintos elementos sobre la población. Luego, con estas cartografías o mapas, se obtendrá dar respuesta a los interrogantes que se muestran sobre porqué los elementos quedan más niveles de concentración en un área que en

otra, y porqué muestran unos valores más elevados en un área concretas que en otras.(Camara, 2015).

En primer lugar, en el análisis exploratorio; se realizó una transformación logarítmica de los datos, con el fin de apreciar nuestros datos a una distribución normal (Fig. 9 y Fig. 10). Los parámetros geoestadísticos son perceptivos a la aparición de puntos aberrantes, como se afirmó arriba, se practicó una transformación logarítmica a los datos con lo que se alcanzó a una distribución que se aproximara a la normalidad.(Irene Sommer C., & Pilar Fernandez L., 2000).

En el análisis estructural se realizó mediante el empleo del software SgemS V.2.1 de dominio libre. En ello la estimación espacial mediante el Krigado ordinario. Donde, se ha analizado las variables de arsénico y mercurio por medio del variograma.

El propósito es lograr un modelo de variabilidad que, mediante el krigado, lleve a la estimación espacial óptima de las variables en puntos no muestreados.(Soldado et al., 2003). En esta etapa se hizo los variogramas omnidireccionales para cada uno de las variables de arsénico y mercurio, donde se adaptó una curva al variograma experimental.

Con respecto a, una posible anisotropía no se contempló su presencia. Esto debido, que es necesario tener suficiente cantidad de sondeos en las diferentes trayectorias del espacio con la intención de precisar de manera representativa la conducta espacial del fenómeno en cada una de las direcciones posibles. Por otra parte, con la cantidad de datos disponibles, en el procesamiento de datos de los variogramas direccionales se tuviesen justificado sobre muy pocos puntos muestrales, con meros resultados que carecieran muy deficientes.(Moral García, 2004). En efecto, en el

campo de estudios de contaminación de suelos, es complejo mostrar anisotropías dado a la insuficiente concentración de datos o sondeos disponibles al momento de efectuar un estudio de contaminación. Dicho lo anterior, de no tener una cantidad suficiente de muestras o sondeos es aconsejable personalizar la variable y su variograma en forma isotrópica.

Podemos observar los parámetros de ajuste de la modelización del variograma experimental en la Tabla 4.

Tabla 4: Ajuste de los variogramas de las variables estudiadas

<b>Variab</b> les	<b>Modelo</b>	<b>Efecto Pepita</b>	<b>Alcance<sup>l</sup></b>	<b>Meseta</b>
<b>As</b>	Esférico	1	369.0	37000
<b>Hg</b>	Esférico	1	302.4	2500

Fuente: Elaboración propia

Analizado los variogramas y los ajustes (Tabla 4, Fig. 16 y Fig. 18), vemos que para las dos variables se ha modelizado con un modelo esférico, y los alcances que se obtienen se encuentran entre 300 – 370 metros y un efecto pepita similar para ambas variables. Habría que decir también, que los modelos teóricos más adecuados para la modelización de los variogramas corresponden a una forma esférico o el exponencial.(Srivastava, 1989). Una curva conocida como modelo esférico a menudo aprieta el variograma en general y se ajusta bien a casi todos los casos, basado en los resultados.(Kabir et al., 2017).

Para la estimación se ha realizado mediante el método de krigeado. Además, el método krigeado en sus distintas formas, origina estimaciones óptimas de la variable espacial, al disminuir el error de estimación y por la clase de no sesgo del estimador, tanto a tamaño global como local.(Olmo, 2005). Por tanto, un tema a favor del

Krigeage en particular el Krigeado Ordinario yace que se adecua cómodamente las variaciones locales de la media.(Martinez & Ramírez, 2005). Por otro lado, mediante el análisis geoestadístico se tiene un enfoque eficaz para comprobar las fuentes y la distribución espacial de los metales pesados en los suelos.(Lv et al., 2014).

Las cartografías, tablas y figuras que se presentaron constituyen los resultados de la técnica de interpolación de las variables de niveles de contaminación por arsénico y mercurio, teniendo en consideración la tendencia espacial de los datos, isotrópico y ajuste de la curva a un modelo esférico, expuestos líneas arriba. Hay que mencionar, además la representación cartográfica de la distribución espacial de los contenidos de arsénico y mercurio en el suelo de la meseta norte de España se estimó mediante métodos de interpolación de Kriging. (Fernando et al., 2017).

Las estimaciones de los niveles de contaminación por arsénico y mercurio, se realizó sobre un soporte o malla de 2x2 metros, de modo que el soporte de estimación está formado por un total de 108.000 bloques de los elementos de arsénico y mercurio (Fig. 25 y Fig. 27). Con valores máximos de 793.016 para el arsénico y de 202.856 para el mercurio, mientras que el valor mínimo para ambos elementos es cercano a cero. A su vez, el valor de la media es de 101.16 y 21.018 respectivamente. Y la fidelidad de los resultados se pudo precisar mediante los histogramas de los datos de partida y de los datos estimados para los niveles de contaminación en suelos afectados por arsénico y mercurio.

La tendencia espacial de los sitios contaminados afectados por arsénico y mercurio producto de la estimación se representaron mediante cartografías o mapas (Fig. 21 y Fig. 23), logrando una distribución propia en cada una de ellas. Es decir, que estos mapas o cartografías representan diferentes zonas (definidas por colores más

claros/color rojo) con niveles de contaminación más altos. De manera que, el uso de una cartografía de distribución espacial de las concentraciones de mercurio mostró una conexión clara entre el contenido de mercurio y la actividad minera ejecutada en estas áreas.(Dołęgowska & Michalik, 2019).

Los niveles de contaminación se encuentran localizados alrededor de las zonas de quimbaletes de las actividades mineras a pequeña escala. De donde resulta que, el patrón de los niveles de contaminación en los suelos superficiales es de origen antropogenico, lo que ratifica esta fuente de contaminación por la actividad minera. Similares estudios realizados en la cuenca de Zanjan, Iran se midió la concentración de varios metales pesados en especial el arsénico en donde los resultados mostraron un fuerte efecto de las fuentes antropogenicas en los suelos.(Boroumandi, Khamehchiyan, Y, & Mohsen, 2019).

En el Poblado de Mollehuaca se identificaron niveles elevados de concentraciones de estos elementos en suelos superficiales que se localizan en las áreas periféricas del poblado de Mollehuaca (Fig. 21 y Fig. 23) impactados por la actividad minera a pequeña escala durante 30 años; los niveles máximos en estos sitios se encuentran en los intervalos 50 – 793.016 mg/kg de arsénico, mientras para los niveles máximos de mercurio se encuentran en los intervalos 6.6 – 202.856 mg/kg (Tabla 5). Así mismo, en la provincia de Zhejiang y China los resultados revelaron que el contenido de arsénico en el suelo era significativamente mayor. (Xia et al., 2019). La zona con altos niveles de contaminación se sitúa alrededor del sondeo 14 con valores encontrados dentro el intervalo 644.4 -793.016 mg/kg de arsénico y en los intervalos de 163.6 – 202.856 mg/kg de mercurio (Color rojo en ambos elementos identificados).

Finalmente, a través, del procesamiento geoestadístico de los resultados logrados se alcanzó ubicar el área contaminada de los suelos para cada uno de los contaminantes y las rutas de afectación influyentes (C. et al., 2000). Y, por lo tanto, el área de alta atención para el proceso de gestiones de remediación de suelos contaminados por metales pesados.(Cortés et al., 2016). En la Tabla 5 se aprecia los resultados obtenidos del área contaminada que superan los Estándares de Calidad Ambiental para suelos según normatividad peruana Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM del Ministerio del Ambiente de Perú (Tabla 1); por lo que, se tiene 21.195 hectáreas de suelo superficial con niveles altos de arsénico y 26.126 hectáreas con niveles altos de mercurio. En efecto, estos dos elementos son el problema principal del área, por lo que es necesario tomar medidas de dimensión considerable en esta zona de remediación de suelos.

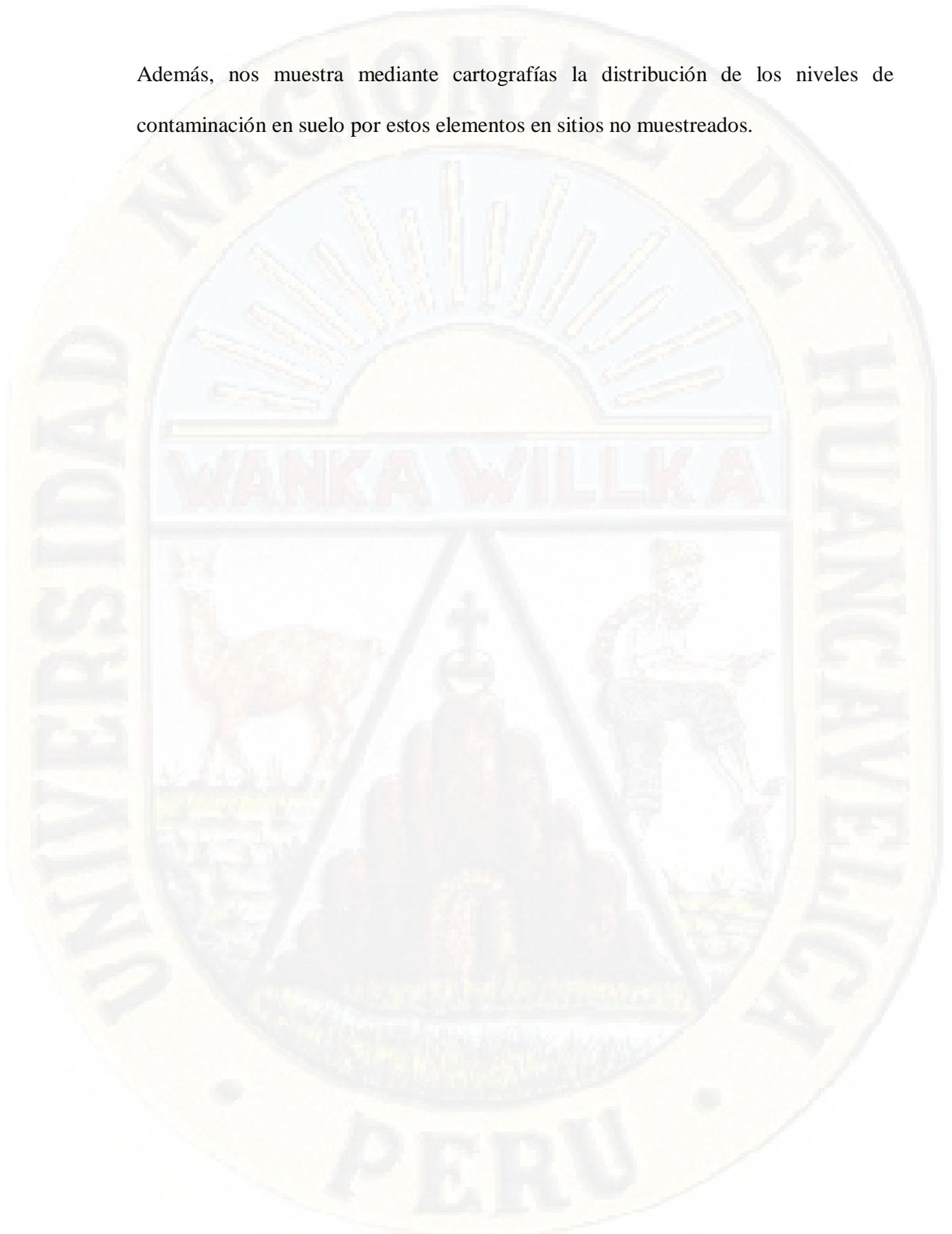
Tabla 5: Área superficial con niveles de contaminación

<b>Variables</b>	<b>Intervalos de niveles altos de contaminación (mg/kg)</b>	<b>ECA suelo D.S. N° 011-2017-MINAM</b>	<b>Área/Superficie (Ha)</b>
<b>As</b>	50 – 793.016	50	21.195
<b>Hg</b>	6.6 – 202.856	6.6	26.126

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, la contaminación del suelo por arsénico y mercurio en el poblado de Mollehuaca – Arequipa, originado por la actividad minera a pequeña escala, se encuentran con niveles altos de contaminación, que sobrepasan los ECA para suelo. Ya que, estas concentraciones con niveles altos de estos metales influye en la calidad ambiental que afecta a las personas.(Camara, 2015). Y se encuentra potencialmente amenazado la calidad del suelo y salud de la población.(Boroumandi et al., 2019).

Además, nos muestra mediante cartografías la distribución de los niveles de contaminación en suelo por estos elementos en sitios no muestreados.



## CONCLUSIONES

- El Análisis de la tendencia espacial nos concedió estudiar la distribución en el espacio o en el tiempo de un conocimiento espacial puntual a continua de los sitios contaminados afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg), generados por la actividad minera a pequeña escala en el poblado Mollehuaca – Arequipa.
- Los parámetros para construir el variograma experimental de las variables de arsénico (As) y mercurio (Hg); fueron de una separación entre pasos de 90m y 60m además una tolerancia de paso 45m y 30m, respectivamente. Asimismo, se ha realizado un variograma omnidireccional para ambas variables. Y un ajuste de la curva teórica con un modelo esférico, y los alcances que se obtuvieron se encuentran entre 300 – 370 metros y un efecto pepita similar para ambas variables.
- En el Poblado de Mollehuaca se ha estimado mediante cartografías los niveles de concentraciones de estos elementos en suelos superficiales que se localizan en las áreas periféricas del poblado de Mollehuaca impactados por la actividad minera a pequeña escala durante 30 años; los niveles máximos en estos sitios se encuentran en los intervalos 50 – 793.016 mg/kg de arsénico (As) y 6.6 – 202.856 mg/kg de mercurio (Hg). La zona con altos niveles de contaminación se sitúa alrededor del sondeo 14 con valores encontrados dentro el intervalo 644.4 -793.016 mg/kg de arsénico (As) y 163.6 – 202.856 mg/kg de mercurio (Hg).

## RECOMENDACIONES

La geoestadística como una herramienta capaz de localizar sitios contaminados y proporcionar un trabajo de investigación más específico del resto de los metales pesados que no han sido determinados en este estudio y que serían de suma importancia.

Se recomienda estimar el volumen de las concentraciones del área contaminada y la estimación de la descontaminación en los suelos, que no han sido determinados en este trabajo de investigación.

Se recomienda la combinación del uso de varias técnicas geoestadísticas de estimación en suelos contaminados como: Krigado de la indicatriz, Co-krigado, Simulaciones condicionales, etc.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Ambiente, M. del. (2015). *Evaluación de la Contaminación Ambiental causada por la Pequeña Minería y Minería Artesanal en la Zona Urbana del Distrito de Chala- Arequipa, Perú.*
- Ambiente, M. del. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental.*
- Artesanal, P. de la M. (n.d.). *Portal de la Minería Artesanal.*
- B, José Miguel Sánchez C, S. M. E. (1996). *Impacto Ambiental de la Pequeña Minería y Mediana Minería en Chile.* Development, 1–81.
- Boroumandi, M., Khomehchiyan, M., Y, M. R. N., & Mohsen, M. (2019). *Evaluation of soil pollution sources using multivariate analysis combined with geostatistical methods in Zanjan Basin, Iran.* GEOPERSIA, 1, 1–13.
- C., I. S., L., P. ferendez, S., H. R. &, & R., M. E. G. (2000). *La Geoestadística como Herramienta en Estudios de contaminación de suelos. Análisis de caso: Afectación por arsénico, Plomo y Cadmio contenidos en Jales Mineros,* 4(16), 205–214.
- Camara, A. H. (2015). *Aplicación de técnicas de análisis geoespacial para el estudio de suelos contaminados.* Escuela Politécnica de Mieres-Universidad de Oviedo.
- Carlson, C., Critto, A., Marcomini, A., & Nathanail, P. (2001). *Risk based characterisation of contaminated industrial site using multivariate and geostatistical tools.* Environmental Pollution, 111, 417–427.
- Cely, J., Siabato, W., Sánchez Ipiá, A., & Rangel, A. (2002). *Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental.* UD y La Geomática, 7 No.2, 31–38.
- Condori, J. S. (2017). *Recursos Para la Redacción y la Publicación Científica.*
- Cortés, J. L., Bautista, F., Delgado, C., Quintana, P., Aguilar, D., García, A., ... Gogichaishvili, A. (2016). *Spatial distribution of heavy metals in urban dust from Ensenada, Baja California, Mexico.* Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente, 23(1), 47–60.
- Díaz Viera, M. A. (2002). *Geoestadística aplicada.* Instituto de Geofísica , UNAM - Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA,Cuba.
- Dołęgowska, S. &, & Michalik, A. (2019). *The use of a geostatistical model supported by multivariate analysis to assess the spatial distribution of mercury*

- in soils from historical mining areas: Karczówka Mt., Miedzianka Mt., and Rudki (south-central Poland). Environmental Monitoring and Assessment, 191(5), 302/1-14.*
- Eppers, O. (2014). *Investigación de la contaminación ambiental en el municipio de Mollehuaca - Fase II.*
- Fernando, S.-F., Zarza, M.-G., Sánchez, A., Ávila, C., García, A., & Rojo, P. A. (2017). *Spatial distribution of heavy metals and the environmental quality of soil in the Northern Plateau of Spain by geostatistical methods. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(6), 1–20.*
- Goovaerts, P., Webster, R., & Dubois, J.-P. (1997). *Assesingthe risk of soil contamination in the Swiss Jura using indicator geostatistics, 4, 31–48.*
- Henao, R. G. (n.d.). *Introduccion a la Geoestadidtica Teoría y Aplicación.* Bogota.
- Imo, D., Dressel, H., Byber, K., Hitzke, C., Bopp, M., Maggi, M., ... Muff, S. (2018). *Predicted Mercury Soil Concentrations from a Kriging Approach for Improved Human Health Risk Assessment. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(7), 1–14.*
- Ingeoexpert/CRS. (2016a). *Geoestadistica aplicada a la contaminacion de suelo- Introduccion.*
- Ingeoexpert/CRS. (2016b). *Geoestadistica aplicada a la contaminacion de suelo- Tecnicas de interpolacion: El Krigeado.*
- Ingeoexpert/CRS. (2016c). *Geoestadistica aplicada a la contaminacion de suelo- Variograma y Modelizacion.*
- Juarez, F. J., Y, A. R. R. S., & Martinez, R. R. (2008). *Toxicologia-Ambiental.*
- Kabir, M. S., Salam, M. A., Paul, D. N. R., Hossain, M. I., Rahman, N. M. F., & Latif, M. A. (2017). *Geo-statistical models for determinining spatial variation and spatial dependency of soil arsenic in Bangladesh. Research Article, 45(2), 179–191.*
- Lopez, A. D. (2015). *Analisis Geoestadistico de los geogenicos de metales pesados en suelos de Austrias., 1–54.*
- Lv, J., Liu, Y., Zhang, Z., Dai, J., Dai, B., & Zhu, Y. (2014). *Identifying the origins and spatial distributions of heavy metals in soils of Ju country (Eastern China) using multivariate and geostatistical approach. Journal of Soils and Sediments,*

15(1), 163–178.

- Martinez, A., & Ramírez, J. (2005). *Desarrollo Actual de la Geoestadística en el Mundo*. Minería y Geología.
- McGrath, D., Zhang, C., & Carton, O. T. (2004). *Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland*. *Environmental Pollution*, 127(2), 239–248.
- Minera, N., & Guerra, H. H. (2017). *Curso de estimación de recursos minerales: Teoría de las variables regionalizadas y Análisis estructural*.
- Moral García, F. J. (2004). *Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales*. *Ecosistemas*, 13(1), 78–86.
- Olmo, M. C. (2005). *La geoestadística como herramienta de análisis espacial de datos de inventario forestal*. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 19, 47–55.
- Rodríguez, M., Jose, A., Carbonel Martin, G., & Manuel, G. C. J. (2010). *Sistemas de Información Geográfica como Herramienta para Evaluar la Aportación Antropica de Mercurio en Suelos*.
- Soldado, G., Olmo, C., Sánchez, R., Iguzquiza, P., & Galiano, R. (2003). *Análisis Espacial Geoestadístico para la Caracterización Edafológica De La Vega De Granada*, 195–206.
- Srivastava, H. I. & R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Supo, J. (2015). *Como Comenzar Una Tesis*. (Bioestadístico EIRL., Ed.).
- Supo, J. (2017). *Portafolio de Aprendizaje para la Docencia en Investigación Científica*. (Bioestadístico EIRL, Ed.) (Mayo, 2017).
- Trinidad, S. Ma. (2013). *Comportamiento del Mercurio Total en los Sistemas Terrestres del distrito minero de San Joaquin, QRO. Aplicación Geoestadística y de Regresión con Árboles de Decisión*.

**ANEXOS  
ANEXOS 1.**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**TÍTULO: “GEOESTADISTICA APLICADA A LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR ARSÉNICO (AS) Y MERCURIO (HG) EN EL POBLADO DE MOLLEHUACA - AREQUIPA”**

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>MARCO TEORICO</b>	<b>HIPTESIS Y VARIABLES</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>Problema</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Antecedentes de la Investigación</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Tipo de investigación:</b> Retrospectivo- Descriptivo y Analítico.
¿Cuál será el nivel de contaminación del suelo afectado por arsénico (As) y mercurio (Hg) originado por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca - Arequipa, con la aplicación geoestadística?	Predecir el nivel de contaminación del suelo afectado por arsénico(As) y mercurio (Hg) en el poblado de Mollehuaca - Arequipa mediante la aplicación geoestadística.	Reseña Histórica del Área de Estudio.  Reseña Histórica de la Geoestadística Aplicada a la Contaminación de Suelos. Bases Teóricas:	Mediante la aplicación de la geostatística permitirá predecir los niveles de contaminación del suelo por arsénico (As) y mercurio (Hg) en sitios no muestreados en el poblado de Mollehuaca - Arequipa, y se encuentran con niveles altos de contaminación que superan los ECA para suelo.	<b>Nivel de investigación:</b> Descriptivo - Predictivo
<b>Problema específico</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	La geoestadística aplicada a la contaminación de suelos:	<b>Hipótesis Específicas.</b>	<b>Método de investigación:</b> Como método general Científico. Y en lo específico el Observacional - Retrospectivo - Transversal - Analítico, entre otros.
Ø ¿Cuál será la tendencia espacial de los sitios contaminados afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg), generados por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca - Arequipa?	Ø Analizar la tendencia espacial de los sitios contaminados afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg), generados por la actividad minera a pequeña escala en el poblado de Mollehuaca - Arequipa.	o Análisis exploratorio de los datos.	Ø La tendencia espacial de los sitios contaminados por arsénico(As) y mercurio (Hg) permitirá representar mediante cartografías la distribución de los niveles de contaminación del Poblado de Mollehuaca.	<b>Diseño de investigación:</b> Cuantitativo - Observacional - Transversal - Retrospectivo y Analítico.
Ø ¿Cuál será la Construcción del varíograma experimental y teórico para los suelos contaminados afectados por arsénico(As) y mercurio (Hg)	Ø Realizar la Construcción del varíograma experimental y teórico para los suelos contaminados afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg).	o Análisis estructural Estudio de la continuidad espacial de la variable.	Ø El varíograma experimental, nos permitirá ajustar una curva teórica que reproducirá la variabilidad espacial del nivel de contaminación en todo punto del espacio por arsénico(As) y mercurio (Hg) en los suelos afectados por la actividad minera a pequeña escala del Poblado de Mollehuaca.	<b>Población y Muestra:</b> En el presente trabajo de investigación; la población de estudio representa el poblado de Mollehuaca, donde se ha estudiado los resultados de laboratorio del muestreo de suelos del año 2014; Publicados por la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa - ARMA, que se encuentra ubicado en el distrito de Huamahuani, provincia de Caraveli y región de Arequipa. Es aquí donde se ha estimado los niveles de contaminación en suelos afectados por arsénico y mercurio, y que están ubicadas en la periferia del poblado de Mollehuaca que simboliza el 100% de la población.
Ø ¿Cuál será los niveles de contaminación afectados por arsénico (As) y mercurio (Hg) en los suelos mediante la técnica del Krigeado Ordinario?	Ø Estimar los niveles de contaminación afectados por arsénico(As) y mercurio (Hg) en los suelos mediante la técnica del Krigeado Ordinario.	o Predicciones.	La técnica del Krigeado Ordinario permitirá estimar los niveles de arsénico (As) y mercurio (Hg) en los suelos afectados por la actividad minera a pequeña escala en zonas no muestreadas del Poblado de Mollehuaca.  <b>Variables:</b> Ø V.I. Contaminación de suelos por arsénico(As) y mercurio (Hg) Ø V.D. Aplicación geoestadística.	La muestra es el total de los sondeos analizados para suelo por laboratorio del año 2014, las cuales son 58 sondeos de suelos superficiales.

**ANEXOS 2**  
**INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS.**  
**Datos Publicados por ARMA (Resultados de Laboratorio)**



**Laboratorios Analíticos del Sur**

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
 Arequipa Perú / Apartado 2102

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

**INFORME DE ENSAYO LAS-14-01630**

Pág: 1/8

**Hoja de datos**

Señores: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANU HUANU  
 Dirección: PZA. TOCOTA NRO. S/N AREQUIPA - CARAVELI - HUANUHUANU  
 Atención: Oswald Eppers  
 Proyecto: INVESTIGACION AMBIENTAL MOLLEHUACA

Producto(s) Declarado(s): Suelos y Sedimentos  
 Nro de muestras: 53  
 Muestreo a cargo de(l): Oswald Eppers  
 Registro de muestreo: No003-14  
 Fecha de recepción: 13/02/2014  
 Fecha de ensayo: 13/02/2014  
 Fecha de emisión: 11/04/2014  
 Condiciones de recepción de la muestra:  
 Observaciones : ----

**Metodo de ensayo aplicado**

- \*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.
- \*7056 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.
- \*7027 Método para determinar las características de toxicidad por Lixiviación TECT TCLP ( Method 1311) - Mercurio
- \*7028 Método para determinar las características de toxicidad por Lixiviación TECT TCLP ( Method 1311)

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Tipo de muestra
SD140000003	I - 1	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0601499 - E:8271827	10/02/14	Limo Arenoso
SD140000004	I - 2	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0601979 - E:8271905	10/02/14	Plantación de Maíz
SD140000005	I - 3	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0602792 - E:8272000	10/02/14	Arcilla limoso
SD140000007	I - 4	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0602792 - E:8272000	10/02/14	0,3 - 0,5 m
SD140000008	I - 5	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603065 - E:8272102	10/02/14	Campo de cultivo, arcilla limoso
SD140000009	I - 6	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603064 - E:8272050	10/02/14	Sedimento de río
SD140000010	I - 7	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603352 - E:8272165	10/02/14	Área I, zona quimbaletes limo.
SD140000011	I - 8	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603415 - E:8272158	10/02/14	Limo arenoso
SD140000012	I - 9	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603452 - E:8272187	10/02/14	0,3 - 0,5 m
SD140000013	I - 10	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603443 - E:8272183	10/02/14	Limo arenoso
SD140000014	I - 11	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603474 - E:8272197	10/02/14	Limo arenoso
SD140000015	I - 12	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603481 - E:8272185	10/02/14	Limo arenoso
SD140000016	I - 13	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603481 - E:8272185	10/02/14	Limo arenoso
SD140000017	I - 14	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603533 - E:8272185	10/02/14	Zona reforestada
SD140000018	I - 15	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603564 - E:8272781	10/02/14	Cancha de fútbol
SD140000019	I - 16	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603632 - E:8272218	10/02/14	Limo arenoso
SD140000020	I - 17	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603632 - E:8272218	10/02/14	0,3 - 0,5 m
SD140000022	I - 18	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603698 - E:8272266	10/02/14	Limo arenoso
SD140000023	I - 19	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603727 - E:8272264	10/02/14	Plantación frutales
SD140000024	I - 20	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603746 - E:8272263	10/02/14	Sedimento del río
SD140000025	I - 21	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603782 - E:8272277	10/02/14	Área quimbaletes
SD140000026	I - 22	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603782 - E:8272277	10/02/14	0,2 - 0,5 m

\*"Valor numérico" = Límite de detección del método, \*"Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier emienda en el contenido del presente documento lo anula.

**Sixto Vicente Juárez Neira**  
 Gerente General  
 Ing. Químico CIP 19474



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-14-01630

Pág: 2/8

### Hoja de datos

Señores: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANU HUANU  
Dirección: PZA TOCOTA NRO. SIN AREQUIPA - CARAVELI - HUANUHUANU  
Atención: Oswald Eppers  
Proyecto: INVESTIGACION AMBIENTAL MOLLEHUACA

Producto(s) Declarado(s): Suelos y Sedimentos  
Nro de muestras: 53  
Muestreo a cargo de(l): Oswald Eppers  
Registro de muestreo: No003-14  
Fecha de recepción: 13/02/2014  
Fecha de ensayo: 13/02/2014  
Fecha de emisión: 11/04/2014  
Condiciones de recepción de la muestra:  
Observaciones: ----

### Metodo de ensayo aplicado

\*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.  
\*7056 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.  
\*7027 Método para determinar las características de toxicidad por Lixiviación TECT TCLP ( Method 1311) - Mercurio  
\*7028 Método para determinar las características de toxicidad por Lixiviación TECT TCLP ( Method 1311)

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Tipo de muestra
SD140000027	I - 23	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603807 - E:8272288	11/02/14	Area de quimbaletes parque
SD140000028	I - 24	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603850 - E:8272289	11/02/14	Jardin con arboles
SD140000029	I - 25	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603850 - E:8272289	11/02/14	30 - 50 cm
SD140000030	I - 26	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603910 - E:8272345	11/02/14	Zona verde (ex quimbaleta)
SD140000031	I - 27	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603943 - E:8272352	11/02/14	Zona verde (ex quimbaleta)
SD140000032	I - 28	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603943 - E:8272352	11/02/14	Zona verde (ex quimbaleta)
SD140000033	I - 29	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603959 - E:8272353	11/02/14	Zona verde (ex quimbaleta)
SD140000034	I - 30	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0603979 - E:8272366	11/02/14	Zona verde (ex quimbaleta)
SD140000035	I - 31	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604016 - E:8272370	11/02/14	Dentro del rio, sedimento chispa
SD140000037	I - 32	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604018 - E:8272369	11/02/14	Zona verde
SD140000038	I - 33	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604018 - E:8272369	11/02/14	20 - 50 cm
SD140000039	I - 34	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604046 - E:8272369	11/02/14	Zona verde
SD140000040	I - 35	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604114 - E:8272387	11/02/14	Quimbaleta
SD140000041	I - 36	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604629 - E:8272562	11/02/14	Quimbaleta
SD140000042	I - 37	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604667 - E:8272571	11/02/14	Area quimbalete, parece relave
SD140000043	I - 38	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:0604667 - E:8272571	11/02/14	20 - 50 cm

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. El presente documento o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Sr. Vicente Juárez-Negra  
Gerente General  
LAS S.A. C.P. 1577



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-14-01745

Pág: 1/3

### Hoja de datos

Señores: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANU HUANU  
Dirección: PZA. TOCOTA NRO. S/N AREQUIPA - CARAVELI - HUANUHUANU  
Atención: Oswald Eppers  
Proyecto: INVESTIGACION AMBIENTAL MOLLEHUACA

Producto(s) Declarado(s): Suelos y Sedimentos  
Nro de muestras: 17  
Muestreo a cargo de(l): Oswald Eppers  
Registro de muestreo: No003-14  
Fecha de recepción: 13/02/2014  
Fecha de ensayo: 13/02/2014  
Fecha de emisión: 19/04/2014  
Condiciones de recepción de la muestra:  
Observaciones : -----

### Metodo de ensayo aplicado

\*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Tipo de muestra
SD14000060	M - 54	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272130 - E:0603493	11/02/14	Polvo techo casa.Mz.B-L1.2
SD14000061	M - 55	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272158 - E:0603613	11/02/14	Suelo arena arcilloso(MZ.3B.LL.3)al costado del biliar
SD14000062	M - 56	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272093 - E:0603743	11/02/14	Loza deportiva
SD14000063	M - 57	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272025 - E:0603751	11/02/14	Polvo, techo casa verde frente al colegio primario
SD14000064	M - 58	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272216 - E:0603723	11/02/14	Interseccion de calles
SD14000065	M - 59	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272061 - E:0603855	11/02/14	Suelo arcilloso, fin de casa
SD14000067	M - 60	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272395 - E:0603923	11/02/14	Plaza principal
SD14000068	M - 61	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272265 - E:0604060	11/02/14	Izquierda de la casa de Cesar Cornejo
SD14000069	M - 62	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272197 - E:0604024	11/02/14	Entre cancha y parque
SD14000070	M - 63	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272106 - E:0603877	11/02/14	Punto extremo sur al otro lado cantera
SD14000071	M - 64	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272354 - E:0604080	11/02/14	Camino
SD14000072	M - 65	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272340 - E:0604190	11/02/14	Frente al reservorio-casa verde/Mz. A LL5
SD14000073	M - 66	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272346 - E:0604240	11/02/14	Tienda de la Sra.Tustina, casa amarilla
SD14000074	M - 67	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272348 - E:0604270	11/02/14	Estadio
SD14000075	M - 68	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272267 - E:0604317	11/02/14	Tienda casa amarilla
SD14000076	M - 69	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272282 - E:0604421	11/02/14	Casa de eucalipto
SD14000077	M - 70	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N:8272603 - E:0604592	11/02/14	Casa pre fabricada de Sr. Guido Huamani

\*"Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier uso no autorizado del contenido del presente documento lo anula.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
SIXTO VICENTE JUÁREZ NEIRA  
Gerente General



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-14-01630

Pág: 3/8

### Hoja de datos

Señores: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANU HUANU  
Dirección: PZA TOCOTA NRO. S/N AREQUIPA - CARAVELI - HUANUHUANU  
Atención: Oswald Eppers  
Proyecto: INVESTIGACION AMBIENTAL MOLLEHUACA

Producto(s) Declarado(s): Suelos y Sedimentos  
Nro de muestras: 53  
Muestreo a cargo de(l): Oswald Eppers  
Registro de muestreo: No003-14  
Fecha de recepción: 13/02/2014  
Fecha de ensayo: 13/02/2014  
Fecha de emisión: 11/04/2014  
Condiciones de recepción de la muestra:  
Observaciones : -----

### Método de ensayo aplicado

\*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.  
\*7056 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.  
\*7027 Método para determinar las características de toxicidad por Lixiviación TECT TCLP ( Method 1311) - Mercurio  
\*7028 Método para determinar las características de toxicidad por Lixiviación TECT TCLP ( Method 1311)

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Tipo de muestra
SD14000044	I - 39	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.0604672 - E.8272596	11/02/14	Area quimbatale, parece relave
SD14000045	I - 40	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.0604678 - E.8272636	11/02/14	Sedimento rio, limo puro
SD14000046	I - 41	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.0605785 - E.8273218	11/02/14	7a.m. encima del lecho del rio
SD14000047	I - 42	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	---	11/02/14	Duplicado
SD14000048	I - 43	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	---	11/02/14	Duplicado
SD14000049	I - 44	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	---	11/02/14	Duplicado
SD14000050	M - 45	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272058 - E.6003200	11/02/14	Ebert Soncco Mz J Lt.7
SD14000052	M - 46	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272110 - E.0603229	11/02/14	Mz.B Franklin Cutipa Luke
SD14000053	M - 47	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272098 - E.0603303	11/02/14	Casa Verde
SD14000054	M - 48	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272073 - E.0603258	11/02/14	Esquina de un cerco (suelo arcilloso)
SD14000055	M - 49	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8271999 - E.0603286	11/02/14	Casa suelo arcilloso extremo poblado costado de
SD14000056	M - 50	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272051 - E.0603485	11/02/14	Colegio "Carlos Noriega Menez", secundaria
SD14000057	M - 51	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272110 - E.0603546	11/02/14	Suelo frente a casa
SD14000058	M - 52	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272116 - E.0603667	11/02/14	Colegio primario-inicial
SD14000059	M - 53	Mollehuaca/Caraveli/Arequipa	N.8272036 - E.0603581	11/02/14	Cancha de fútbol/entre colegio 1 y 2 /suelo arenoso

\*<Valor numérico = Límite de detección del método, \*<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de gestión o bien certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

*Oswald Eppers*  
Gerente General  
LAS



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-14-01630

Hoja de resultados

11/04/2014

Pág.: 4/8

MT=metales totales

Código Interno	Nombre de Muestra	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	MT	MT
#		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD14000003	I-1 Limo Arenoso	<0,24	5 381	14,3	8,45	64,9	0,1638	3 315	0,578	5,649	3,03	19,2	7 740	1,24	1 404	3,04	2 840		
SD14000004	I-2 Plantacion de Maiz	<0,24	8 227	21,1	15,8	109	0,1768	9 283	0,877	6,528	7,66	21,1	13 000	0,351	4 986	9,58	5 306		
SD14000005	I-3 Arcilla limoso	<0,24	9 098	26,2	14,8	123	0,2016	10 420	1,02	7,176	8,55	21,5	14 300	0,798	5 413	10,8	6 201		
SD14000007	I-4 0,3 - 0,5 m	<0,24	9 608	23,5	14,7	118	0,2042	11 350	0,969	7,086	10,4	18,1	14 200	0,836	5 265	10,3	6 341		
SD14000008	I-5 Campo de cultivo, arcilla limoso	<0,24	9 829	31,2	14,7	125	0,2175	12 880	1,04	7,168	10,7	23,1	14 900	1,38	5 419	10,1	6 620		
SD14000009	I-6 Sedimento de río	<0,24	8 259	44,3	13,2	120	0,2263	7 205	1,06	8,142	6,09	32,6	15 100	1,37	3 813	10,0	5 411		
SD14000010	I-7 Area I, zona quimbaletes limo, arcilla arena	<0,24	5 229	40,1	8,97	74,9	0,1246	4 293	0,802	5,294	4,11	62,2	10 200	6,34	2 594	6,78	3 447		
SD14000011	I-8 Limo arenoso	2,7	6 524	529	13,8	76,5	0,1553	7 882	2,10	7,246	4,52	23,1	12 700	21,9	3 248	8,61	4 366		
SD14000012	I-9 0,3 - 0,5 m	<0,24	3 377	20,4	7,09	54,0	0,1025	3 279	0,569	3,450	2,38	18,3	6 220	1,38	1 821	4,25	2 071		
SD14000013	I-10 Limo arenoso	0,74	3 200	25,3	8,54	62,1	0,1027	6 154	0,649	3,642	1,99	42,7	5 340	3,87	2 773	4,35	2 440		
SD14000014	I-11 Limo arenoso	0,59	3 419	19,9	7,42	59,2	0,0988	7 922	0,513	3,133	2,62	18,6	5 780	0,873	1 840	4,32	2 076		
SD14000015	I-12 Limo arenoso	9,2	3 698	153	14,1	68,5	0,1246	7 638	6,59	6,900	3,62	16,1	14 900	84,0	2 361	6,96	2 951		
SD14000016	I-13 Limo arenoso	0,92	3 963	31,4	7,58	68,8	0,1264	3 782	1,72	4,446	2,34	47,1	7 470	11,5	2 097	4,99	2 257		
SD14000017	I-14 Zona reforestada	14	2 854	808	19,1	43,3	0,0928	16 240	13,3	7,493	2,74	42,2	15 400	20,7	2 644	3,41	1 785		
SD14000018	I-15 Cancha de futbol	1,9	4 338	106	6,59	90,7	0,1149	9 060	1,58	3,430	4,34	58,1	5 880	12,4	2 749	4,10	2 161		
SD14000019	I-16 Limo arenoso	1,7	3 502	116	7,02	66,1	0,1264	6 047	3,59	6,048	3,47	90,3	7 200	23,5	1 797	4,51	1 997		
SD14000020	I-17 0,3 - 0,5 m	0,91	3 536	129	7,08	64,9	0,1361	4 254	2,41	5,913	2,53	128	9 720	35,1	2 693	3,96	1 997		
SD14000022	I-18 Limo arenoso	7,1	3 261	579	11,7	54,4	0,1138	11 280	3,57	7,896	2,36	30,6	7 300	60,8	1 698	3,83	1 846		
SD14000023	I-19 Plantacion frutales	0,84	3 674	28,5	6,62	66,1	0,1315	4 443	0,669	4,292	2,26	38,1	5 950	6,05	1 940	4,62	2 145		
SD14000024	I-20 Sedimento del río	<0,24	2 466	9,30	4,34	33,2	0,0545	2 314	0,292	2,340	1,91	11,6	3 910	1,57	1 086	2,93	1 395		
SD14000025	I-21 Area quimbalete	3,7	3 730	230	11,0	62,1	0,1176	7 420	3,44	5,698	2,65	14,5	7 800	70,9	1 960	4,53	2 154		
SD14000026	I-22 0,2 - 0,5 m	5,9	3 845	376	10,3	56,9	0,1223	8 953	4,11	10,88	3,56	40,1	9 540	77,9	1 968	4,76	2 204		
SD14000027	I-23 Area de quimbaletes parque	8,7	3 667	193	7,90	64,6	0,1229	8 317	3,67	5,088	2,48	14,2	6 590	11,3	1 852	4,33	1 991		
SD14000028	I-24 Jardin con arboles	0,40	3 871	35,4	10,8	76,5	0,1307	11 780	0,780	4,218	2,69	28,2	5 260	4,62	3 260	3,34	2 615		
SD14000029	I-25 30 - 50 cm	<0,24	4 018	37,4	10,7	70,9	0,1310	8 499	0,803	4,077	2,95	25,7	5 820	6,60	2 508	4,18	2 355		
SD14000030	I-26 Zona verde (ex quimbalete)	5,6	3 675	87,5	10,7	63,4	0,1325	5 947	10,4	4,657	2,10	16,0	7 680	67,2	1 902	4,26	2 170		
SD14000031	I-27 Zona verde (ex quimbalete)	6,3	3 842	334	10,8	63,8	0,1241	6 933	3,06	5,804	2,45	16,5	7 270	43,5	1 878	4,12	2 287		
SD14000032	I-28 Zona verde (ex quimbalete)	18	3 208	600	10,9	46,7	0,0970	12 090	10,5	11,88	3,27	63,9	9 880	40,9	1 738	3,25	1 730		
SD14000033	I-29 Zona verde (ex quimbalete)	15	3 167	475	8,16	50,7	0,1045	7 966	9,22	6,611	2,18	29,7	8 190	13,0	1 702	4,19	1 862		

*Seamle*

Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Naira  
Gerente General  
Ing. Químico CIP 15474

“<Valor numérico” = Límite de detección del método, “<Valor Numérico” = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-14-01630

Hoja de resultados

11/04/2014

Pág: 5/8

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003
		Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Ti	V	Zn	
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT								
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg								
SD14000003	1 - 1 Limo Arenoso	291,5	0,048	82,0	2,03	644,7	19,7	0,661	≤0,20	≤0,085	19,2	232	≤0,13	24,7	27,8	
SD14000004	1 - 2 Plantacion de Maiz	345,0	0,243	579	2,17	721,4	15,0	1,12	≤0,20	≤0,085	42,6	482	≤0,13	35,5	32,8	
SD14000005	1 - 3 Arcilla limoso	407,0	0,230	291	2,32	837,5	18,1	1,27	≤0,20	1,90	50,3	557	≤0,13	39,3	37,3	
SD14000007	1 - 4 0,3 - 0,5 m	381,9	0,258	321	2,55	702,5	13,0	1,35	≤0,20	≤0,085	47,7	537	≤0,13	39,0	35,5	
SD14000008	1 - 5 Campo de cultivo, arcilla limoso	387,3	0,200	301	2,41	727,2	15,4	1,94	≤0,20	≤0,085	57,8	554	≤0,13	41,5	37,0	
SD14000009	1 - 6 Sedimento de rio	472,3	0,440	394	3,01	695,6	23,8	1,34	≤0,20	≤0,085	39,8	448	≤0,13	39,8	42,8	
SD14000010	1 - 7 Area I, zona quimbaletes limo, arcilla arena	262,7	0,188	460	2,21	590,8	33,1	1,28	≤0,20	≤0,085	24,2	361	≤0,13	25,8	29,2	
SD14000011	1 - 8 Limo arenoso	320,1	0,475	486	2,44	781,2	34,4	1,22	≤0,20	≤0,085	32,2	432	≤0,13	30,4	58,4	
SD14000012	1 - 9 0,3 - 0,5 m	192,0	0,431	835	1,34	617,3	27,3	1,20	≤0,20	≤0,085	18,1	200	≤0,13	17,1	22,9	
SD14000013	1 - 10 Limo arenoso	198,0	0,234	4 290	1,38	900,3	32,5	0,656	≤0,20	≤0,085	32,6	192	≤0,13	16,1	27,2	
SD14000014	1 - 11 Limo arenoso	181,0	0,145	592	1,19	695,0	20,6	0,582	≤0,20	0,115	22,6	206	≤0,13	16,5	20,0	
SD14000015	1 - 12 Limo arenoso	285,0	1,99	4 000	1,69	1 475	1 330	6,44	≤0,20	≤0,085	35,5	387	≤0,13	19,3	211	
SD14000016	1 - 13 Limo arenoso	241,0	0,606	876	1,88	689,1	206	1,71	≤0,20	≤0,085	20,4	220	≤0,13	19,1	48,9	
SD14000017	1 - 14 Zona reforestada	256,6	3,27	3 330	1,96	733,5	1 890	13,7	≤0,20	0,292	37,4	146	≤0,13	46,5	368	
SD14000018	1 - 15 Cancha de futbol	222,8	0,244	1 100	1,13	642,2	123	0,988	≤0,20	≤0,085	33,8	198	≤0,13	18,3	79,8	
SD14000019	1 - 16 Limo arenoso	255,4	0,382	610	1,74	597,6	202	1,94	≤0,20	≤0,085	25,7	181	≤0,13	20,4	103	
SD14000020	1 - 17 0,3 - 0,5 m	244,2	0,267	572	1,84	533,4	115	1,34	≤0,20	≤0,085	22,4	181	≤0,13	37,5	59,7	
SD14000022	1 - 18 Limo arenoso	249,8	1,29	969	1,62	527,2	470	3,39	≤0,20	≤0,085	32,6	160	≤0,13	20,6	99,1	
SD14000023	1 - 19 Plantacion frutales	261,3	0,183	967	1,28	668,6	32,6	2,51	≤0,20	≤0,085	23,1	201	≤0,13	18,1	25,6	
SD14000024	1 - 20 Sedimento del rio	120,2	0,050	88,4	1,28	445,6	9,52	0,779	≤0,20	≤0,085	10,9	163	≤0,13	12,0	21,6	
SD14000025	1 - 21 Area quimbaete	283,1	0,637	686	1,69	627,4	306	2,60	≤0,20	≤0,085	26,9	215	≤0,13	21,9	95,3	
SD14000026	1 - 22 0,2 - 0,5 m	286,7	0,742	493	2,39	485,6	349	7,08	≤0,20	≤0,085	25,8	226	≤0,13	31,6	115	
SD14000027	1 - 23 Area de quimbaetes parque	245,7	0,943	645	1,57	584,9	296	2,63	≤0,20	≤0,085	26,6	198	≤0,13	20,8	103	
SD14000028	1 - 24 Jardin con arboles	259,0	0,226	3 520	1,43	803,3	41,3	0,750	≤0,20	0,452	42,2	168	≤0,13	18,1	69,1	
SD14000029	1 - 25 30 - 50 cm	227,0	0,210	1 790	1,43	767,4	50,3	0,556	≤0,20	≤0,085	30,8	188	≤0,13	19,4	37,9	
SD14000030	1 - 26 Zona verde (ex quimbaete)	237,1	0,248	2 310	1,64	697,6	828	3,05	≤0,20	≤0,085	26,1	190	≤0,13	18,0	298	
SD14000031	1 - 27 Zona verde (ex quimbaete)	259,1	1,27	1 110	2,01	608,0	410	2,90	≤0,20	≤0,085	31,1	206	≤0,13	23,8	79,7	
SD14000032	1 - 28 Zona verde (ex quimbaete)	350,4	2,17	497	1,83	419,1	1 680	8,32	≤0,20	≤0,085	31,4	172	≤0,13	31,9	328	
SD14000033	1 - 29 Zona verde (ex quimbaete)	233,6	1,30	718	1,78	495,2	714	6,02	≤0,20	2,80	34,1	180	≤0,13	21,6	211	

Laboratorios Analíticos del Sur S.A.S.  
Sixto Vicente Juárez Nela  
Carrera 6 General  
Incl. Química CIP 18474

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-14-01630

Hoja de resultados

11/04/2014

Pág.: 6/8

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003
		Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD14000034	I - 30 Zona verde (ex quimbalate)	<0,24	3 844	12,0	5,15	64,3	0,1308	3 412	0,481	4,020	1,99	16,7	5 630	2,18	1 786	4,74	2 123	
SD14000035	I - 31 Dentro del río, sedimento chispa	<0,24	2 755	14,7	7,14	43,0	0,0745	2 973	0,315	2,920	1,63	14,3	4 150	0,503	1 109	4,40	2 030	
SD14000037	I - 32 Zona verde	<0,24	6 701	99,4	14,9	85,0	0,1582	4 842	1,41	7,345	4,19	64,2	11 200	12,9	3 358	8,72	4 293	
SD14000038	I - 33 20 - 50 cm	<0,24	5 440	21,9	10,3	75,9	0,1415	3 758	0,720	5,500	3,27	26,0	8 560	2,74	2 626	6,99	3 305	
SD14000039	I - 34 Zona verde	<0,24	5 690	56,2	9,47	78,4	0,1476	3 897	0,851	5,628	3,32	21,5	8 890	4,46	2 816	7,18	3 539	
SD14000040	I - 35 Quimbalate	2,6	3 621	1 840	11,3	54,0	0,1116	10 710	3,32	6,051	2,68	491	7 930	36,9	2 393	4,15	2 601	
SD14000041	I - 36 Quimbalate	18	3 270	1 410	11,2	50,5	0,1117	10 710	8,44	6,743	1,90	213	8 070	190	1 851	3,44	1 956	
SD14000042	I - 37 Area quimbalate, parece relave	13	4 125	861	12,1	61,4	0,1107	13 490	6,76	4,859	4,06	143	8 020	408	2 587	4,76	2 344	
SD14000043	I - 38 20 - 50 cm	8,3	5 584	635	13,3	68,0	0,1398	11 050	4,61	5,541	4,25	156	10 200	96,7	3 126	6,96	3 356	
SD14000044	I - 39 Area quimbalate, parece relave	10	5 111	617	15,1	59,0	0,1038	14 420	6,33	6,189	5,05	206	9 750	38,2	3 537	5,74	3 536	
SD14000045	I - 40 Sedimento río, limo puro	<0,24	10 850	10,3	19,6	171	0,3526	11 400	1,14	17,99	10,4	67,6	15 700	0,129	2 942	5,94	6 309	
SD14000046	I - 41 7a.m. encima del lecho del río	<0,24	8 124	6,78	16,7	90,8	0,1613	13 920	0,703	6,808	3,65	27,8	10 000	<0,041	4 112	6,45	5 278	
SD14000047	I - 42 Duplicado	2,9	6 293	502	13,1	72,5	0,1467	8 307	1,98	7,238	4,29	240	12 000	21,6	3 225	8,21	4 145	
SD14000048	I - 43 Duplicado	0,91	3 295	126	7,61	64,0	0,1475	4 490	2,40	6,227	2,44	124	9 170	37,0	2 606	3,67	3 170	
SD14000049	I - 44 Duplicado	9,1	3 675	150	14,6	70,9	0,1350	7 719	9,11	7,101	3,62	159	14 200	88,7	2 249	7,45	3 160	
SD14000050	M - 45 Ebert Soncco Mz. J Lt.7	<0,24	5 760	26,9	11,7	90,1	0,1418	9 911	0,601	4,304	5,34	16,8	6 820	1,55	4 075	4,54	3 397	
SD14000052	M - 46 Mz B Franklin Cutipa Luke	3,3	7 884	365	15,1	124	0,1943	13 980	2,70	9,199	6,14	203	10 700	4,14	3 700	5,95	6 071	
SD14000053	M - 47 Casa Verde	<0,24	5 135	51,8	11,2	78,7	0,1399	10 480	0,883	6,654	3,35	45,3	6 960	3,30	2 942	3,53	3 310	
SD14000054	M - 48 Esquina de un cerco (suelo arcilloso)	<0,24	4 440	9,72	21,2	51,5	0,1306	19 610	0,641	4,208	1,58	24,7	5 270	0,372	3 454	2,85	4 940	
SD14000055	M - 49 Casa suelo arcilloso extremo poblado costado de	<0,24	5 010	10,2	13,2	51,5	0,1684	4 117	0,444	6,053	0,661	27,9	6 220	<0,041	2 706	1,53	2 912	
SD14000056	M - 50 Colegio "Carlos Noriega Menez", secundaria	<0,24	7 071	16,1	16,1	58,2	0,1605	11 410	0,696	6,308	2,88	30,5	9 200	0,131	3 870	4,30	5 204	
SD14000057	M - 51 Suelo frente a casa	<0,24	7 162	80,0	20,4	85,3	0,1521	21 450	1,03	7,340	2,34	47,2	10 800	1,36	4 585	4,15	6 561	
SD14000058	M - 52 Colegio primario-inicial	<0,24	6 125	30,9	11,5	66,4	0,1276	12 010	0,649	5,995	2,08	38,4	9 030	<0,041	3 177	2,82	3 861	
SD14000059	M - 53 Cancha de fútbol (entre colegio 1 y 2) suelo arenoso	<0,24	3 973	11,7	16,5	52,0	0,1120	11 190	0,418	5,117	1,04	28,8	4 580	1,44	2 700	3,50	3 280	

Laboratorios Analíticos del Sur S.A.S.  
Sr. Vicente Juárez Meliá  
Calle 10 Caballero  
3000 Quilmes, CP 18474

<sup>m</sup><Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>n</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-14-01630

Hoja de resultados

11/04/2014

Pág.: 7/8

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003
		Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Ti	V	Zn	
		MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD14000034	I - 30 Zona verde (ex quimbalete)	259,4	0,132	199	1,25	615,6	16,5	0,452	<<0,20	<<0,085	19,9	203	<<0,13	17,5	18,9	
SD14000035	I - 31 Dentro del río sedimento chispa	145,4	0,080	109	1,01	503,6	8,78	1,06	<<0,20	<<0,085	15,7	229	<<0,13	14,8	13,6	
SD14000037	I - 32 Zona verde	340,3	0,430	453	2,34	615,8	96,4	1,76	<<0,20	<<0,085	28,2	456	<<0,13	29,2	44,9	
SD14000038	I - 33 20 - 50 cm	292,2	0,157	214	1,93	566,1	29,8	0,567	<<0,20	<<0,085	23,6	344	<<0,13	23,3	27,9	
SD14000039	I - 34 Zona verde	307,9	0,196	287	1,90	602,4	55,4	0,779	<<0,20	<<0,085	25,6	360	<<0,13	24,8	29,4	
SD14000040	I - 35 Quimbalete	229,7	0,653	2440	1,51	559,3	214	2,16	<<0,20	<<0,085	54,0	190	<<0,13	43,2	58,5	
SD14000041	I - 36 Quimbalete	274,5	0,689	544	1,87	567,4	752	3,81	<<0,20	<<0,085	33,3	143	<<0,13	18,4	130	
SD14000042	I - 37 Area quimbalete, parece relave	216,6	0,845	831	1,60	633,6	637	4,24	<<0,20	<<0,085	38,5	236	<<0,13	17,7	112	
SD14000043	I - 38 20 - 50 cm	284,7	0,903	659	1,98	609,5	462	2,91	<<0,20	<<0,085	35,1	339	<<0,13	23,4	89,4	
SD14000044	I - 39 Area quimbalete, parece relave	215,2	0,896	1830	2,13	612,3	777	2,87	<<0,20	<<0,085	38,5	348	<<0,13	22,0	143	
SD14000045	I - 40 Sedimento río, limo puro	762,0	<<0,038	230	8,80	682,9	17,3	1,27	<<0,20	<<0,085	85,0	333	0,23	54,6	42,9	
SD14000046	I - 41 7a m. encima del lecho del río	337,5	0,143	393	2,13	1271	10,9	0,530	<<0,20	<<0,085	52,2	391	<<0,13	30,8	27,9	
SD14000047	I - 42 Duplicado	319,9	0,495	466	2,32	754,3	357	1,18	<<0,20	<<0,085	30,6	412	<<0,13	28,6	56,2	
SD14000048	I - 43 Duplicado	281,1	0,236	606	1,85	516,5	118	1,38	<<0,20	<<0,085	26,2	182	<<0,13	38,3	62,3	
SD14000049	I - 44 Duplicado	291,8	1,95	3930	1,53	1389	1440	6,46	<<0,20	<<0,085	34,6	394	<<0,13	19,3	223	
SD14000050	M - 45 Ebert Soncco Mz. J Lt.7	254,8	0,167	1060	1,42	853,5	41,7	0,525	<<0,20	<<0,085	39,8	307	<<0,13	21,9	39,8	
SD14000052	M - 46 Mz. B Franklin Cutipa Luke	423,5	1,29	551	3,22	1573	428	0,952	<<0,20	0,508	47,9	348	<<0,13	32,9	>1000	
SD14000053	M - 47 Casa Verde	293,5	0,378	2090	1,62	870,7	69,5	0,474	<<0,20	<<0,085	40,8	265	<<0,13	21,5	55,9	
SD14000054	M - 48 Esquina de un cerco (suelo arcilloso)	347,2	0,267	721	1,52	1588	8,99	1,03	<<0,20	<<0,085	76,5	197	0,44	14,3	23,2	
SD14000055	M - 49 Casa suelo arcilloso extremo poblado costado de	472,4	0,197	462	1,09	590,9	7,66	0,462	<<0,20	<<0,085	19,0	180	1,1	20,2	12,5	
SD14000056	M - 50 Colegio "Carlos Noniega Menez", secundaria	343,6	0,594	1360	2,41	976,3	10,2	1,42	<<0,20	<<0,085	44,9	447	<<0,13	28,0	27,1	
SD14000057	M - 51 Suelo frente a casa	472,1	0,858	735	2,52	1361	33,7	2,00	<<0,20	<<0,085	71,6	459	<<0,13	32,7	47,1	
SD14000058	M - 52 Colegio primario-inicial	359,2	0,630	581	2,28	793,3	12,1	1,52	<<0,20	<<0,085	26,7	411	<<0,13	26,6	27,8	
SD14000059	M - 53 Cancha de fútbol (entre colegio 1 y 2) suelo arenoso	288,5	0,573	7890	1,55	892,8	7,65	0,423	<<0,20	<<0,085	48,8	230	0,24	18,3	17,7	

*Quante*

Laboratorio de Análisis del Sur S.A.  
Suelo, Vegetación, Aire y Agua  
Calle 2° Avenida  
mg. Cuzco 19474

\* <Valor numérico = Límite de detección del método, \*\* <Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## ANEXOS DE CONTROLES DE CALIDAD DEL INFORME LAS-14-01630 QAQC

11/04/2014

Pág.: 1/6

Control de calidad	Descripción	Unidades	7003 Ag	7003 Al	7003 As	7003 B	7003 Ba	7003 Be
LRB	Criterio de aceptación < MDL	mg/L	0,24	2,9	0,12	0,53	0,066	0,0079
IPC	Control	mg/L	0,250	2,000	2,000	2,000	2,000	0,200
	Criterio Aceptación	% R	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110
LFB	Control	mg/L	0,100	2,000	1,000	2,000	0,200	0,200
	Criterio Aceptación	% R	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115
LFM	Control	mg/L	0,100	2,000	1,000	2,000	0,200	0,200
	Criterio Aceptación	%	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130
IPC 1	Chequeo de Control instrumental 1	% R	100,0	98,6	99,1	99,3	100,4	98,8
LRB 1	Blanco Reactivo de laboratorio 1	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 1	Blanco Fortificado de laboratorio 1	% R	105,9	101,8	102,6	101,9	104,4	108,0
LFM 1	Matriz Fortificada de laboratorio 1	% R	86,5	101,6	93,6	99,0	110,9	98,6
IPC 2	Chequeo de Control instrumental 2	% R	99,1	100,3	98,7	101,9	102,0	98,6
LRB 2	Blanco Reactivo de laboratorio 2	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 3	Chequeo de Control instrumental 3	% R	101,3	101,1	102,2	98,8	97,6	102,6
IPC 4	Chequeo de Control instrumental 4	% R	99,6	98,7	100,5	97,3	95,5	102,7
LRB 3	Blanco Reactivo de laboratorio 3	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 2	Blanco Fortificado de laboratorio 2	% R	101,7	102,3	106,3	101,9	107,4	98,7
LFM 2	Matriz Fortificada de laboratorio 2	% R	96,8	105,0	103,0	103,6	107,4	92,0
IPC 5	Chequeo de Control instrumental 5	% R	99,1	99,5	99,2	98,7	97,2	98,2
IPC 6	Chequeo de Control instrumental 6	% R	97,6	96,2	101,0	93,4	94,9	107,3
LRB 4	Blanco Reactivo de laboratorio 4	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 7	Chequeo de Control instrumental 7	% R	99,1	96,8	96,3	97,8	100,7	94,9
LRB 5	Blanco Reactivo de laboratorio 5	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 3	Blanco Fortificado de laboratorio 3	% R	98,5	106,5	103,9	101,6	112,7	96,2
LFM 3	Matriz Fortificada de laboratorio 3	% R	105,9	107,4	107,3	110,3	88,7	113,1
IPC 8	Chequeo de Control instrumental 8	% R	99,6	101,4	101,0	98,9	97,5	103,1

% R: Porcentaje de recuperación de analito  
<MDL: Límite de detección del Método  
ND: No Detectable

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Inj. Químico CIP 19474

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## ANEXOS DE CONTROLES DE CALIDAD DEL INFORME LAS-14-01630 QAQC

11/04/2014

Pág.: 2/6

Control de calidad	Descripción	Unidades	7003 Ca	7003 Cd	7003 Co	7003 Cr	7003 Cu	7003 Fe
LRB	Criterio de aceptación < MDL	mg/L	1,6	0,011	0,0094	0,039	0,19	1,6
IPC	Control	mg/L	10,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	Criterio Aceptación	% R	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110
LFB	Control	mg/L	10,000	0,400	2,000	0,400	1,000	1,000
	Criterio Aceptación	% R	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115
LFM	Control	mg/L	10,000	0,400	2,000	0,400	1,000	1,000
	Criterio Aceptación	%	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130
IPC 1	Chequeo de Control Instrumental 1	% R	98,9	99,3	99,3	99,4	99,6	96,4
LRB 1	Blanco Reactivo de laboratorio 1	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 1	Blanco Fortificado de laboratorio 1	% R	99,0	91,5	114,1	114,5	111,8	89,3
LFM 1	Matriz Fortificada de laboratorio 1	% R	107,9	98,3	90,7	93,6	99,7	90,7
IPC 2	Chequeo de Control Instrumental 2	% R	101,4	97,7	98,4	98,5	100,0	103,1
LRB 2	Blanco Reactivo de laboratorio 2	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 3	Chequeo de Control Instrumental 3	% R	99,8	103,0	102,3	102,2	100,4	100,5
IPC 4	Chequeo de Control Instrumental 4	% R	98,1	102,0	101,7	100,8	98,8	97,3
LRB 3	Blanco Reactivo de laboratorio 3	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 2	Blanco Fortificado de laboratorio 2	% R	104,2	111,2	106,6	105,3	104,7	97,2
LFM 2	Matriz Fortificada de laboratorio 2	% R	106,6	94,3	105,9	105,4	99,8	103,1
IPC 5	Chequeo de Control Instrumental 5	% R	98,9	100,4	101,2	100,0	98,5	99,5
IPC 6	Chequeo de Control Instrumental 6	% R	94,8	97,0	90,1	94,5	108,4	107,6
LRB 4	Blanco Reactivo de laboratorio 4	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 7	Chequeo de Control Instrumental 7	% R	98,1	96,0	96,4	96,7	97,1	95,9
LRB 5	Blanco Reactivo de laboratorio 5	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 3	Blanco Fortificado de laboratorio 3	% R	102,7	108,7	105,9	102,9	104,1	96,0
LFM 3	Matriz Fortificada de laboratorio 3	% R	102,9	105,7	105,0	99,7	99,4	95,2
IPC 8	Chequeo de Control Instrumental 8	% R	98,1	101,4	101,4	101,1	101,1	101,5

% R: Porcentaje de recuperación de analito  
<MDL: Límite de detección del Método  
ND: No Detectable

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
R. Químico CIP 19474

<sup>a</sup><Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## ANEXOS DE CONTROLES DE CALIDAD DEL INFORME LAS-14-01630 QAQC

11/04/2014

Pág.: 3/6

Control de calidad	Descripción	Unidades	7003 Hg	7003 K	7003 Li	7003 Mg	7003 Mn	7003 Mo
LRB	Criterio de aceptación < MDL	mg/L	0,041	3,6	0,021	0,51	0,030	0,038
IPC	Control	mg/L	2,000	10,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	Criterio Aceptación	% R	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110
LFB	Control	mg/L	0,400	1,000	1,000	8,000	0,200	10,000
	Criterio Aceptación	% R	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115
LFM	Control	mg/L	0,400	1,000	1,000	8,000	0,200	10,000
	Criterio Aceptación	%	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130
IPC 1	Chequeo de Control instrumental 1	% R	99,1	99,1	99,6	99,1	99,6	99,2
LRB 1	Blanco Reactivo de laboratorio 1	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 1	Blanco Fortificado de laboratorio 1	% R	96,5	102,9	99,4	99,5	113,7	103,6
LFM 1	Matriz Fortificada de laboratorio 1	% R	101,4	105,6	103,2	105,1	102,3	92,9
IPC 2	Chequeo de Control instrumental 2	% R	97,3	101,3	101,7	100,8	98,7	98,6
LRB 2	Blanco Reactivo de laboratorio 2	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 3	Chequeo de Control instrumental 3	% R	103,6	99,6	98,7	100,1	101,7	102,2
IPC 4	Chequeo de Control instrumental 4	% R	103,0	96,8	96,3	98,2	100,9	100,8
LRB 3	Blanco Reactivo de laboratorio 3	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 2	Blanco Fortificado de laboratorio 2	% R	108,6	103,0	98,3	103,8	108,6	103,7
LFM 2	Matriz Fortificada de laboratorio 2	% R	105,1	93,7	92,5	105,3	108,9	104,6
IPC 5	Chequeo de Control instrumental 5	% R	99,9	97,7	96,8	100,4	100,0	99,8
IPC 6	Chequeo de Control instrumental 6	% R	94,8	90,9	94,8	95,5	97,1	98,0
LRB 4	Blanco Reactivo de laboratorio 4	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 7	Chequeo de Control instrumental 7	% R	95,8	99,0	98,4	100,1	98,0	96,6
LRB 5	Blanco Reactivo de laboratorio 5	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 3	Blanco Fortificado de laboratorio 3	% R	106,8	104,6	97,9	100,0	105,6	98,5
LFM 3	Matriz Fortificada de laboratorio 3	% R	104,1	106,3	102,4	108,4	104,2	100,6
IPC 8	Chequeo de Control instrumental 8	% R	101,8	96,0	99,4	97,4	100,6	101,1

% R: Porcentaje de recuperación de analito  
<MDL: Límite de detección del Método  
ND: No Detectable

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Químico CIP 19474

<sup>a</sup><Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## ANEXOS DE CONTROLES DE CALIDAD DEL INFORME LAS-14-01630 QAQC

11/04/2014

Pág.: 4/6

Control de calidad	Descripción	Unidades	7003 Na	7003 Ni	7003 P	7003 Pb	7003 Sb	7003 Se
LRB	Criterio de aceptación < MDL	mg/L	5,3	0,051	0,54	0,26	0,049	0,20
IPC	Control	mg/L	20,000	2,000	10,000	2,000	2,000	2,000
	Criterio Aceptación	% R	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110
LFB	Control	mg/L	0,400	1,000	10,000	10,000	1,000	10,000
	Criterio Aceptación	% R	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115
LFM	Control	mg/L	0,400	1,000	10,000	10,000	1,000	10,000
	Criterio Aceptación	%	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130
IPC 1	Chequeo de Control instrumental 1	% R	100,5	99,4	99,2	99,1	98,8	99,5
LRB 1	Blanco Reactivo de laboratorio 1	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 1	Blanco Fortificado de laboratorio 1	% R	102,0	103,7	103,2	103,7	109,4	99,4
LFM 1	Matriz Fortificada de laboratorio 1	% R	101,1	102,1	93,1	100,2	94,6	103,6
IPC 2	Chequeo de Control instrumental 2	% R	100,4	98,2	99,1	97,5	99,8	98,6
LRB 2	Blanco Reactivo de laboratorio 2	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 3	Chequeo de Control instrumental 3	% R	99,1	102,5	101,7	103,4	101,5	101,9
IPC 4	Chequeo de Control instrumental 4	% R	96,3	101,4	100,8	102,5	100,4	99,7
LRB 3	Blanco Reactivo de laboratorio 3	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 2	Blanco Fortificado de laboratorio 2	% R	102,2	102,4	106,6	106,0	104,7	99,4
LFM 2	Matriz Fortificada de laboratorio 2	% R	101,0	100,8	95,7	105,8	91,4	93,3
IPC 5	Chequeo de Control instrumental 5	% R	99,3	100,0	100,3	100,8	98,3	99,7
IPC 6	Chequeo de Control instrumental 6	% R	99,0	99,1	95,9	95,4	101,7	103,1
LRB 4	Blanco Reactivo de laboratorio 4	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 7	Chequeo de Control instrumental 7	% R	98,2	96,6	96,0	96,0	96,0	96,3
LRB 5	Blanco Reactivo de laboratorio 5	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 3	Blanco Fortificado de laboratorio 3	% R	107,7	100,8	103,2	104,3	104,1	98,3
LFM 3	Matriz Fortificada de laboratorio 3	% R	109,2	98,9	111,3	102,9	114,9	100,0
IPC 8	Chequeo de Control instrumental 8	% R	97,6	101,2	101,5	101,6	101,4	100,6

% R: Porcentaje de recuperación de analito  
<MDL: Límite de detección del Método  
ND: No Detectable

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Químico CIP 19474

<sup>a</sup><Valor numérico> = Límite de detección del método, <sup>b</sup><Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

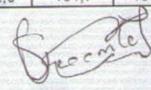
## ANEXOS DE CONTROLES DE CALIDAD DEL INFORME LAS-14-01630 QAQC

11/04/2014

Pág.: 5/6

Control de calidad	Descripción	Unidades	7003	7003	7003	7003	7003	7003
			Sn	Sr	Ti	TI	V	Zn
LRB	Criterio de aceptación < MDL	mg/L	0,085	0,13	0,068	0,13	0,014	0,31
IPC	Control	mg/L	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	Criterio Aceptación	% R	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110	90-110
LFB	Control	mg/L	1,000	0,400	2,000	10,000	2,000	0,200
	Criterio Aceptación	% R	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115	85-115
LFM	Control	mg/L	1,000	0,400	2,000	10,000	2,000	0,200
	Criterio Aceptación	%	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130	70-130
IPC 1	Chequeo de Control instrumental 1	% R	99,2	100,6	99,1	99,1	99,3	99,7
LRB 1	Blanco Reactivo de laboratorio 1	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 1	Blanco Fortificado de laboratorio 1	% R	99,4	91,9	112,7	99,1	113,7	113,7
LFM 1	Matriz Fortificada de laboratorio 1	% R	113,7	104,0	98,5	109,0	88,0	99,1
IPC 2	Chequeo de Control instrumental 2	% R	98,3	101,8	99,6	98,2	98,5	99,0
LRB 2	Blanco Reactivo de laboratorio 2	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 3	Chequeo de Control instrumental 3	% R	102,6	97,7	101,3	102,8	102,2	101,3
IPC 4	Chequeo de Control instrumental 4	% R	102,8	95,2	101,4	102,0	100,8	99,8
LRB 3	Blanco Reactivo de laboratorio 3	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 2	Blanco Fortificado de laboratorio 2	% R	104,3	98,3	101,8	103,3	100,9	103,2
LFM 2	Matriz Fortificada de laboratorio 2	% R	100,0	112,9	106,6	95,6	111,4	93,7
IPC 5	Chequeo de Control instrumental 5	% R	101,3	97,8	99,3	99,3	99,6	99,2
IPC 6	Chequeo de Control instrumental 6	% R	97,1	91,3	91,8	99,4	91,4	101,5
LRB 4	Blanco Reactivo de laboratorio 4	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IPC 7	Chequeo de Control instrumental 7	% R	95,9	101,6	95,2	95,2	97,6	97,1
LRB 5	Blanco Reactivo de laboratorio 5	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LFB 3	Blanco Fortificado de laboratorio 3	% R	102,2	106,8	99,4	101,1	98,9	100,2
LFM 3	Matriz Fortificada de laboratorio 3	% R	99,2	102,5	95,2	96,5	106,9	104,9
IPC 8	Chequeo de Control instrumental 8	% R	101,6	97,1	102,6	101,7	100,8	100,8

% R: Porcentaje de recuperación de analito  
<MDL: Límite de detección del Método  
ND: No Detectable

  
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ingeniero Químico CIP 19474

<sup>™</sup><Valor numérico = Límite de detección del método, <sup>™</sup><Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

**ANEXO 4**  
**BASE DE DATOS**  
**Cuadro de base de datos general de As y Hg**

SONDEOS	ESTE	NORTE	DESDE	HASTA	ESPEJOR	AS	HG	Descripcion
1	601499	8271827	0.05	0.20	0.15	14.30	1.24	1.9 km río abajo del área industrial de mollehuaca
2	601979	8271905	0.05	0.20	0.15	21.10	0.35	Plantación de Maíz
3	602792	8272000	0.05	0.20	0.15	26.20	0.80	área de cultivos
4	602792	8272000	0.30	0.50	0.20	23.50	0.84	área de cultivos
5	603065	8272102	0.05	0.20	0.15	31.20	1.38	área de cultivos
7	603352	8272165	0.05	0.20	0.15	40.10	6.34	Área I, zona quimbaletes
8	603415	8272158	0.05	0.20	0.15	529.00	21.90	Área I, zona quimbaletes
9	603452	8272187	0.30	0.50	0.20	20.40	1.38	Área I, zona quimbaletes
10	603443	8272183	0.05	0.20	0.15	25.30	3.87	Área I, zona quimbaletes
11	603474	8272197	0.05	0.20	0.15	19.90	0.87	Área I, zona quimbaletes
12	603481	8272185	0.05	0.20	0.15	153.00	84.00	Área I, zona quimbaletes
13	603481	8272185	0.30	0.50	0.15	31.40	11.50	Área I, zona quimbaletes
14	603533	8272185	0.05	0.20	0.15	808.00	207.00	Área I, zona quimbaletes
15	603564	8272181	0.05	0.20	0.15	106.00	12.40	AreaIIA
16	603632	8272218	0.05	0.20	0.15	116.00	23.50	Área IIA, zona quimbaletes
17	603632	8272218	0.30	0.50	0.20	129.00	35.10	Área IIA, zona quimbaletes
18	603698	8272266	0.05	0.20	0.15	579.00	60.80	Área IIA, zona quimbaletes
19	603727	8272264	0.05	0.20	0.15	28.50	6.05	Área IIA, zona quimbaletes
21	603782	8272277	0.05	0.20	0.15	230.00	70.90	Área IIB; zona quimbaletes Área
22	603782	8272277	0.20	0.50	0.30	378.00	77.90	Área IIB; zona quimbaletes Área
23	603807	8272288	0.05	0.20	0.15	193.00	113.00	Área IIB; zona quimbaletes Área
24	603850	8272289	0.05	0.20	0.15	35.40	4.62	Área IIC; zona quimbaletes
25	603850	8272289	0.30	0.50	0.20	37.40	6.60	Área IIC; zona quimbaletes
26	603910	8272345	0.05	0.20	0.15	87.50	67.20	Área IIIA; zona verde-quimbaletes
27	603943	8272352	0.05	0.20	0.15	334.00	43.50	Área IIIA; zona verde-quimbaletes
28	603943	8272352	0.30	0.50	0.15	600.00	409.00	Área IIIA; zona verde-quimbaletes
29	603959	8272353	0.05	0.20	0.15	475.00	130.00	Área IIIA; zona verde-quimbaletes
30	603979	8272366	0.05	0.20	0.15	12.00	2.18	Área IIIA; zona verde-quimbaletes
32	604018	8272369	0.05	0.20	0.15	99.40	12.90	Área IIIB; zona quimbaletes
33	604018	8272369	0.20	0.50	0.30	21.90	2.74	Área IIIB; zona quimbaletes
34	604046	8272369	0.05	0.20	0.15	56.20	4.46	Área IIIB; zona quimbaletes
35	604114	8272387	0.05	0.20	0.15	1840.00	36.90	Área IIIB; zona quimbaletes
36	604629	8272562	0.05	0.20	0.15	1410.00	190.00	Área IV; zona quimbaletes
37	604667	8272571	0.05	0.20	0.15	861.00	408.00	Área IV; zona quimbaletes
38	604667	8272571	0.20	0.50	0.30	635.00	96.70	Área IV; zona quimbaletes
39	604672	8272596	0.05	0.20	0.15	617.00	38.20	Área IV; zona quimbaletes
41	605785	8273218	0.05	0.20	0.15	6.78	0.04	1.7 km río arriba del área industrial de mollehuaca
45	603200	8272058	0.05	0.20	0.15	26.90	1.55	Zona Residencial
47	603303	8272098	0.05	0.20	0.15	51.80	3.30	Zona Residencial
48	603258	8272073	0.05	0.20	0.15	9.72	0.37	Zona Residencial
49	603286	8271999	0.05	0.20	0.15	10.20	0.04	Zona Residencial
51	603546	8272110	0.05	0.20	0.15	80.00	1.36	Zona Residencial
52	603667	8272116	0.05	0.20	0.15	30.90	0.04	Zona Residencial
53	603581	8272036	0.05	0.20	0.15	11.70	1.44	Zona Residencial
55	603613	8272158	0.05	0.20	0.15	38.20	1.40	Zona Residencial
56	603743	8272093	0.05	0.20	0.15	18.40	0.04	Zona Residencial
58	603723	8272216	0.05	0.20	0.15	90.60	19.40	Zona Residencial
59	603855	8272061	0.05	0.20	0.15	25.30	0.04	Zona Residencial
60	603906	8272310	0.05	0.20	0.15	47.70	2.43	Zona Residencial
61	604060	8272265	0.05	0.20	0.15	16.50	0.04	Zona Residencial
62	604024	8272197	0.05	0.20	0.15	15.00	2.86	Zona Residencial
63	603877	8272106	0.05	0.20	0.15	33.70	3.47	Zona Residencial
64	604080	8272354	0.05	0.20	0.15	79.70	8.30	Zona Residencial
66	604240	8272346	0.05	0.20	0.15	13.20	0.04	Zona Residencial
67	604270	8272348	0.05	0.20	0.15	20.10	0.04	Zona Residencial
68	604317	8272267	0.05	0.20	0.15	15.80	0.04	Zona Residencial
69	604421	8272282	0.05	0.20	0.15	23.10	0.04	Zona Residencial
70	604592	8272603	0.05	0.20	0.15	10.80	3.19	Zona Residencial

**Cuadro de base de datos creado para análisis exploratorio (EDA) As y Hg.**

SONDEOS	ESTE	NORTE	DESDE	HASTA	ESPESOR	AS	HG	AS1	HG1	Descripcion
5	603065.00	8272102.00	0.05	0.15	0.15	31.20	1.38	1.49	0.14	Área de cultivos
7	603352.00	8272165.00	0.05	0.15	0.15	40.10	6.34	1.60	0.80	Área I, zona quimbales
8	603415.00	8272158.00	0.05	0.15	0.15	529.00	21.90	2.72	1.34	Área I, zona quimbales
9	603452.00	8272187.00	0.30	0.50	0.20	20.40	1.38	1.31	0.14	Área I, zona quimbales
10	603443.00	8272183.00	0.05	0.15	0.15	25.30	3.87	1.40	0.59	Área I, zona quimbales
12	603481.00	8272185.00	0.05	0.15	0.15	153.00	84.00	2.18	1.92	Área I, zona quimbales
13	603481.00	8272185.00	0.30	0.50	0.20	31.40	11.50	1.50	1.06	Área I, zona quimbales
14	603533.00	8272185.00	0.05	0.15	0.15	808.00	207.00	2.91	2.32	Área I, zona quimbales
15	603564.00	8272181.00	0.05	0.15	0.15	106.00	12.40	2.03	1.09	Área IIA
16	603632.00	8272218.00	0.05	0.15	0.15	116.00	23.50	2.06	1.37	Área IIA, zona quimbales
17	603632.00	8272218.00	0.30	0.50	0.20	129.00	35.10	2.11	1.55	Área IIA, zona quimbales
18	603698.00	8272266.00	0.05	0.15	0.15	579.00	60.80	2.76	1.78	Área IIA, zona quimbales
19	603727.00	8272264.00	0.05	0.15	0.15	28.50	6.05	1.45	0.78	Área IIA, zona quimbales
21	603782.00	8272277.00	0.05	0.15	0.15	230.00	70.90	2.36	1.85	Área IIB; zona quimbales Área
22	603782.00	8272277.00	0.20	0.50	0.30	378.00	77.90	2.58	1.89	Área IIB; zona quimbales Área
23	603807.00	8272288.00	0.05	0.15	0.15	193.00	113.00	2.29	2.05	Área IIB; zona quimbales Área
24	603850.00	8272289.00	0.05	0.15	0.15	35.40	4.62	1.55	0.66	Área IIC; zona quimbales
25	603850.00	8272289.00	0.30	0.50	0.20	37.40	6.60	1.57	0.82	Área IIC; zona quimbales
26	603910.00	8272345.00	0.05	0.15	0.15	87.50	67.20	1.94	1.83	Área IIIA; zona verde-quimbales
27	603943.00	8272352.00	0.05	0.15	0.15	334.00	43.50	2.52	1.64	Área IIIA; zona verde-quimbales
29	603959.00	8272353.00	0.05	0.15	0.15	475.00	130.00	2.68	2.11	Área IIIA; zona verde-quimbales
30	603979.00	8272366.00	0.05	0.15	0.15	12.00	2.18	1.08	0.34	Área IIIA; zona verde-quimbales
32	604018.00	8272369.00	0.05	0.15	0.15	99.40	12.90	2.00	1.11	Área IIIB; zona quimbales
33	604018.00	8272369.00	0.20	0.50	0.30	21.90	2.74	1.34	0.44	Área IIIB; zona quimbales
34	604046.00	8272369.00	0.05	0.15	0.15	56.20	4.46	1.75	0.65	Área IIIB; zona quimbales
45	603200.00	8272058.00	0.05	0.15	0.15	26.90	1.55	1.43	0.19	Zona Residencial
47	603303.00	8272098.00	0.05	0.15	0.15	51.80	3.30	1.71	0.52	Zona Residencial
51	603546.00	8272110.00	0.05	0.15	0.15	80.00	1.36	1.90	0.13	Zona Residencial
53	603581.00	8272036.00	0.05	0.15	0.15	11.70	1.44	1.07	0.16	Zona Residencial
55	603613.00	8272158.00	0.05	0.15	0.15	38.20	1.40	1.58	0.15	Zona Residencial
58	603723.00	8272216.00	0.05	0.15	0.15	90.60	19.40	1.96	1.29	Zona Residencial
60	603906.00	8272310.00	0.05	0.15	0.15	47.70	2.43	1.68	0.39	Zona Residencial
62	604024.00	8272197.00	0.05	0.15	0.15	15.00	2.86	1.18	0.46	Zona Residencial
63	603877.00	8272106.00	0.05	0.15	0.15	33.70	3.47	1.53	0.54	Zona Residencial
64	604080.00	8272354.00	0.05	0.15	0.15	79.70	8.30	1.90	0.92	Zona Residencial

### Cuadro de base de datos creado para análisis estructural As y Hg.

Contaminacion de Suelos Mollehuaca									
10									
SONDEOS									
ESTE									
NORTE									
DESDE									
HASTA									
ESPESOR									
AS									
HG									
AS1									
HG1									
5	603065	8272102	0.05	0.15	0.15	31.20	1.38	1.49	0.14
7	603352	8272165	0.05	0.15	0.15	40.10	6.34	1.60	0.80
8	603415	8272158	0.05	0.15	0.15	529.00	21.90	2.72	1.34
9	603452	8272187	0.30	0.50	0.20	20.40	1.38	1.31	0.14
10	603443	8272183	0.05	0.15	0.15	25.30	3.87	1.40	0.59
12	603481	8272185	0.05	0.15	0.15	153.00	84.00	2.18	1.92
13	603481	8272185	0.30	0.50	0.20	31.40	11.50	1.50	1.06
14	603533	8272185	0.05	0.15	0.15	808.00	207.00	2.91	2.32
15	603564	8272181	0.05	0.15	0.15	106.00	12.40	2.03	1.09
16	603632	8272218	0.05	0.15	0.15	116.00	23.50	2.06	1.37
17	603632	8272218	0.30	0.50	0.20	129.00	35.10	2.11	1.55
18	603698	8272266	0.05	0.15	0.15	579.00	60.80	2.76	1.78
19	603727	8272264	0.05	0.15	0.15	28.50	6.05	1.45	0.78
21	603782	8272277	0.05	0.15	0.15	230.00	70.90	2.36	1.85
22	603782	8272277	0.20	0.50	0.30	378.00	77.90	2.58	1.89
23	603807	8272288	0.05	0.15	0.15	193.00	113.00	2.29	2.05
24	603850	8272289	0.05	0.15	0.15	35.40	4.62	1.55	0.66
25	603850	8272289	0.30	0.50	0.20	37.40	6.60	1.57	0.82
26	603910	8272345	0.05	0.15	0.15	87.50	67.20	1.94	1.83
27	603943	8272352	0.05	0.15	0.15	334.00	43.50	2.52	1.64
29	603959	8272353	0.05	0.15	0.15	475.00	130.00	2.68	2.11
30	603979	8272366	0.05	0.15	0.15	12.00	2.18	1.08	0.34
32	604018	8272369	0.05	0.15	0.15	99.40	12.90	2.00	1.11
33	604018	8272369	0.20	0.50	0.30	21.90	2.74	1.34	0.44
34	604046	8272369	0.05	0.15	0.15	56.20	4.46	1.75	0.65
38	604667	8272571	0.20	0.50	0.30	635.00	96.70	2.80	1.99
39	604672	8272596	0.05	0.15	0.15	617.00	38.20	2.79	1.58
51	603546	8272110	0.05	0.15	0.15	80.00	1.36	1.90	0.13
53	603581	8272036	0.05	0.15	0.15	11.70	1.44	1.07	0.16
55	603613	8272158	0.05	0.15	0.15	38.20	1.40	1.58	0.15
58	603723	8272216	0.05	0.15	0.15	90.60	19.40	1.96	1.29
60	603906	8272310	0.05	0.15	0.15	47.70	2.43	1.68	0.39
62	604024	8272197	0.05	0.15	0.15	15.00	2.86	1.18	0.46
63	603877	8272106	0.05	0.15	0.15	33.70	3.47	1.53	0.54
64	604080	8272354	0.05	0.15	0.15	79.70	8.30	1.90	0.92

**ANEXO 5**  
**PANEL FOTOGRAFICO**



Foto 1: Lecho del río en el área industrial histórico. Fuente: (Investigación de la Cónaminación Ambiental en el Municipió de Móllehuaca - Fase II. Eppers, 2014)



Foto 2: Área industrial histórica con plantones sembrados por el Gobierno Regional en Mollehuaca. Fuente: (Investigación de la Contaminación Ambiental en el Municipio de Móllehuaca - Fase II. Eppers, 2014)



Foto 3: Vista Panorámica del Poblado de Mollehuaca. Fuente: <http://esmiperu.blogspot.com/2006/11/mollehuaca-arequipa.html>. Fecha. 09/09/2019.

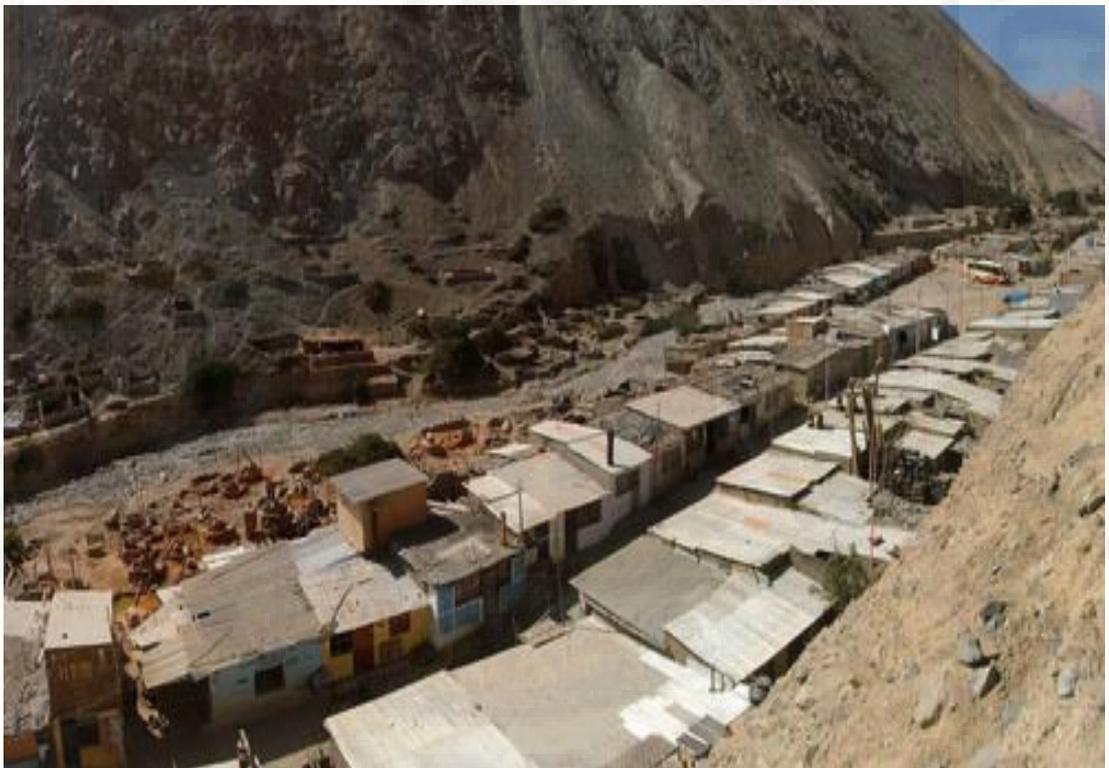


Foto 4: Calle principal y río mollehuaca. Fuente: <http://www.mineriartesanalperu.pe/costasur.html>. Fecha: 09/09/2019.

**ANEXO 6**  
**DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM**

**12**

**NORMAS LEGALES**

Sábado 2 de diciembre de 2017 /  **El Peruano**

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;

Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 08-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;

SE RESUELVE:

**Artículo 1.-** Dispóngase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe), por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: [IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe](mailto:IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe).

**Artículo 2.-** Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA  
Jefe  
Autoridad Nacional del Agua

1593024-1

**AMBIENTE**

**Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo**

**DECRETO SUPREMO  
N° 011-2017-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

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, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley 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; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado

— DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO —

  
**El Peruano**

**REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE  
NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS**

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos constitucionales autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, que contengan más de una página, se adjuntará un CD o USB en formato Word con su contenido o éste podrá ser remitido al correo electrónico [normaslegales@editoraperu.com.pe](mailto:normaslegales@editoraperu.com.pe).

LA DIRECCIÓN

de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, siendo una de sus funciones específicas, analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental del país;

Que, en mérito a la evaluación técnica realizada por el citado Grupo de Trabajo, se identificó la necesidad de actualizar los ECA para Suelo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 182-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente dispuso la prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los ECA para Suelo, en cumplimiento del artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente; y la Ley N° 28811, Ley General del Ambiente;

#### DECRETA:

#### Artículo 1.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, que como Anexo forman parte integrante del presente decreto supremo.

#### Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio

Los 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.

#### Artículo 3.- De la superación de los ECA para Suelo

De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente.

Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación.

#### Artículo 4.- Refrendo

El presente decreto supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud, el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el Ministro de la Producción, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, y el Ministro de Agricultura y Riego.

#### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

#### Primera.- Criterios para la gestión de sitios contaminados

Mediante decreto supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente y en coordinación con los sectores competentes, se aprobarán los criterios para la gestión de sitios contaminados, los mismos que regulan las acciones señaladas en el artículo 3 del presente decreto supremo.

#### Segunda.- Aplicación del ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Suelo se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial correspondiente.

#### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

#### Primera.- Instrumento de gestión ambiental en trámite ante la Autoridad Competente

Los/as titulares que, antes de la entrada en vigencia de la presente norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Suelo vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los/as titulares deberán considerar lo establecido en la Segunda Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Suelo aprobados mediante el presente decreto supremo.

#### Segunda.- De los procedimientos en trámite para la adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los ECA

Los procedimientos de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los estándares de calidad ambiental (ECA), iniciados con anterioridad a la vigencia del presente decreto supremo, se resuelven conforme a las disposiciones normativas vigentes al momento de su inicio.

#### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

#### Única.- Derogación

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, y el Decreto Supremo N° 003-2014-MINAM, que aprueba la Directiva que establece el procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, al primer día del mes de diciembre del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN  
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

CAYETANA ALJOVÍN GAZZANI  
Ministra de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ CALDERÓN  
Ministro de la Producción

FERNANDO ANTONIO D'ALESSIO IPINZA  
Ministro de Salud

BRUNO GIUFFRÀ MONTEVERDE  
Ministro de Transportes y Comunicaciones

CARLOS RICARDO BRUCE MONTES DE OCA  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO  
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del Suelo <sup>(1)</sup>			Métodos de ensayo <sup>(7) y (8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(1)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)</sup> / Industrial/ Extractivo <sup>(6)</sup>	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 <sup>(9)</sup> EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos <sup>(10)</sup>	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 <sup>(11)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 <sup>(12)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 <sup>(13)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(14)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total <sup>(15)</sup>	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 <sup>(16)</sup>
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

**Notas:**

[\*\*] Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) **Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) PS: Peso seco.

(3) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) **Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados** que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA

- correspondiente al parámetro bajo análisis.
- (8) Para aquellos parámetros respecto de los cuales no se especifican los métodos de ensayo empleados para la determinación de las muestras, se deben utilizar métodos que cumplan con las condiciones señaladas en la nota (7).
  - (9) EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés).
  - (10) Este parámetro comprende la suma de Xilenos: o-xileno, m-xileno y p-xileno. En el respectivo informe de ensayo se debe reportar la suma de los Xilenos, así como las concentraciones y límites de cuantificación de los tres (3) isómeros de manera individual.
  - (11) **Fracción de hidrocarburos F1 o fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen entre seis y diez átomos de carbono (C6 a C10). Los hidrocarburos de fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, solventes, gasolinas, gas nafta, entre otros.
  - (12) **Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros.
  - (13) **Fracción de hidrocarburos F3 o fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono (>C28 a C40). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, parafinas, petrolatos, aceites del petróleo, entre otros.
  - (14) Suma de siete PCB indicadores: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.
  - (15) 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 1. 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 1.

- aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.
- (f) Se determina mediante la medición en solución extractora 0,1 M CaCl<sub>2</sub>, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN Nº 978-0-7785-7691-4.
  - (g) Valores aplicables en sitios que cumplen con las concentraciones de Bario extraíble. La concentración del Bario total real se determina mediante las técnicas de fusión XRF o por fusión ICP, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN Nº 978 0 7785-7691-4.
  - (h) Suelo comercial.
  - (i) Suelo industrial/extractivo.
  - (16) DIN: Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung, por sus siglas en alemán).

1593392-5

### Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados

DECRETO SUPREMO  
N° 012-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

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 I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, señala que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, en virtud del numeral 16.2 del artículo 16 de la Ley, los instrumentos de gestión ambiental constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales que rigen en el país;

Que, asimismo, según lo dispuesto por el numeral 17.2 del artículo 17 de la Ley, los planes de remediación constituyen un tipo de instrumento de gestión ambiental;

Que, el numeral 30.1 del artículo 30 de la Ley, referido a los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales, señala que estos están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes; asimismo, precisa que los citados planes deben considerar el financiamiento y las responsabilidades que correspondan a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental;

Que, de conformidad con el numeral 30.2 del artículo 30 de la Ley, las entidades con competencias ambientales promueven y establecen planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados, y la Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para su elaboración;

Tabla 1. Valores para bario en sitios con presencia de baritina<sup>(a)</sup>

Parámetros en mg/kg PS	Uso del suelo		
	Suelo Agrícola <sup>(b)</sup>	Suelo Residencial/Parques <sup>(c)</sup>	Suelo Comercial <sup>(d)</sup> / Industrial/ Extractivo <sup>(e)</sup>
Bario extraíble <sup>(a)</sup> (Extractable Barium)	250	250	450
Bario total real en sitios con presencia de baritina <sup>(a)</sup> (True total Barium at Barite Sites)	10 000	10 000	15 000 <sup>(a)</sup> 140 000 <sup>(a)</sup>

Notas:

- (a) A efectos de aplicar los valores establecidos para el Bario total, Bario extraíble o Bario total/real en sitios con presencia de baritina, corresponde utilizar el procedimiento detallado por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN Nº 978-0-7785-7691-4.
- (b) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.
- (c) **Suelo residencial/parque:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.
- (d) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.
- (e) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o