



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS DERIVADOS
DE LA MINERÍA EN LAS MÁRGENES DEL RÍO CALERA, DISTRITO
MINERO PORTOVELO – ZARUMA.**

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

JOSÉ LUIS SÁNCHEZ MONTERO

DIRECTOR:

ING. EDGAR IVÁN PINEDA PUGLLA

LOJA – ECUADOR

2011



Ingeniero

Edgar Pineda Puglla.

**DOCENTE DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
Y DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE CARRERA;**

CERTIFICA:

Haber efectuado la revisión y corrección del trabajo de fin de carrera:

“ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS DERIVADOS DE LA MINERÍA EN LAS MÁRGENES DEL RÍO CALERA, DISTRITO MINERO PORTOVELO – ZARUMA” elaborado por el Egresado José Luis Sánchez Montero, bajo mi dirección, habiendo cumplido con los requisitos metodológicos, teóricos, prácticos e investigativos.

Después de la revisión, análisis y corrección respectiva, autorizo su presentación para la defensa y sustentación del trabajo de fin de carrera.

Loja, Agosto del 2011

Ing. Edgar Pineda Puglla

DIRECTOR DE TESIS



CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **José Luis Sánchez Montero**, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 de Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

José Luis Sánchez Montero

EL AUTOR



AUTORÍA

Las ideas y conceptos, así como el tratamiento formal y científico de la metodología de la investigación contemplada en el trabajo de fin de carrera sobre **“ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS DERIVADOS DE LA MINERÍA EN LAS MÁRGENES DEL RÍO CALERA, DISTRITO MINERO PORTOVELO – ZARUMA”**, previo a la obtención del grado de Ingeniero Civil de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja, son de mi responsabilidad.

José Luis Sánchez Montero

EL AUTOR



DEDICATORIA

A mi Dios por darme la salud, vigor y la oportunidad de compartir con el un nuevo amanecer.

A mis padres por su amor, aprecio y afectuoso esfuerzo para educarnos a mis hermanos y a mí, por lo que les dedico este logro como homenaje de gratitud y amor.

A mis hermanos Patricia, Diego, Jenny y María Eugenia; quienes me han brindado su apoyo moral, cariño y confianza.

A todas mis amigas y amigos por creer en mí y ofrecerme su amistad y compañerismo.

AGRADECIMIENTOS

Al término de mis estudios quiero dejar constancia y hacer extensible mi gran sincero agradecimiento a; Escuela de Ingeniería Civil en la persona de su director Jorge Luis Palacios y a su calificada planta docente que me ha guiado en el campo del saber.

Agradesco además a todos y cada uno de aquellos quienes pusieron un granito de arena colaborando para culminar con éxito éste proyecto; Edgar Pineda por su orientación y tiempo donado generosamente en cada una de las facetas dentro del desarrollo y avances de este trabajo de fin de carrera; David Benavidez, por sus importantes sugerencias para el proyecto, además de la orientación para la ejecución del programa ArcGis 9.3.; Mayra Cuenca quien a estado presente en cada momento brindandome su amor, apoyo moral e incondicional ayuda.



RESUMEN

Los problemas generados a raíz de la explotación y extracción de metales preciosos como oro y plata principalmente, han repercutido en el ambiente del distrito minero Portovelo-Zaruma. Las actividades mineras, encontradas en las riberas del río Calera y sus depósitos de pasivos ambientales provocan flujos ácidos muy agresivos que contaminan el agua del río que es el receptor directo de éste fenómeno, degradando su calidad. Esto perjudica no solamente a los habitantes de Zaruma y Portovelo, sino también a las poblaciones existentes aguas abajo del río Puyango, que atraviesa la zona y desagua en Perú, más de 100 kilómetros hacia adelante (a las orillas de los ríos de la cuenca hidrográfica Puyango - Tumbes de Ecuador y Perú). Todas estas personas dependen del río para sus necesidades vitales.

El presente trabajo ha sido elaborado para evaluar y estudiar detalladamente los flujos ácidos producidos por las actividades mineras en el distrito minero Portovelo-Zaruma, que se encuentran en las márgenes del río Calera.

La metodología empleada se divide en cuatro fases: En la primera fase se recopiló información de interés sobre la zona. La segunda fase consistió en el trabajo de campo, donde se ubicó con GPS los puntos de interés y se obtuvieron las muestras correspondientes. En la tercera fase de laboratorio se determinó el contenido en metales y otros componentes como el ph, alcalinidad total, dureza total y acidez total.

En la fase final se evaluaron los resultados obtenidos mediante la aplicación de métodos estadísticos y geoestadísticos, para obtener una caracterización profunda de los flujos ácidos existentes en la zona de estudio. Se presentan mapas sectoriales de predicción que son elaborados mediante la aplicación de ArcGis con el módulo de Geo Estadística. Así se ha obtenido un registro real de la proporción de contaminación aportada al río y un indicador bastante representativo de la contaminación en la zona.

Palabras claves: Distrito minero, río Calera, pasivos ambientales, flujos ácidos, sectorizar, ArcGis, módulo de Geo Estadística.



ABSTRACT

The problems caused by exploitation and extraction of precious metals, in particular gold and silver, are also reflected in the environment of the mining district Portovelo-Zaruma. Mining activities, are located at the banks of the river Calera. Deposits of environmental liabilities cause very aggressive acid flows water for the river which is the direct recipient of this phenomenon, degrading its quality. This not affects only the inhabitants of Zaruma and Portovelo, but also to existing populations down the river Puyango, which flows through the area and empties in to Peru, more than 100 miles ahead (banks of the river of the watershed Puyango - Tumbes Peru and Ecuador). All these people depend on the river for their livelihood.

The aim of this work is to evaluate and study the produced acid flow from mining activities in the mining district Portovelo - Zaruma, at the banks of the river Calera.

The methodology is divided into four phases. The first phase gathered information about the area of interest. The second phase consisted in field work, selecting the points of interest, recording the coordinates by GPS and taking the corresponding samples. In the third phase of laboratory the metal content of the samples and other components such as pH, total alkalinity, total hardness and total acidity are determined.

In the final phase the results are evaluated by applying statistical and geostatistical methods, to obtain a deeper characterization of the acid flow into the rivers inside the study area. The final prediction maps are developed through sectoral application of ArcGIS and its Geo Statistics module. Hence a register of the proportion of actual pollution inside the river, which is reasonably representative indicator of the pollution in the area, could be generated.

Key words: Mining District, River Calera, environmental liabilities, acid flows, sectorize, ArcGIS, Statistics Module Geo.



ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 GENERALIDADES.....	2
1.3 ANTECEDENTES.....	3
1.4 PROBLEMÁTICA.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
1.6 METODOLOGÍA.....	5
1.6.1 Recopilación de información relacionada con el proyecto.....	5
1.6.2 Ubicación de los puntos de interés con GPS y obtención de muestras.....	5
1.6.3 Análisis de laboratorio para determinar el tipo de contaminantes.....	5
1.6.4 Elaborar cuadros, tablas, gráficas de los resultados obtenidos en laboratorio.....	5
1.6.5 Mediante ArcGIS ubicar los sectores que se encuentran involucrados con este fenómeno.....	6
1.6.6 Presentar mapas de los sectores afectados y su grado de concentración.....	6
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	7
2.1 UBICACIÓN Y ACCESOS.....	8
2.2 ACTIVIDAD SOCIOECONÓMICA.....	10
2.3 GEOMORFOLOGÍA.....	11
2.4 HIDROGRAFÍA.....	11
2.5 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	12
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA GENERACIÓN DE FLUJO ÁCIDO MINERO.....	13
3.1 PLANTAS DE BENEFICIO DE LA ZONA.....	15
3.1.1 Extracción de minerales.....	15
3.1.2 Descripción de los procesos metalúrgicos de la zona.....	16
3.1.3 Insumos, materiales y productos químicos.....	18
3.1.4 Producción.....	19
3.1.5 Almacenamiento de productos y secuencia de procesos.....	19
3.1.6 Gestión de desechos y control ambiental.....	19
3.2 DESCRIPCIÓN DEL FLUJOS ÁCIDO DE MINAS.....	20
3.2.1 Definición.....	20



3.2.2	Generalidades	22
3.2.3	Fuentes del Flujo Ácido Minero	23
3.2.3.1	Pilas de desmonte.....	24
3.2.3.2	Embalses de relaves.....	25
3.2.3.3	Labores mineras subterráneas.....	25
3.2.3.4	Mina a Tajo Abierto.....	25
3.2.4	Etapas en el desarrollo del flujo ácido minero	26
3.2.5	Vigilancia y control	28
4.	METODOLOGÍA DE CAMPO Y LABORATORIO	29
4.1	INTRODUCCIÓN	30
4.2	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE INTERÉS SOBRE LA ZONA	30
4.3	PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN LA NORMATIVA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGAS DE EFLUENTES: RECURSO AGUA	31
4.4	TRABAJOS DE CAMPO	32
4.3.1	Planeamiento General.....	32
4.3.2	Descripción del Procedimiento (Metodología general para recolección de datos).....	32
4.5	TRABAJOS DE LABORATORIO	35
4.6	MÉTODOS UTILIZADOS	38
4.6.1	Análisis Bivariado	38
4.6.1.1	Representación gráfica de datos (Diagramas de dispersión).....	38
4.6.1.2	Correlación.....	38
4.6.2	Análisis Estadístico Univariado (Análisis Exploratorio de Datos)	39
4.6.2.1	Histograma.....	40
4.6.2.2	Transformación de los datos.....	45
4.6.3	Análisis Geoestadístico	46
4.6.3.1	Semivariograma.....	47
4.6.3.1.1	Modelos teóricos de semivariogramas..	47
4.6.3.1.2	Parámetros del semivariograma.....	48
4.6.3.2	Técnica de Interpolación Geoestadística: kriging ordinario.....	49
4.6.3.3	La búsqueda de vecindad en el kriging.....	50
4.6.3.4	Análisis de Anisotropía.....	51
4.6.3.5	Validación del Modelo Teórico (Validación cruzada).....	52
4.6.3.6	Resumen del análisis geoestadístico.....	
5.	RESULTADOS OBTENIDOS	55
5.1	INTRODUCCIÓN	56



5.2	COMPOSICIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS.....	56
5.2.1	Resultados de Laboratorio.....	56
5.2.2	Resumen de resultados.....	59
5.3	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS.....	59
5.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO BIVARIADO.....	69
5.4.1	Matrices de Correlación.....	69
5.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO UNIVARIADO.....	71
5.6	ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	84
5.6.1	Semivariogramas.....	85
5.6.2	Validación del Modelo Teórico por medio de Validación Cruzada.....	96
5.6.3	Mapas Sectoriales de Predicción.....	97
5.7	RESUMEN DE RESULTADOS.....	108
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
6.1	CONCLUSIONES.....	112
6.2	RECOMENDACIONES.....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115
	ANEXOS.....	118
	ANEXO A.....	118



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



1.1. INTRODUCCIÓN

Una de tantas actividades que disminuye la calidad del agua es la minería, y sin duda el flujo ácido de las minas es el mayor problema para los ríos cercanos.

El presente proyecto tiene como finalidad evaluar y estudiar detalladamente los flujos ácidos producidos por las actividades mineras en el distrito minero Portovelo-Zaruma. De esta manera se contará con un registro real de los pasivos ambientales que contamina el río Calera debido a dichos flujos se encuentran en las márgenes de este río.

1.2. GENERALIDADES

El distrito minero Portovelo-Zaruma es uno de los más grandes en reservas de oro en Ecuador. Su producción es la más importante del país con un total que varía entre 3 y 4 toneladas por año.

El tratamiento del mineral se hace en varias plantas de beneficio que emplean principalmente métodos gravimétricos¹ y de lixiviación² con cianuro, algunas veces complementados con flotación³ u otros métodos. Las plantas varían desde instalaciones muy rudimentarias hasta plantas bien desarrolladas (*Fig 3.1*).

La complejidad de extraer el mineral y sus subproductos desde las rocas mineralizadas se radica en la gran variedad de procesos que requiere. Los procesos de esta actividad generan un residual sólido, emisiones gaseosas y efluentes líquidos que contienen especies metálicas y otros contaminantes provocando el deterioro de los recursos naturales y humanos.

Los problemas creados a raíz de la explotación y extracción de metales preciosos como oro y plata principalmente, han repercutido en el ambiente del Distrito minero Portovelo – Zaruma. La contaminación generada por la minería, esencialmente por los flujos ácidos en las riberas del río Calera, afecta a las fuentes naturales de agua.

¹ La sustancia muy poco soluble se separa de la solución original, se filtra, se seca o calcina y en base al peso de la sustancia que queda se obtiene el mineral buscado.

² Extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido se pone en contacto con un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno de los componentes del sólido

³ Separación de sustancias en el agua debido a la diferencia de densidades de dichas sustancias, unas se irán al fondo, y otras se quedarán en la superficie



Esto perjudica no solamente a los habitantes de Zaruma y Portovelo, sino también a las poblaciones existentes aguas abajo del río Puyango, que atraviesa la zona y desagua en Perú, más de 100 kilómetros hacia adelante (a las orillas de los ríos de la cuenca hidrográfica Puyango - Tumbes de Ecuador y Perú). Todas estas personas dependen del río para sus necesidades vitales.

1.3. ANTECEDENTES

En Ecuador la actividad minera se remonta a la época precolonial e inclusive preincásica. En la segunda mitad del siglo XVI, los españoles descubrieron las minas de Zaruma y Portovelo. Pero desde el año de 1904 empezó la prospección, explotación, desarrollo y producción intensa en el distrito minero Portovelo – Zaruma al constituirse la South American Development Company (SADCO), que se mantuvo hasta 1950. A partir de ese año empezó a operar la empresa CIMA con la participación del municipio de Zaruma y de ex-empleados de SADCO, pasando luego la concesión al Estado en el año de 1980 por incumplimiento.

Actualmente, el sector de Portovelo-Zaruma se encuentra concesionado por diversos grupos mineros, tanto nacionales como extranjeros, quienes realizan una intensa actividad exploratoria.

En el distrito minero Portovelo-Zaruma existen alrededor de 109 Plantas de Beneficio. Todas estas plantas se dedican a la recuperación de oro y eventualmente de plata, mediante procesos que en gran parte son manejados con una tecnología de muy bajo rendimiento. Se generan aproximadamente 500 000 toneladas de residuos o relaves mineros por año, además de pasivos ambientales, como los minerales sulfurados, que reaccionan con el agua y forman los flujos ácidos que de todos los contaminantes quizás sean los más graves, por su naturaleza, extensión y dificultad de resolución.

1.4. PROBLEMÁTICA

Desde el punto de vista ambiental, el desarrollo de la actividad minera de forma descontrolada ha deteriorado los recursos naturales y humanos. Todos los residuos generados son de gran peligrosidad ambiental, afectando la salud humana y todo el



ecosistema de la cuenca. El mas afectado de la contaminación minera es el río mas cercano a las plantas de beneficio, puesto que recibe los residuos mineros por el vertido directo o indirecto. Indirectamente se contamina por los depositos abandonados en las riveras, que en temporada de lluvia son arrastrados por las crecientes y afectan en gran escala aguas abajo.

Las actividades mineras, encontradas en las riberas del río Calera y sus depósitos de pasivos ambientales provocan flujos ácidos que podrian ser muy agresivos para el agua del río que es el receptor directo de éste fenómeno, pudiendo degradar su calidad.

En el presente trabajo se pretende evaluar y estudiar detalladamente los flujos ácidos producidos por las actividades mineras, que se encuentran en las márgenes del río Calera. La investigación consiste en identificar los puntos de muestreo, recoger muestras de los líquidos drenados y analizarlos en laboratorio e interpolar los resultados en mapas sectoriales que indiquen las concentraciones de contaminantes. De esta manera se obtiene un registro real del porcentaje de contaminantes que estos flujos aportan al río.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Estudiar y evaluar detalladamente los flujos ácidos derivados de la minería en las márgenes del río Calera, distrito minero Portovelo – Zaruma.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar los tipos de contaminantes de los flujos ácidos provenientes de la minería, encontrados en las riberas del río Calera.
- Caracterizar los contaminantes y generar la información en cuadros, tablas y grafica.
- Sectorizar los flujos y ubicar el grado de concentración de los contaminantes en las riberas del río Calera mediante la aplicación de ArcGIS con el módulo de Geo Estadística.



1.6. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se presenta la siguiente metodología.

1.6.1 Recopilación de información relacionada con el proyecto

Se refiere a todas aquellas investigaciones, entrevistas, búsquedas de datos, etc., que servirán para analizar en forma detallada el proyecto. La información será recolectada por fuentes bibliográficas, artículos científicos, páginas de internet, etc. Además se recopilara información de interés sobre la zona contando con los “ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL, PLAN DE MANEJO DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EN EL DISTRITO MINERO, PORTOVELO-ZARUMA Y DISEÑO DEFINITIVO DEL SISTEMA DE MANEJO DE RELAVES DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EN EL DISTRITO MINERO PORTOVELO – ZARUMA”, que fue ejecutado por la Universidad Técnica Particular de Loja, bajo la supervisión del Ministerio del Ambiente y el Honorable Consejo Provincial de El Oro.

1.6.2 Ubicación de los puntos de interés y obtención de muestras.

Para encontrar la ubicación de los puntos de interés se recorrerá los sectores definidos para el muestreo en las riberas del río Calera con un equipo GPS. Se localizarán visualmente los flujos ácidos generados por las descargas mineras y se obtendrá su posicionamiento en coordenadas geográficas. Finalmente se recolectarán las muestras y los datos pertinentes en cada uno de estos puntos.

1.6.3 Análisis de laboratorio para determinar el tipo de contaminantes

Comprende el análisis de muestras obtenidas en el campo que se realizarán en el laboratorio del CETTIA de la U.T.P.L. Mediante este análisis se podrá obtener información de los componentes de cada una de las muestras.

1.6.4 Elaborar cuadros, tablas y gráficas de los resultados obtenidos en laboratorio

Es la presentación de los resultados obtenidos en el laboratorio, por medio de la elaboración de cuadros, tablas y graficas. Estos listarán los datos de una manera



organizada y ayudarán a expresar de manera fácil estos resultados. También permitirán visualizar la distribución y el comportamiento de estos datos.

1.6.5 Mediante ArcGIS ubicar los sectores que se encuentran involucrados con este fenómeno.

La ubicación de los sectores involucrados y su concentración de contaminantes se visualiza mediante un Software llamado ArcGIS⁴, que es una serie integrada de Software de Sistemas de Información Geográfica. Este software trabaja como un motor compilador de información geográfica alfanumérica (Bases de Datos) y gráfica (Mapas).

1.6.6 Presentar mapas de los sectores afectados y su grado de concentración.

Indican el grado de contaminación y concentración de los sectores afectados. Los mapas sectoriales son elaborados en ArcGIS.

⁴ Nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG.



CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



2.1 UBICACIÓN Y ACCESOS



Fig. 2.1. Vista panorámica de la cabecera cantonal de Portovelo.

Fuente: Celi, K. (2010).



Fig. 2.2. Vista panorámica de la cabecera cantonal de Zaruma.

Fuente: Rios, J. (2010).



El sector minero El Pache se encuentra al sureste de la Provincia de El Oro en el distrito minero Portovelo – Zaruma siguiendo el río Calera y Amarillo hasta la zona urbana de Portovelo (Fig.2.4). Al sector se puede llegar mediante la carretera Machala - Piñas – Portovelo. O desde Loja mediante la vía antigua a la Costa (Fig 2.5).



Fig. 2.5. Rutas al sector.

Fuente: El Autor

Las características geográficas y topográficas del sector de estudio, forman diferentes microclimas. En general el régimen climático se puede caracterizar como subtropical semihúmedo, seco de mayo a noviembre y húmedo con fuertes precipitaciones durante los meses de diciembre a abril. Su temperatura es 22 °C promedio (Pineda, E; 2010).

2.2 ACTIVIDAD SOCIOECONÓMICA

La principal actividad existente en la zona de estudio corresponde a la minería, el producto principal que se comercializa es el oro. Pero la actividad socioeconómica de Zaruma y Portovelo no depende solamente de su riqueza aurífera, sino también de la fertilidad de sus suelos. Aunque el auge minero producido en las últimas décadas ha sido la rémora para el progreso del sector agrario, que antes representaba la principal actividad ejercida en la zona de Zaruma y Portovelo. Hoy en día la agricultura constituye la segunda fuente de ingreso para los habitantes de éstas zonas. Los principales productos que aquí se dan son caña de azúcar, maíz, café, yuca y piña. Otra base importante en su economía es la actividad ganadera y turística.



2.3 GEOMORFOLOGÍA

Centrándose en la zona donde se ubican las plantas procesadoras de mineral, se presenta un relieve de los valles tipo V en referencia aguas arriba del río Calera desde el puente de Buza. Aguas abajo presenta un relieve tipo valle de fondo plano (Fig. 2.6), hasta la unión con el río Amarillo formando un pequeño valle que se extiende en dirección Norte-Sur. La extensión desde la margen del río sobrepasan los 80 m. En las margenes se localizan pequeñas terrazas por acumulación de material aluvial, que han sido aprovechadas para instalar las plantas de beneficio de minerales y algunas piscinas para acumulación de relaves. La pendiente es entre (1 y 5) % (El Pache), mientras que a sus alrededores podemos encontrar pendientes inclinadas entre el (20 al 50) % y pendientes fuertes mayores al 50%. Las pendientes fuertes son más evidentes hacia la margen derecha del río donde se puede notar fuertes escarpes como la Nariz del Diablo (frente al puente del Pache) y cerca de la unión con el río Amarillo (Puente Negro) donde el valle se cierra, con colinas de montañas redondeadas. Las alturas del valle del Calera están entre (586 y 1 549) metros sobre el nivel del mar.



Fig. 2.6. Relieve tipo valle de fondo plano y tipo V del sector "El Pache" Río Calera

Fuente.: Universidad Técnica Particular de Loja (2010).

2.4 HIDROGRAFÍA

El río Calera forma el sistema hidrográfico de la zona de estudio. Este río nace en la cordillera de Chilla. Su trayecto es de norte a sur hasta unirse con el río Amarillo a unos 3 Km aguas abajo de Portovelo. La unión de los dos ríos forma el río Pindo



(Fig. 2.7). Todos estos ríos desembocan en el río Puyango y pueden estar siendo contaminados directamente por los flujos ácidos derivados de la minería.

“El caudal medio mensual plurianual del río Calera es de $8.67 \text{ m}^3/\text{s}$. Su caudal característico de estiaje es de $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$. El año hidrológico inicia en noviembre, y la temporada de estiaje se extiende de junio a octubre. Los mayores valores de caudal se presentan en el mes de marzo.” (Estudios de impacto ambiental, plan de manejo de las plantas de beneficio en el distrito minero, Portovelo-Zaruma y diseño definitivo del sistema de manejo de relaves de las plantas de beneficio; 2010).

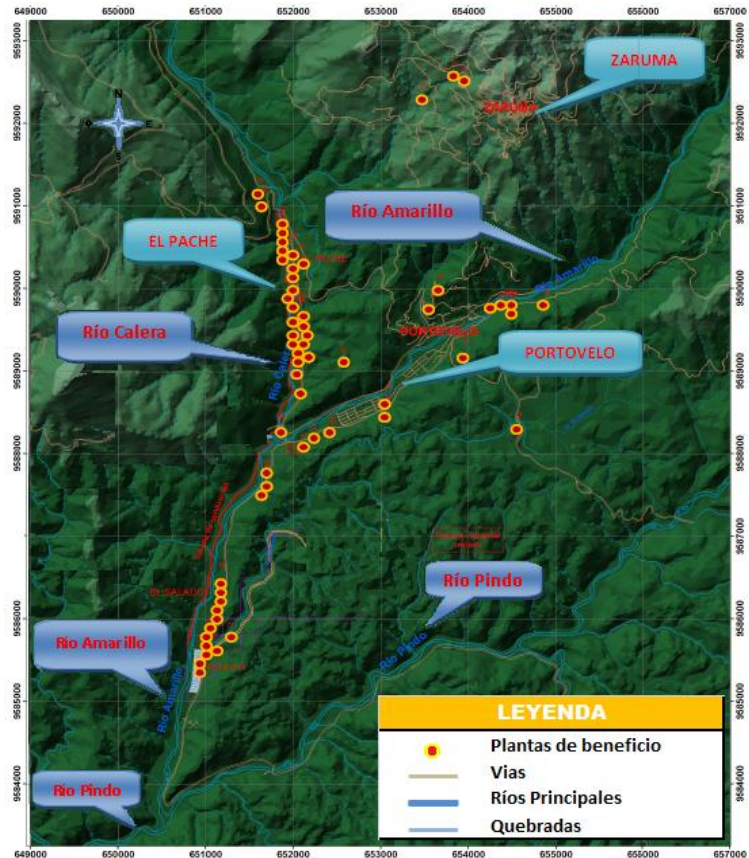


Fig. 2.7. Hidrografía del Sector

Fuente.: El Autor

2.5 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La actividad minera generada en el Distrito minero Portovelo – Zaruma se encuentra dispersa en varios sectores, destacando como principales los siguientes: Arcapamba, Malvas, Muluncay, Roma, Curipamba, El Pache y El Salado.

Para el presente estudio la zona de mayor interés se encuentra ubicada en El Pache (Fig. 2.4), por existir la mayor acumulación de Plantas de Beneficio Mineral. El área delimitada es de aproximadamente media hectárea en un tramo de análisis que va desde las coordenadas UTM 17S (651 709m E; 9 589 315m S) a (651 747m E; 9 589 182m S) en las riberas del río Calera. La cota de altitud varía de 610 hasta 614 msnm. Dentro de este tramo se recolectaron las muestras de los flujos ácidos ya que se evidenciaron de mejor forma.



CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA GENERACIÓN DE FLUJO ÁCIDO MINERO



3.1 PLANTAS DE BENEFICIO DE LA ZONA

En el sector de El Pache existen alrededor de 50 Plantas de beneficio de minerales (Fig 3.1). Todas estas plantas se ubican a las orillas de cursos superficiales de agua, lo que ha provocado por muchos años niveles elevados de contaminación ambiental. Eso se debe al mal manejo de los relaves que por limitantes topográficos han sido manejados incorrectamente y descargados directa o indirectamente al río, provocando su contaminación.

Esta contaminación se puede apreciar claramente al observar en el sector la diferencia de coloración del río antes y después de atravesar las zonas de tratamiento de minerales en el distrito minero.

Además de este indicador se pudo verificar flujos ácidos junto a los depósitos de relaves y/o descargas de efluentes.

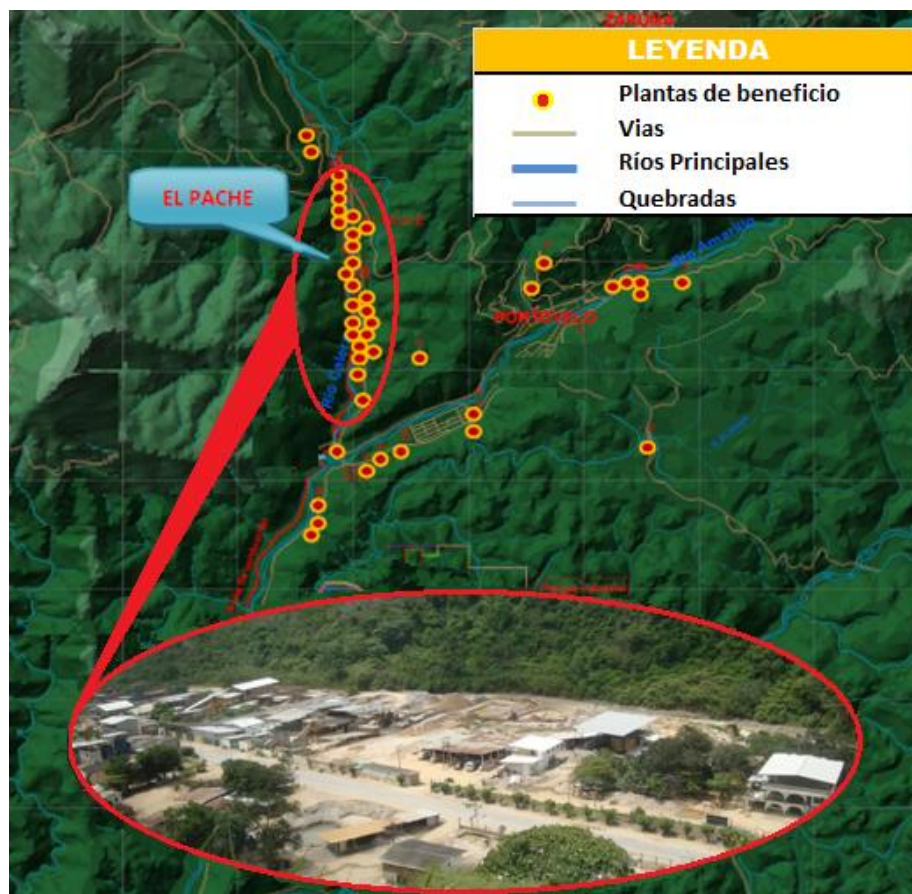


Fig. 3.1. Plantas de Beneficio Mineral “El Pache”

Fuente: El Autor



En la *Tabla 3.1* se detalla la infraestructura básica para la recuperación de minerales auríferos en los diferentes sectores mineros correspondientes al distrito minero Portovelo - Zaruma.

Al observar este cuadro es evidente que los sectores El Pache y El Salado tienen el mayor porcentaje de unidades de molienda. El sector el Pache destaca con más unidades. La capacidad es directamente proporcional al volumen de mineral procesado, al gasto de energía, la mano de obra, reactivos e insumos utilizados.

Tabla 3.1. Unidades para el proceso de molienda, lixiviación y amalgamación de minerales

SECTOR	UNIDADES DE PROCESAMIENTO				
	Molinos		Cianuración		Chanchas
	Ruedas	Bolas	Percolación	Agitación	
Arcapamba	13	1	0	8	4
Pache	50	5	34	92	17
El Salado	23	0	31	33	0
Malvas	3	0	2	2	1
Puente Negro	4	1	6	4	0
Huertas	2	0	4	1	2
El Paraíso	4	0	0	0	0
Curipamba	6	0	0	0	1
Buza	1	2	1	0	0
Portovelo	6	0	0	0	0
Quebrada del Banco	0	0	1	0	0
San Antonio	6	0	0	0	0
Malvas Arcapamba	1	0	1	0	0
Muluncay Grande	1	0	0	0	0
Malvas Muluncay	5	0	0	0	0
La Florida	7	0	0	0	0
Zaruma	1	0	0	0	0
Roma	3	0	0	0	0
Minas Nuevas	1	0	0	0	1
TOTAL	137	9	80	140	26

Fuente: Universidad Técnica Particular de Loja (2010).

3.1.1. Extracción de minerales

Las labores mineras de extracción se realizan mediante túneles de excavación transversal y vertical con el uso de explosivos y herramientas manuales (*Fig. 3.2*). El material luego es sacado de la mina y almacenado en un depósito externo para ser transportado por vía terrestre hasta las Plantas de Procesamiento. En las plantas las rocas son fragmentadas, trituradas, molidas, para posteriormente realizar un proceso físico-químico lixiviar las arenas, obteniendo finalmente el metal aurífero.



Fig. 3.2 Extracción del mineral de las minas.

Fuente: Herrera T. (2007).

3.1.2. Descripción de los procesos metalúrgicos de la zona

Los procesos utilizados en la recuperación de metales son los que se enlistan a continuación y son descritos en detalle en (Evaluación de Impacto Ambiental, Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio. El Oro-Ecuador; 2010).

- **Quebrantadura.-** Reducción de las rocas grandes, a pequeñas partículas del mineral, sometido a una chancadora.
- **Molienda.-** Reduce los productos suministrados por la trituración a granos de tamaño más pequeños con la finalidad de liberar el oro libre. Los molinos utilizados en el sector son los de tipo trapiche “chilenos” y los de “Bolas”.
- **Concentración Gravimétrica.-** El material obtenido de los molinos chilenos pasa a unas canaletas, que contienen bayetas o lonas. Su función es retener el mineral con mayor densidad como el oro.
- **Amalgamación.-** Permite la recuperación de oro a partir del material capturado en las bayetas (concentrado). El proceso consiste en la formación de aleaciones entre el mercurio y los metales contenidos en el concentrado (amalgamas).



- **Cianuración de Relaves.-** La arena aurífera es sometida a un proceso de lixiviación con cianuro, ya sea de sodio (NaCN) o potasio (KCN), con la finalidad de solubilizar el Oro y la Plata.
- **Piscinas de Percolación.-** Las arenas son cargadas a las piscinas que generalmente son de cemento con fondo falso de guadua con bayeta. Luego se adiciona cal para obtener un pH básico (10 a 11). La concentración de la solución de cianuro varía de (1 a 1.5) gr/L. El proceso es bastante lento, dependiendo de la porosidad del material, el tiempo promedio en el sector es de 30 días.
- **Cianuración por Agitación.-** Se emplea tanques de agitación con una capacidad de (5 a 18) toneladas. El tiempo de lixiviación del metal va de (8.24 y 48) horas. En la zona se trabaja con el proceso CIP (carbón en pulpa).
- **Recuperación de metales nobles.-** Una vez obtenida la solución de cianuro áurico, se utilizan varios procesos de recuperación como la cementación con zinc y la adsorción con carbón activado.
- **Precipitación con virutas de zinc.-** El oro y la plata disueltos en la solución de cianuro están en forma de complejos cianurados de oro y plata. El oro y la plata pura se puede recuperar fácilmente por la adición o contacto con zinc.
- **Adsorción por carbón activado.-** El carbón adsorbe al oro contenido en la solución cianurada por la alta porosidad en su superficie interna. Una vez que el carbón está cargado con los metales preciosos, se lo lava en una criba o tromel para luego pasarlo a las torres de desorción. En las torres se descarga el oro y la plata en una solución térmica.
- **Calcinación, Fundición y Refinación de Oro y Plata.-** Los precipitados que contienen los metales como Zinc, Oro, etc., se funden para la obtención de barras. Al final las barras son tratadas con ácido nítrico para purificarlas.
- **Calcinación de los precipitados de Cianuración.-** Este proceso tiene por finalidad eliminar agua, cianuros, materia orgánica presente en los precipitados y zinc que no reaccionó con la solución.
- **Fundición.-** El principal objetivo de la fundición es obtener los metales nobles con el mayor grado de pureza. Este proceso se lo realiza con el oro derivado después de la amalgamación y de la Cianuración con tetraborato de sodio (conocido comercialmente como bórax).



- **Refinación.-** La finalidad de este proceso es obtener el oro y la plata por separado. Se utiliza ácido nítrico, el cual ataca las barras que contienen los metales para disolverlos. Especialmente es atacada la plata, separando al oro puro.
- **Flotación.-** Este proceso utiliza un conjunto de reactivos los cuales ayudan a que los minerales sean hidrofóbicos⁵. Se hace atravesar una corriente de aire para formar espuma en la cual flotan los minerales. Luego son extraídos y recogidos en un canal para su transporte.

3.1.3. Insumos, materiales y productos químicos

Mercurio.- Es un reactivo utilizado para la recuperación de oro macroscópico. Se comercializa en frascos de plástico. Este metal es muy peligroso ya que puede producir mutagénesis.

Cianuro.- El más utilizado es el cianuro de sodio para la lixiviación de oro; en solución diluida. Comúnmente se lo comercializa en tanques metálicos de 50 Kg. Su mal uso puede generar ácido cianhídrico muy peligros por su toxicidad.

Cal.- El óxido de calcio se lo utiliza para regular el pH en los proceso de Cianuración y de flotación. Es un agente dispersante.

Ácido Nítrico.- Es uno de los ácidos con amplio uso para refinar las barras provenientes de la fundición de la viruta de zinc.

Bórax.- El bórax, o tetraborato sódico se utiliza como fundente en el proceso de fundición del oro.

Acetato de Plomo.- Se lo utiliza para activar la superficie de las virutas de zinc y mejorar la recuperación del oro.

Litargirio.- El litargirio u óxido de plomo se emplea para activar el proceso de cianuración y para los análisis de fusión – copelación⁶.

La Tabla 3.2 resume el consumo de reactivos químicos que se usan en las Plantas de beneficio.

⁵ Por definición, una sustancia es hidrofóbica si no es miscible con el agua.

⁶ Procedimiento de purificación metalúrgica.



Tabla 3.2. Consumo de Reactivos Químicos por Tonelada de Oro

REACTIVO	FÓRMULA	CANTIDAD CONSUMIDA (Ton/mes)	CONSUMO PROMEDIO (Ton/KG Au)
Cianuro	NaCN	19-23	0.8
Cal	CaO	31-35	1.3
Litargirio	PbO	0,019	0.7
Acetato de Plomo	Pb(CH ₃ OO)	0.018	0.67
Zinc	Zn	1.7-1.9	67
Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇	1.3 - 1.4	50
Ácido Nítrico	HNO ₃	1.5 - 1.7	59

Fuente: Universidad Técnica Particular de Loja (2010).

3.1.4. Producción

Las Plantas de beneficio se basan en una producción mayoritariamente de materia prima extraída del Distrito minero Zaruma – Portovelo. La mayor parte de Plantas procesan alrededor de 10 toneladas al día. Los procesos productivos se dan de acuerdo a la disponibilidad de materia prima y requerimientos técnicos del mismo. La frecuencia de producción es diaria o semanal, en pocos casos mensual, trimestral o en mayor tiempo. (*Universidad Técnica Particular de Loja; 2010*).

3.1.5. Almacenamiento de productos y secuencia de procesos

Se ha observado que no existe una infraestructura ni control acorde para almacenamiento de productos, especialmente los considerados tóxicos y peligrosos.

3.1.6. Gestión de desechos y control ambiental

Los desechos que se generan en el sector son: relaves cianurados, no cianurados y efluentes líquidos. Se puede observar además que no existe un manejo eficiente de residuos sólidos como contenedores de productos químicos y residuos de maquinarias.



Para desfogue de desechos líquidos existen generalmente uno o dos lugares de desagüe. Varios terminan en cursos naturales y en otros casos no tienen conducto de desfogue, por lo que puede ser que exista lixiviación, infiltración o/y evaporación. En el caso de desechos líquidos, una vez que los relaves se han sedimentado se extraen las arenas y se acumulan en la Planta o son llevadas a otros sitios considerados como cementerios de relaves, ya sean propios o de uso común.

El actual control ambiental es muy deficiente. Los problemas que generalmente han causado alarma entre la población son los efectos drásticos en la salud humana, causados por el uso de mercurio y cianuro.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO ÁCIDO DE MINAS

3.2.1 Definición

Los flujos ácidos son aguas con altos índices de acidez y carga de metales en disolución, que se generan en las instalaciones mineras debido a la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados. Son provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua. En forma natural, la oxidación de estos minerales y la formación de ácido sulfúrico corresponden a procesos de oxidación de los metales. De todos los contaminantes de los cursos de agua, quizás los flujos ácidos de minas sean uno de los más graves, por su naturaleza, extensión y dificultad de resolución (*Fig 3.1*).



a. flujo ácido minero a las orillas del río Calera



b. flujo ácido minero cerca de las plantas de procesamiento mineral



c. flujo ácido minero localizado en escombreras a las riveras del río Calera

Fig. 3.1. Algunos ejemplos de flujos ácidos en el Distrito Minero de Portovelo-Zaruma

Fuente: El Autor



El desarrollo del clásico flujo ácido minero de pH bajo y rico en metales es un proceso que depende del tiempo. La química del agua cambiará, volviéndose gradualmente más ácida, con concentraciones crecientes de metales. Sin embargo, como se describe en la definición, el flujo ácido de minas se refiere a todo fluido contaminado como resultado de los procesos de oxidación y lixiviación de los minerales sulfurosos. Con el tiempo las características del fluido pueden cambiar, de ligeramente alcalino hasta casi neutro y finalmente ácido.

Por lo general los flujos ácidos incluyen, pero sin limitarse a ello, lo siguiente:

- pH
- sulfatos
- nutrientes
- metales (disueltos o totales)
- núclidos radiactivos
- sólidos disueltos totales (SDT)
- sólidos suspendidos totales (SST)

Generalmente el flujo ácido de mina se caracteriza por:

- valores de pH por debajo de 7 hasta 1.5
- alcalinidad decreciente y acidez creciente
- concentraciones elevadas de sulfato
- concentraciones elevadas de metales
- concentraciones elevadas de sólidos (disueltos o totales).

3.2.2 Generalidades

“La generación de ácido es originada por la oxidación de los minerales sulfurosos cuando son expuestos al aire y agua, lo cual da por resultado la producción de acidez, sulfatos y la disolución de metales” (Ministerio de Energía y Minas – Perú; 1995). No todos los minerales sulfurosos son igualmente reactivos, ni la acidez se produce en igual proporción. Además, no todos los minerales sulfurosos o rocas con contenido de sulfuro son potencialmente generadores de ácido. La tendencia de una muestra particular de roca a generar acidez neta es una función del balance entre los minerales (sulfurosos), productores potenciales de ácido y los minerales (alcalinos) consumidores potenciales de ácido.



El proceso mediante el cual se consume ácido se denomina "neutralización". Teóricamente, cada vez que la capacidad consumidora de ácido de una roca ("potencial de neutralización") excede al potencial de generación de ácido, se consumirá toda la acidez. El agua que drene de la roca se encontrará en el nivel de pH neutro o cerca de él. El flujo ácido generado por la oxidación de sulfuros puede neutralizarse por contacto con minerales consumidores de ácido. Como resultado de ello, el agua que drena de la roca puede tener un pH neutro y una acidez insignificante, a pesar de la continua oxidación de sulfuros.

Con el tiempo, a medida que se agotan los minerales consumidores de ácido o se vuelve imposible acceder a ellos, a causa de la formación de cubiertas de minerales secundarios, se puede generar agua ácida.

Los ríos y acuíferos afectados por este tipo de contaminación se caracterizan por su acidez. Otras de las características de los ríos afectados son el alto contenido en sulfatos y metales pesados de sus aguas y el contenido metálico de sus sedimentos.

Los problemas ambientales asociados al flujo ácido son variados y dependen del componente del medio ambiente. En general, los efectos perduran en el largo plazo.

Entre los efectos específicos de la acidificación de los cursos de agua se encuentran la interrupción del crecimiento y reproducción de fauna y flora acuática, daño a los ecosistemas, contaminación de las fuentes de agua potable, y efectos corrosivos en las bases de los puentes (ECOAMERICA.CL; 2007).

3.2.3 Fuentes del Flujo Ácido Minero.

Los minerales sulfurosos están en todas partes en el ambiente geológico. Pero se encuentran principalmente en rocas que reposan debajo de una capa de suelo y a menudo, debajo del nivel freático. Bajo condiciones naturales, el suelo que cubre la roca y el agua subterránea minimiza el contacto con el oxígeno. Esto permite que la generación de ácido prosiga a una velocidad tan baja que el efecto sobre la calidad general del agua será insignificante o indetectable. La exposición de roca sulfurosa reactiva al aire y al agua, como resultado de actividades tales como la explotación



minera, puede acelerar la velocidad de generación de ácido y ocasionar un impacto en el ambiente.

En un asiento minero, las fuentes primarias de flujo ácido son las áreas en las cuales la roca de mina ha sido disturbada, y su superficie expuesta. Además de las fuentes principales de generación de flujo ácido, este puede ocurrir en otras áreas del asiento minero, las cuales contienen generalmente menor volumen de roca, por ejemplo (Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas; 1995):

- derrames de concentrados y relaves
- almacenamiento de concentrados e instalaciones de descarga
- apilamiento de mineral
- superficies de roca expuestas al cortar rocas para carreteras, etc.
- caminos por los cuales pasan camiones con concentrados
- pozas de almacenamiento de lodos en plantas de tratamiento

A continuación se enumeran las fuentes principales del flujo ácido minero (Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas; 1995):

3.2.3.1 Pilas de desmonte

El término "desmonte" generalmente se emplea para hacer referencia a la sobrecapa y rocas que deben extraerse para ganar acceso al mineral. La mayor parte de desmonte se produce en la explotación de minas a tajo abierto.

Habitualmente, esta roca es almacenada en la superficie, en grandes pilas o botaderos de desmonte.

Estos botaderos de desmonte son, generalmente, mezclas de material proveniente de diferentes áreas de explotación o desarrollo minero. Los botaderos, están constituidos por rocas gruesas y se almacenan sobre la capa freática. De este modo, cualquier mineral sulfuroso reactivo queda expuesto al aire y al agua e inmediatamente empieza la generación de ácido. Las reacciones de generación de ácido pueden iniciarse en cualquier lugar del botadero, y generalmente se producen en varios sitios simultáneamente.



3.2.3.2 Embalses de relaves

El desarrollo del flujo ácido en un embalse de relaves es muy limitado durante la operación. Se desarrolla lentamente a lo largo del tiempo, después que haya cesado la acumulación en el embalse. La ocurrencia de las reacciones de oxidación está limitada por la acumulación continua de capas frescas de relaves saturados y alcalinos durante la operación.

Después de que se ha concluido la acumulación y los relaves empiezan a drenar, comienza la oxidación.

Inicialmente, el flujo contaminado puede ser detectado en la escorrentía superficial proveniente de los relaves.

La velocidad a la cual progresa el flujo ácido minero a través de los relaves depende tanto de los controles en la química del agua, como de los controles físicos en el flujo de agua (permeabilidad y pendiente hidráulica).

Pueden pasar años o décadas antes de que pueda detectarse el flujo ácido minero en las filtraciones provenientes de la base de los relaves.

3.2.3.3 Labores mineras subterráneas

Las labores subterráneas pueden ser una fuente considerable de flujo ácido, especialmente en labores antiguas. Las paredes expuestas se encuentran usualmente en áreas mineralizadas y, por tanto, tienen contenidos de metal más elevados que el desmonte. Además, toda roca sulfurosa rota, por técnicas de excavación, como resultado del colapso y hundimiento en labores antiguas, o debido al relleno, puede generar una extensa área superficial de roca quebrada que, puede producir el flujo ácido.

3.2.3.4 Mina a Tajo Abierto

Los procedimientos realizados en minas a tajo abierto comúnmente no descargan agua durante su operación, excepto durante el secado y bombeo de la mina. Por eso es algo más sencillo controlar la calidad del agua de descarga de minas a tajo abierto que de las labores subterráneas.



3.2.4 Etapas en el desarrollo del flujo ácido minero

El desarrollo del flujo ácido es un proceso que depende del tiempo y comprende tanto reacciones químicas de oxidación como fenómenos físicos relacionados. En algunos asientos mineros, el flujo ácido se detecta desde el principio de las operaciones. En otros, han pasado de (10 a 40) años antes de que se observe flujos ácido.

Generalmente, se le observa como un proceso en tres etapas, definidas por el pH del agua en el microambiente de los minerales sulfurosos. (Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas; 1995).

Etapa I. La acidez es generada y rápidamente neutralizada en las etapas iniciales cuando la roca que contiene minerales sulfurados es expuesta al oxígeno y al agua. El flujo de agua es casi neutro. Mientras se produce la oxidación de los minerales sulfurosos, existe todavía suficiente alcalinidad disponible para neutralizar la acidez y precipitar el hierro en forma de hidróxido.

El oxígeno es el oxidante principal, al producir sulfato y acidez. Los minerales carbonatados, como la calcita (CaCO_3), neutralizan esta acidez y mantienen condiciones que van de neutras a alcalinas ($\text{pH} > 7$) en el agua que fluye sobre la roca. También se podría detectar un contenido elevado de calcio y magnesio, como resultado de la disolución de los minerales carbonatados, debido al consumo de ácido.

La oxidación de los minerales sulfurosos libera hierro ferroso (Fe_2^+) en la solución. La oxidación química del hierro ferroso es rápida a un pH superior a 7. EL hierro férrico (Fe_3^+) se precipita de la solución como un hidróxido. De esta manera, la velocidad de oxidación química de la pirita (FeS_2) es relativamente baja, comparada con las etapas posteriores de oxidación, ya que el hierro férrico no contribuye como oxidante.

El agua de flujos se caracteriza generalmente por niveles elevados de sulfato, con pH cercano al neutro. El ácido producido es neutralizado mientras que el hierro férrico se precipita en forma de hidróxido. Si existen minerales de zinc, asociados



con los sulfuros de hierro, también podrían detectarse por concentraciones elevadas en la solución.

Etapa II. A medida que continúa la generación de ácido y se agotan o se vuelven inaccesibles los minerales carbonatados, el pH del agua disminuye progresiva y gradualmente. Cuando el pH del microambiente disminuye hasta 4.5, ocurren reacciones de oxidación tanto química como biológica.

Si la oxidación continúa hasta que se haya agotado todo el potencial de neutralización, se presentarán valores de pH por debajo de 3.5.

El fluido está generalmente cerca al nivel neutro, con concentraciones elevadas de hierro ferroso y sulfato. Se observa una acidez relativamente alta, aún cuando las concentraciones de metales en la solución puedan ser bajas.

Etapa III. A medida que los minerales alcalinos se consumen o recubren, o bien, se produce acidez a mayor velocidad que alcalinidad, la disolución se vuelve más ácida. Las reacciones dominantes se transforman de oxidación química a principalmente oxidación biológicamente catalizada. De las reacciones de oxidación sulfurosa, se produce hierro ferroso que se oxida biológicamente y se convierte en hierro férrico. Este, a su vez, reemplaza el oxígeno como el oxidante principal.

La velocidad de oxidación es considerablemente más rápida que en la Etapa I.

En esta etapa, el agua de flujos es muy ácida, caracterizada por sulfatos y metales disueltos en concentraciones elevadas. El hierro disuelto se presenta como hierro ferroso y férrico.

En algún momento en el futuro, después del inicio de la generación de estos ácidos, la velocidad disminuirá con la oxidación completa de los sulfuros más reactivos. Y el pH se incrementará hasta valores superiores a 4.5. La roca se tornará sólo ligeramente reactiva y el pH del agua del fluido no será afectado. El tiempo para cada etapa sucesiva puede variar de un período de días a un período de cientos de años, dependiendo de los factores que controlen la generación de ácido.



3.2.5 Vigilancia y Control

Dependiendo de la etapa en el proceso de oxidación se determinará la tecnología apropiada para la vigilancia y el control. En la etapa I, puede ser factible el control de las condiciones necesarias para las reacciones de generación de ácido. Se puede prevenir el impacto del flujo contaminado sobre el ambiente mediante un control efectivo del proceso de oxidación. Se puede eliminar el reactante principal necesario para que se produzca la reacción (es decir, el oxígeno). El monitoreo se centrará en los parámetros indicadores del inicio del flujo ácido minero: sulfato, hierro, zinc, etc.

Una vez que se establecen las reacciones de generación de ácido (Etapas II y III), el hierro férrico se convierte en el principal oxidante. En estas etapas, la oxidación está bien establecida y el control del flujo ácido requiere la eliminación del mecanismo de transporte. Se debe evitar que el contaminante sea liberado en el ambiente (es decir, el agua). (Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas; 1995).



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE CAMPO Y LABORATORIO



4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo está encaminado en alcanzar el objetivo general del estudio. Se presentan las diferentes fases que se han realizado con la finalidad de determinar la concentración de los contaminantes encontrados en los flujos ácidos que se encuentran en las márgenes del río Calera.

La metodología empleada se divide en cuatro fases. En la primera fase se recopiló información de interés sobre la zona. La segunda fase consistió en el trabajo de campo, donde se ubicó con GPS los puntos de interés y se obtuvieron las muestras correspondientes. En la tercera fase de laboratorio se determinó el contenido en metales y otros componentes como el ph, alcalinidad total, dureza total y acidez total. En la fase final se evaluaron los resultados obtenidos mediante la aplicación de métodos estadísticos y geoestadísticos, para obtener una caracterización profunda de los flujos ácidos existentes en la zona de estudio. Al final del estudio se presentarán mapas sectoriales de predicción, que proporcionan un indicador bastante representativo de la contaminación en la zona.

4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE INTERÉS SOBRE LA ZONA

La recopilación de información de interés se la realiza para caracterizar el sector e identificar de mejor manera los sitios de evacuación de los fluidos. Además se puede clasificar el tipo de fluido y los componentes que pueden llegar a las orillas del río Calera.

Este proceso de recolección de información se basa en la búsqueda de datos sobre el sector. Fundamental fue la información del proyecto “Estudios de impacto ambiental, plan de manejo de las plantas de beneficio en el distrito minero, Portovelo-Zaruma y diseño definitivo del sistema de manejo de relaves de las plantas de beneficio”, que permitió recopilar información primordialmente de las plantas de beneficio que se encuentran en la zona, procesos y materiales que utilizan.



4.3 PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN LA NORMATIVA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGAS DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

La normativa técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la “Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental”. Y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Esta normativa pretende prevenir y controlar la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua.

Su principal objetivo es proteger la calidad de este recurso para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Esta normativa determina o establece (Normativa de Calidad Ambiental y Descargas de Efluentes: Recurso Agua, en vigencia):

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

Las descargas a un cuerpo de agua dulce deben cumplir con los valores establecidos por la norma de calidad citada anteriormente.

Los niveles máximos de concentración de contaminantes para descargas en agua dulce son presentados en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARAMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Mercurio	Hg	mg/l	0.005
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Arsénico	As	mg/l	0.1
Zinc	Zn	mg/l	5
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000
Hierro Total	Fe	mg/l	10
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	1000
Nitratos + Nitritos	Nitrógeno (N)	mg/l	10
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0.1
Potencial de hidrógeno	pH	-	5 – 9

Fuente: Normativa de Calidad Ambiental y Descargas de Efluentes: Recurso Agua, en vigencia.

4.4 TRABAJOS DE CAMPO

4.4.1 Planeamiento General

El planeamiento general se efectuó luego de haber realizado el trabajo de reconocimiento a lo largo de toda la zona y revisado toda la documentación e información de interés del sector. Se identificó zonas críticas influenciadas por operaciones mineras y se detectó los sectores afectados por las descargas de dichas operaciones, visualizando la coloración característica de los flujos ácidos. De esta manera se identificó los puntos de muestreo.

4.4.2 Descripción del Procedimiento (Metodología general para recolección de datos)

Las muestras representativas de agua, su ubicación y la fecha en que fueron recolectadas se observan en la tabla 4.2.



Tabla 4.2. Ubicación de flujos ácidos.

Estación de Muestreo	Curso de Agua	Sector	Coordenadas Geográficas UTM		Altitud (m.s.n.m.)	FECHA
			X	Y		
A1	Río Calera	El Pache	651709	9589315	614	05/06/10
A2	Río Calera	El Pache	651704	9589293	614	05/06/10
A3	Río Calera	El Pache	651726	9589270	613	05/06/10
A4	Río Calera	El Pache	651741	9589218	611	06/06/10
A5	Río Calera	El Pache	651746	9589249	611	06/06/10
A6	Río Calera	El Pache	651723	9589249	612	01/12/10
A7	Río Calera	El Pache	651740	9589241	612	01/12/10
A8	Río Calera	El Pache	651747	9589182	610	01/12/10

Fuente: El Autor

Los días 05 de Junio, 06 de Junio y 01 de Diciembre del año 2010 se recogieron las muestras (Fig 4.2), para determinar los componentes de los flujos ácidos en el sector. Las coordenadas geográficas de los puntos en donde se tomaron los datos se midieron con un GPS marca GARMIN, modelo Rino 110.

Durante el periodo de trabajo de campo se tomaron 8 muestras de agua en total en donde se pudo localizar flujos ácidos. Estos se los encontró en algunos casos en charcos y cerca de las escombreras en las riberas del río Calera (Fig. 4.1. a-c)

Todas las muestras fueron etiquetadas y transportadas al laboratorio donde finalmente fueron analizadas.



a. Flujo ácido color azul verdoso



b. Flujo ácido azulado



c. Flujos ácido color marrón característico de la presencia de minerales sulfurosos

Fig. 4.1. Flujos ácidos (DRAM) (sector El Pache)

Fuente: El Autor

La recolección de las muestras se realizó cuidadosamente de forma manual, fueron envasadas en botellas de plástico previamente lavadas. En la *Fig. 4.2* se puede apreciar la forma de recolección de las muestras.



a. Flujo ácido con fuerte coloración rojiza dada por especies oxidadas de hierro.



b. Flujo ácido verdoso característico del alto grado de cianuro

Fig. 4.2. Recolección de muestras (Flujos ácidos de minas) sector El Pache

Fuente: El Autor

4.5 TRABAJOS DE LABORATORIO

En este apartado se presentan los análisis realizados en el laboratorio de las muestras recolectadas. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio del CETTIA de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) para obtener la composición de los fluidos. Los métodos utilizados se describen a continuación y son resumidos en la tabla 4.3. (Pauta, G; 1998)



Espectrofotometría de absorción atómica: La técnica resulta casi insuperable como método de análisis elemental de metales.

La absorción depende de la presencia de átomos libres no excitados en la llama. Los átomos libres están presentes en más abundancia que los átomos excitados. Por tanto, algunos elementos como el zinc y el magnesio, que no son fácilmente excitados por la llama, se pueden medir fácilmente por este método.

Métodos gravimétricos: En esta forma de análisis, el compuesto o elemento que se desea determinar, se separa por precipitación, evaporación o filtración. Una vez aislado el elemento o producto resultante, se deseca en un horno para eliminar toda la humedad y se lo pesa. Del peso obtenido se deduce la cantidad de sustancia fundamentada en la composición de sustancias puras y en las relaciones ponderales (estequiometría⁷) de las reacciones químicas.

Métodos volumetricos: En estos métodos, la sustancia que se desea cuantificar, reacciona químicamente con una solución de concentración conocida. Se forma un determinado compuesto. La solución de concentración conocida se denomina “solución titulante” o “solución tipo”. Estas soluciones contienen un número conocido de equivalentes del reactante o sustancia activa (gr/L) por litro, y van contenidas en un recipiente graduado denominado bureta. La lectura del volumen de la solución tipo empleada en la reacción correspondiente, permite deducir a partir del volumen de agua utilizado, la concentración del elemento que se investiga.

- **Métodos de neutralización:** Incluye la neutralización de los ácidos y de las bases. En estas reacciones se generan la unión de cationes hidrógeno (H^+) y de aniones hidróxido (OH^-) para formar moléculas de agua.
- **Métodos de precipitación:** En este método, la solución titulante que se emplea reacciona con el elemento que queremos cuantificar y forma un precipitado (compuesto insoluble). Las determinaciones de cloruros y sulfatos en el agua, se obtienen con este procedimiento de análisis.

Métodos Potenciométricos: En este método se usa electrodos para medir la diferencia del potencial existente entre ellos. Un electrodo específico y un electrodo

⁷ Hace referencia al número relativo de átomos de varios elementos encontrados en una sustancia química



de referencia se colocan en una misma solución. La diferencia es una función de la actividad de los iones correspondientes al electrodo específico. La actividad del ión que se investiga en la muestra, es proporcional a su concentración en soluciones diluídas.

Tabla 4.3. Métodos utilizados para ensayos de laboratorio

NORMA	PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO
Absorción atómica. Llama	Potasio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. Llama	Sodio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. GH	Mercurio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. HG	Plomo	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. Llama	Cadmio	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. Llama	Cromo	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. Llama	Cobre	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. GH	Arsénico	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Absorción atómica. Llama	Zinc	mg/l	Absorción Atómica	Espectrofotómetro de Absorción Atómica
iApH-01	pH	-	Electroquímico	pH - metro
LIA-CI-001	Dureza Total	mg/l	Precipitación (volumétrico)	Balanza, bureta, etc
LIA-Ca-001	Calcio	mg/l	Precipitación (volumétrico)	Balanza, bureta, etc
LIA-CI-001	Cloruros	mg/l	Precipitación (volumétrico)	Balanza, bureta, etc
LIA-HACH 8008	Hierro Total	mg/l	Precipitación (volumétrico)	Balanza, bureta, etc
LIA-G-001	Sulfatos	mg/l	Gravimétrico	Balanza, bureta, etc
LIA-HACH-8171	Nitrato	mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro (DR-2800-DIB)
LIA-HACH-8507	Nitrito	mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro (DR-2800-DIB)
LIA- nova 003	Cianuros	mg/l	Espectrofotométrico	Espec-Nova-400
LIA-AT-002	Acidez Total	mg/l	Neutralización (volumétrico)	Balanza, bureta, etc
LIA-AT-002	Alcalinidad	mg/l	Neutralización (volumétrico)	Balanza, bureta, etc

Fuente: Pauta, G; 1998



4.6 MÉTODOS UTILIZADOS

4.6.1 Análisis Bivariado

4.6.1.1 Representación gráfica de datos (Diagramas de dispersión)

Una gráfica es una forma de representar y resumir datos. Una representación de datos mediante ilustraciones hace más evidentes ciertas características que una tabla de frecuencias. Al representar los resultados de forma gráfica se descubren nuevas características de ellos. (Weimer, R; 2005).

Hay gráficas de varios tipos como son las de pastel, la de barras, la lineal, el diagrama de tallo, etc.

Para la representación de los resultados de laboratorio se usaran las gráficas lineales, llamados polígonos de frecuencia. Este tipo de gráficas ofrece una alternativa más útil respecto al histograma debido a que crea la impresión de que las frecuencias cambian más suavemente. Un histograma sugiere cambios abruptamente.

Los datos bivariados pueden verse como una colección de pares ordenados (x, y) , donde la medida "x" en el primer conjunto de datos es la pareja de la medida "y" en el segundo conjunto. El valor perteneciente al primer conjunto se escribe siempre primero en la pareja. (Weimer, R; 2005). Se acostumbra a llamar variable independiente a la variable "x" y variable dependiente a la variable "y". Estos pares ordenados se dibujarán en un sistema coordinado. La gráfica resultante se llama diagrama de dispersión.

4.6.1.2 Correlación

Uno de los objetivos principales de la estadística es la posibilidad de estimar o predecir el valor de una variable que depende de otra. El análisis de correlación es un método estadístico que determina la fuerza de relación o dependencia lineal existentes entre las variables. (Montgomery Douglas, C. y Runger George, C; 1996)

Anteriormente describimos los diagramas de dispersión, mediante este medio gráfico podemos determinar también si existe una relación lineal entre dos variables. Si todos



los puntos caen exactamente en una línea recta entonces las dos variables tienen una correlación lineal perfecta. Si los puntos están cerca de una línea recta, se dice que los datos variables tienen una correlación fuerte. La línea recta puede tener una pendiente positiva, entonces las dos variables tienen correlación lineal positiva. O una pendiente negativa (correlación lineal negativa). Si la recta tiene una pendiente de cero, no hay correlación lineal entre las dos variables.

En este proyecto se utilizará la matriz de correlación para el estudio de la relación entre dos variables (componentes). Mediante esta herramienta estadística podemos encontrar el tipo y grado de relación que pueda existir entre dos o más variables. O si por el contrario las variables sean independientes entre sí.

Para cuantificar la calidad de la dependencia, entre las dos variables, el indicador más acostumbrado es el coeficiente de correlación (r), definido como: (Montgomery Douglas, C. y Runger George, C; 1996)

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Dónde:

r : coeficiente de correlación entre “X” y “Y”

S_x : desviación típica de “X”

S_y : desviación típica de “Y”

$S_{x,y}$: covarianza entre “X” y “Y”

No todas las relaciones son tan ideales, en el común de los casos $-1 < r < 1$.

4.6.2 Análisis Estadístico Univariado (Análisis Exploratorio de Datos)

“El análisis exploratorio de datos es un conjunto de técnicas, fundamentalmente gráficas, que pretenden dar una visión intuitiva y simple de las principales características de la distribución en estudio”. (García, J. A; González, C y Ruiz, G; 2007).



Para este estudio se utilizó el *Explore data* “ESDA” (Exploración de datos) que se lo encuentra dentro de la extensión del Análisis Geoestadístico correspondiente al software ArcGIS 9.3.

Los objetivos del análisis exploratorio en líneas generales son:

- Examinar la distribución de los datos
- Detectar valores extremos
- Buscar tendencias globales
- Examinar la auto correlación espacial y variación direccional de los datos
- Entender la covariación entre múltiples variables
- Realizar transformaciones de los datos si son requeridas

Además permite investigar gráficamente los datos muestrales para un mejor conocimiento de los mismos.

4.6.2.1 Histograma

Es una de las herramientas para realizar los análisis exploratorios de datos. Permite una descripción univariada (de una sola variable). El histograma presenta una distribución de frecuencias en un gráfico y un cuadro resumen de algunos estadísticos descriptivos. La distribución de frecuencias se presenta mediante una serie de barras que agrupan los valores observados en un determinado número de clases o intervalos. La altura de cada barra representa la frecuencia absoluta. (Cañada Torrecilla, M. R; 2007).

El cuadro resumen de estadísticos descriptivos que se presentan son número de muestras, mínima, máxima, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, mediana, primer y tercer cuartil.

Para comprobar la normalidad de la distribución de las variables se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones en las medidas estadísticas. Esas medidas son la media, la mediana, la desviación estándar, el coeficiente de asimetría y la curtosis que a continuación se explica.



Media

La media o promedio aritmético de un conjunto de valores es una medida de centralidad. Se define como la suma de todos los valores observados, dividido por el número total de observaciones. (Romero Vilafranca, R. y Zuñiga Ramajo, L; 2005).

$$\text{Media Aritmética} = \frac{\text{Suma de todos los valores observados}}{\text{Número total de observaciones}}$$

La media aritmética para una muestra está determinada como:

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Dónde:

- X - Media aritmética
- n - tamaño de la muestra
- X_i - valores observados

“La media sintetiza la información existente en la totalidad de los datos en un número que da una idea clara sobre la posición de los mismos.” (Romero Vilafranca, R. y Zuñiga Ramajo, L; 2005).

Para comprobar la normalidad de la distribución de las variables la media aritmética debe tener un valor igual o próximo al de la mediana.

Mediana

Es el puntaje medio ordenado que permite identificar el valor que se encuentra en el centro de los datos. Es decir, permite conocer el valor que se encuentra exactamente en la mitad del conjunto de datos después que las observaciones se han ubicado en serie ordenada de forma creciente. Esta medida nos indica que la mitad de los datos (50%) se encuentran por debajo del valor de la mediana y la otra mitad por encima del mismo. Dando así otra idea del centro de distribución.

Para determinar la posición de la mediana Sean $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ los datos de una muestra ordenada en orden creciente, distinguimos dos casos: (Romero Vilafranca,



R. y Zuñiga Ramajo, L; 2005).

- a) Si “ n ” es *impar*, la mediana es el valor que ocupa la posición $(n + 1) / 2$ una vez que los datos han sido ordenados (en orden creciente o decreciente), porque éste es el valor central. Es decir:

$$Md = X_{\frac{n+1}{2}}$$

- b) Si “ n ” es *par*, la mediana es la media aritmética de las dos observaciones centrales. Los dos datos que están en el centro de la muestra ocupan las posiciones $(n / 2)$ y $(n / 2 + 1)$. Es decir: $M_e = (x_{n/2} + (x_{n/2 + 1})) / 2$

$$Md = \frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n+1}{2}}}{2}$$

Dónde:

Md	-	Mediana
X	-	Valor observado
n	-	tamaño de la muestra

Desviación Estándar o típica

La desviación estándar describe la dispersión de los datos respecto a la media en las mismas unidades que los datos originales. La desviación estándar da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza: (Cañada Torrecilla, M. R; 2007)

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - x^2 \qquad S = \sqrt{S^2}$$

Dónde:

S^2	-	Varianza
S	-	Desviación estándar



- n - tamaño de la muestra
- x - valores observados

Para que exista una normalidad en la distribución de las variables se debe considerar que el valor de la desviación estándar sea igual o cercano a 1.

Coeficiente de Asimetría

“El coeficiente de asimetría o sesgo (skewness), estudia el grado de concentración de la masa de los valores a un lado u otro de la media.” (Cañada Torrecilla, M. R; 2007)

La asimetría presenta tres estados diferentes (Fig. 4.4). Cada uno de estos estados define la distribución de los datos respecto al eje de asimetría.

Cuando el coeficiente de asimetría es mayor a cero (masa de valores inferior a la media), se dice que la distribución está sesgada positivamente, o que tiene **asimetría positiva**. La curva de la gráfica aparece con una cola de valores a la derecha (Fig 4.3.c). Si el coeficiente de asimetría es inferior a cero, porque la mayor cantidad de valores es superior a la media, la distribución está sesgada negativamente o tiene **asimetría negativa**. La curva de la gráfica aparece con una cola de valores a la izquierda (Fig 4.3.a). Una distribución **perfectamente simétrica** se da cuando se distribuyen los valores en ambos lados de la media con la misma cantidad. En este caso se tiene un sesgo igual a cero (Fig 4.3.b).

La dirección del sesgo hace referencia a la dirección de la cola más larga, no a la parte en la que está situada la cúspide de los datos.

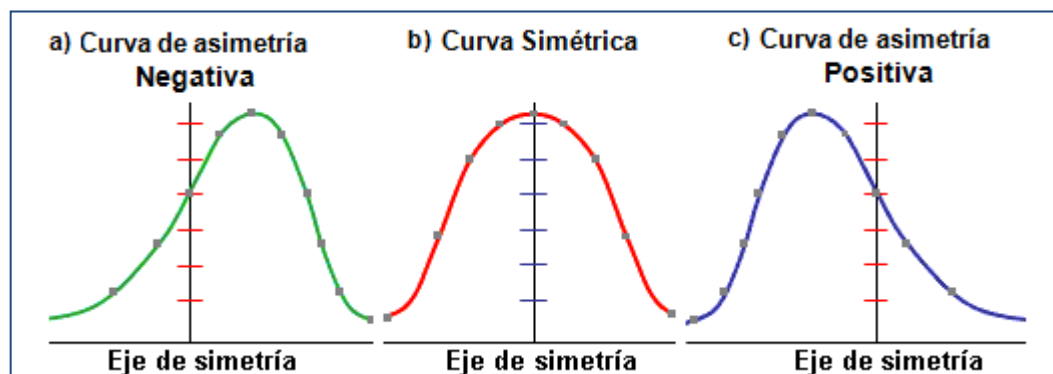


Fig. 4.3. Curvas de asimetría
Fuente: Norman, G. y Streiner, D. (2005).

El coeficiente de asimetría se representa mediante la siguiente ecuación: (Cañada Torrecilla, M. R; 2007)

$$g_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - X)^3 n_i}{\left(\frac{1}{n} \sum (X_i - X)^2 n_i \right)^{3/2}}$$

Dónde:

g_1	-	coeficiente de asimetría
X_i	-	cada uno de los valores
X	-	media de la muestra
n_i	-	frecuencia de cada valor
n	-	tamaño de la muestra

Curtosis

La Curtosis determina el grado de concentración de los valores en la región central de la distribución (Fig, 4.4). Cuando el valor de la Curtosis es superior a 3 la distribución será muy picuda o **Leptocúrtica** (Fig, 4.4.a). Cuando la Curtosis tenga un valor inferior a 3 la distribución será muy plana o **Platicúrtica** (Fig, 4.4.c). Una distribución normal o **Mesocúrtica** (Fig, 4.4.b) se da cuando la Curtosis es igual a 3 aunque se puede aceptar valores aproximados (± 0.5).

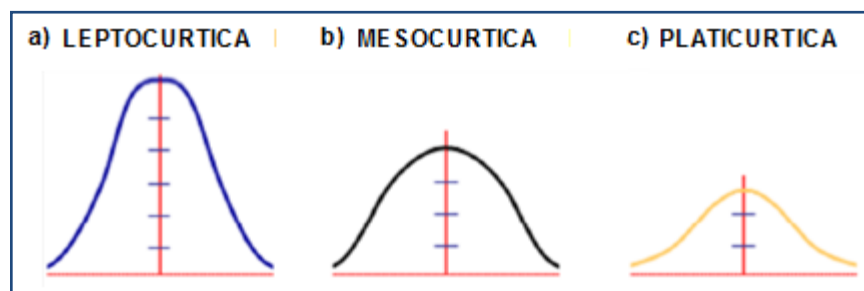


Fig. 4.4. Curvas de Curtosis
Fuente: Norman, G. y Streiner, D. (2005).

Para calcular el coeficiente de Curtosis se utiliza la ecuación: (Cañada Torrecilla, M. R; 2007)



$$g_2 = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - X)^4 n_i}{\left(\frac{1}{n} \sum (X_i - X)^2 n_i\right)^2} - 3$$

Dónde:

- g_2 - coeficiente de Curtosis
- X_i - cada uno de los valores
- X - media de la muestra
- n_i - frecuencia de cada valor
- n - tamaño de la muestra

Cuando la distribución de los datos cuenta con un coeficiente de asimetría ($g_1 \pm 0.5$) y un coeficiente de Curtosis de ($g_2 \pm 0.5$), se le denomina Curva Normal.

Este criterio es de suma importancia para la mayoría de los procedimientos de la estadística de inferencia, porque se requiere que los datos se distribuyan normalmente

4.6.2.2 Transformación de los datos

Para algunos métodos de interpolación como el kriging ordinario es necesario que los datos se ajusten a una distribución normal. Es decir que los datos estén distribuidos normalmente y además que exista una igualdad de sus varianzas, o por lo menos que las varianzas sean parecidas. Para esto a veces es factible llevar a cabo transformaciones de estos datos.

Como anteriormente se explicó, para tener una distribución normal los valores de la media y mediana deben coincidir y consecuentemente su razón debe ser igual a 1. Otra consideración para usar la transformación es que la asimetría este próxima a cero y la Curtosis próxima a 3.

A continuación se señalan los métodos de transformación que permite el análisis Geoestadístico y que se utilizaron en este estudio: (Cañada Torrecilla, M. R; 2007)



A) Transformación de Box-Cox

$Y(s) = \frac{Z s^\lambda - 1}{\lambda}$ para $\lambda \neq 0$. Siendo $Y(s)$ el valor resultante de la transformación, $Z(s)$ el valor original de la variable, y λ el exponente al que elevo la variable original.

B) Transformación Logarítmica

Se considera parte de la transformación Box-Cox cuando $\lambda = 0$, la fórmula es:
 $Y(s) = \ln Z s$ para $Z(s) > 0$. Siendo \ln el logaritmo natural. La transformación logarítmica se utiliza cuando los datos presentan una asimetría positiva; existiendo un grupo de datos con valores muy elevados.

4.6.3 Análisis Geoestadístico

“La geoestadística es el arte de modelar datos espaciales, es una técnica estadística usada para la estimación, predicción y simulación de datos correlacionados espacialmente.” (Siabato, W. y Yudego, C; 2004)

Mediante la geoestadística se puede describir la continuidad espacial de las variables y estimar valores muy cercanos a los reales en puntos desconocidos.

Para el análisis se utiliza métodos exploratorios y de interpolación. Cuando los datos son irregulares, la muestra no es representativa y/o la interpolación simple da resultados incoherentes con la realidad. Los métodos geoestadísticos proporcionan estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación. Paralelamente, proporciona una herramienta que son los semivariogramas, los cuales permiten obtener una mejor comprensión de los datos. Además basándose en la información disponible se puede crear la mejor estimación posible, permitiendo la toma de mejores decisiones.

Tal y como lo mencionó Rangel, A. P; et al. (2003) “para realizar un buen análisis geoestadístico se debe realizar un proceso iterativo para poder obtener resultados óptimos y confiables.”

4.6.3.1 Semivariograma

El semivariograma tiene como uno de sus principales objetivos explorar y cuantificar la dependencia espacial de una variable, asumiendo que los valores de los puntos que están más cercanos son más parecidos que los valores de los puntos más lejanos. También asume el principio de la estacionariedad. Es decir, si dos lugares están a una distancia y dirección similar tendrán similares diferencias al cuadrado entre sus valores.

4.6.3.1.1 Modelos teóricos de semivariogramas

Con las funciones del semivariograma se estiman los modelos teóricos que utiliza el Kriging para predecir valores y calcular los errores típicos. El análisis geoestadístico proporciona 14 funciones, aunque las más usadas son la esférica y la exponencial, cuyas ecuaciones y modelos (Fig. 4.5) se presentan a continuación. (Cañada Torrecilla, M. R; 2007)

Modelo Esférico

$$\gamma h = \phi_s \left[\frac{3}{2} \frac{h}{\phi_r} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\phi_r} \right)^3 \right] \text{ si } 0 \leq h \leq \phi_r$$

$$\gamma h = \phi_s \text{ si } \phi_r < h$$

Donde $\phi_s \geq 0$ es el *partial sill* (meseta parcial) C y $\phi_r \geq 0$ es el *range* (alcance) (a)

Modelo Exponencial

$$\gamma h = \phi_s \left[1 - \exp \left(-\frac{3}{\phi_r} h \right) \right]$$

Para todas las h, donde $\phi_s \geq 0$ es la meseta parcial C (partial sill) y $\phi_r \geq 0$ es el alcance a (range).

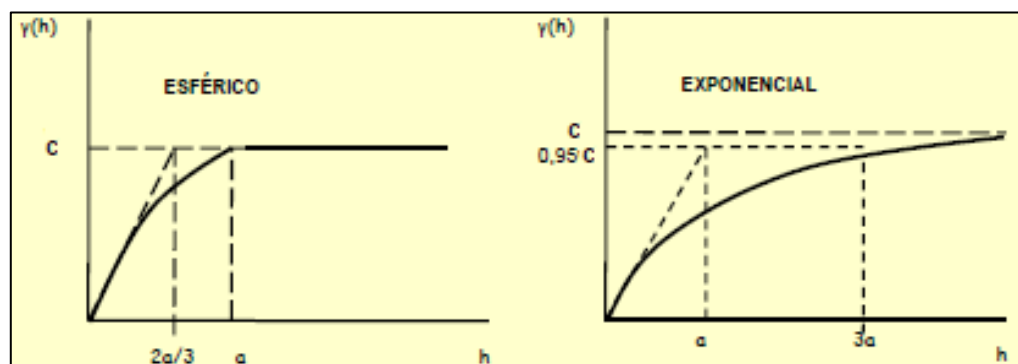


Fig. 4.5. Modelos teóricos de semivariogramas

Fuente: Cañada Torrecilla, M. R. (2007).



El modelo esférico muestra una progresiva disminución de la autocorrelación espacial (equivalente a un incremento de la semivarianza) hasta una distancia por encima de la cual la autocorrelación es cero (*Fig 4.5.izquierda*). El modelo exponencial se aplica cuando la autocorrelación espacial decrece exponencialmente con el incremento de la distancia, desapareciendo completamente sólo a una distancia infinita (*Fig 4.5.derecha*). El modelo lineal (línea discontinua) nunca alcanza la autocorrelación igual a cero, ya que se incrementa linealmente con h (Adoptaría la forma $\gamma(h) = h$).

4.6.3.1.2 Parámetros del semivariograma

El ajuste de los modelos teóricos al semivariograma experimental, se realiza de forma visual o interactiva. En esto se varía los valores hasta coincidir con los parámetros que mejor se ajustan.

Los parámetros del semivariograma caracterizan tres elementos importantes en la variabilidad de un atributo que son: la discontinuidad en el origen (existencia de efecto de pepita), el valor máximo de variabilidad (meseta), y el área de influencia de la correlación (alcance), (*Fig. 4.6*). Los 3 elementos se describen a continuación. (Davis, M; 1997)

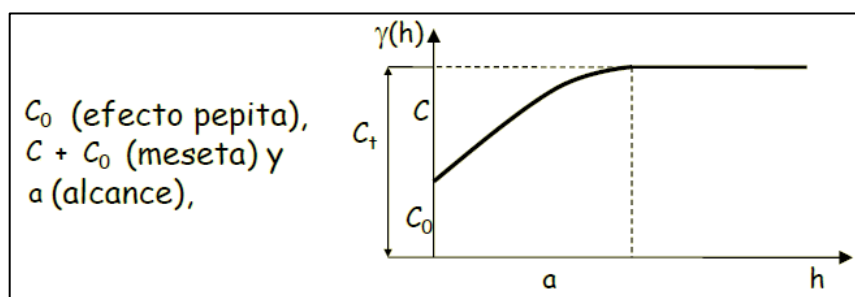


Fig. 4.6. Parámetros del semivariograma

Fuente: Cuador Gil, J.Q. (2000).

- El Efecto Pepita (Nugget)

El *efecto pepita* representado como C_0 , se le denomina a la discontinuidad que se presenta en el origen del semivariograma. Puede ser obtenido trazando una línea recta entre los primeros puntos del semivariograma empírico y extender ésta hasta que se intercepte con el eje Y. Si la intersección ocurre por debajo de 0, el valor



asumido por este efecto es 0, pues no son comunes ni tienen significado valores negativos de $\gamma(0)$.

- **La Meseta (Sill)**

Se representa como ($CT = C + Co$) y es el valor de $\gamma(h)$ para el cual con el aumento de h su valor permanece constante (autocorrelación 0).

Se la puede obtener trazando una línea paralela a la abscisa y que se ajuste a los puntos de mayor valor del semivariograma. Su valor será el que se lea en la intersección de ésta línea con la ordenada.

- **El Alcance (Range)**

El alcance se denomina a la distancia h para la cual las variables $Z(x)$ y $Z(x+h)$ son independientes. Es decir, las distancias para la cual los valores de la variable dejan de estar correlacionados, o lo que es lo mismo, la distancia para la cual el semivariograma alcanza su meseta.

El Alcance se representa por (a), su valor siempre será positivo. El alcance puede ser obtenido trazando una línea paralela a la ordenada desde la meseta. El valor del alcance es el punto donde cruza la abscisa.

4.6.3.2 Técnica de Interpolación Geoestadística: kriging ordinario

Todos los métodos geoestadístico forman parte de la familia kriging, En el análisis Geoestadístico son posibles el kriging ordinario, el kriging simple, el kriging universal, el de probabilidad, el indicador y el disyuntivo. (Cañada Torrecilla, M. R; 2007).

El más frecuente es el Kriging ordinario o Kriging puntual que es una técnica que consiste en encontrar la mejor estimación posible de una característica considerando la información disponible. Se utilizan funciones aleatorias estacionarias de esperanza desconocida (Matheron, G; 1970)

Este método es considerado para muchos como el mejor estimador lineal insesgado, (denominado BLUE), correspondiente a las iniciales de *best linear unbiased estimator* (Journel, A.G. y Huijbregts, C. J; 1978). El Kriging ordinario es lineal,



porque sus estimaciones son combinaciones lineales ponderadas, e insesgado, porque busca un valor medio de los residuos o errores. Por último se considera mejor porque trata de minimizar la varianza de los errores.

El Kriging Ordianrio asume que la variable es estacionaria y que no tiene tendencia, su ecuación es: (Cañada Torrecilla, M. R; 2007).

$$Z_s = \mu_s + \varepsilon_s ,$$

Dónde:

- Z_s - variable de interés
- μ_s - constante (media) desconocida
- ε_s - errores aleatorios
- s - determina el lugar con las coordenadas espaciales X (Longitud) e Y (Latitud)

4.6.3.3 La búsqueda de vecindad en el kriging

Cuando se ajusta un modelo de semivariograma se debe especificar la búsqueda de la vecindad que limita el número y la configuración de los puntos que se van a utilizar en la predicción. Los mecanismos de control para limitar los puntos usados son la forma de vecindad y el establecimiento de restricciones de los puntos dentro de la forma.

La forma de la búsqueda de vecindad estará dictada por los datos de entrada. Si es que en estos datos no hay influencia direccional (isotropía), la forma que se elegirá será un círculo. Pero si los datos tienen autocorrelación direccional (anisotropía) entonces se elegirá una elipse como forma de búsqueda de vecindad.

El cuadro de dialogo de búsqueda de vecindad por medio del programa ArcGIS 9.3 en el Asistente Geoestadístico paso 3 (*Fig. 4.7*) permite definir la extensión de los ejes así como el ángulo de dirección del eje mayor.

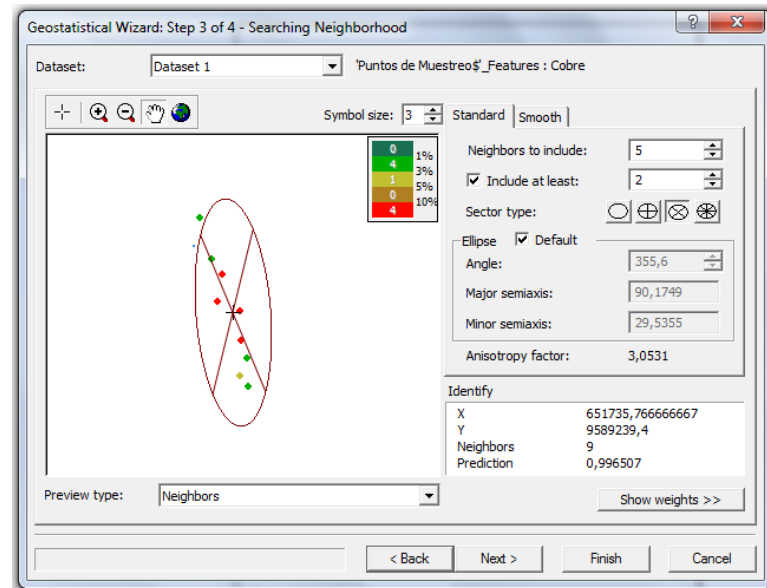


Fig. 4.7. Cuadro de diálogo de búsqueda de vecindad

Fuente: El Autor (ArcGIS)

Definida la forma, el segundo mecanismo de control de la vecindad es establecer restricciones dentro de la forma eligiendo el número de puntos que van a ser usados para la predicción. Para evitar tendencias en una determinada dirección, el círculo o elipse son divididos en sectores en los cuales se elige igual número de puntos. El número de sectores y puntos utilizados se establecerá de forma objetiva, conociendo la localización espacial de los datos muestrales. Pero se debe tener cuidado de no incluir puntos que estén demasiado alejados del lugar de predicción.

4.6.3.4 Análisis de Anisotropía

El semivariograma describe las características de continuidad espacial de la variable regionalizada en una dirección. Pero este comportamiento puede variar según la dirección que se analice. Por eso se requiere un análisis del comportamiento de la continuidad en distintas direcciones, que se denomina Análisis de Anisotropía.

Cuando el semivariograma calculado en diferentes direcciones (norte-sur, este-oeste, y en direcciones intermedias de 45° o de 22.5°, con tolerancia de 22.5 °), muestra similar comportamiento, se dice que el fenómeno es *Isotrópico*, cuando muestran diferentes comportamientos es *Anisotrópico*. Los tipos de Anisotropías más comunes son: (Cuador Gil, J.Q; 2000).



Ansotropía Geométrica

Cuando los semivariogramas en diferentes direcciones tiene la misma meseta pero distintos alcances.

Ansotropía Zonal

Cuando los semvriogramas en diferentes direcciones tiene diferentes mesetas y alcances.

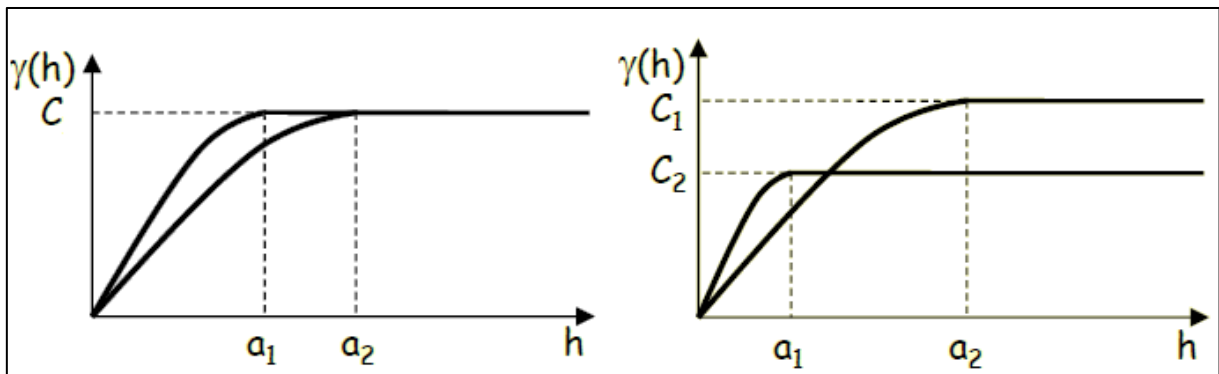


Fig. 4.8. *Ansotropía Geométrica y Ansotropía Zonal.*

Fuente: Cuador Gil, J.Q. (2000).

4.6.3.5 Validación del Modelo Teórico (Validación cruzada)

Es una herramienta que nos permite comprobar la validez del modelo que estamos utilizando, tomando una decisión sobre el modelo que proporciona las mejores predicciones.

Su característica principal es que usa todos los datos muestrales para estimar el modelo de autocorrelación. Cada vez quita un dato y predice su valor con el resto de la muestra. Después compara el valor predicho de ese punto con el valor observado. El proceso se repite para cada uno de los “*n*” puntos muestreados, calculando “*n*” errores de validación. Al final compara los valores observados con los calculados.

Para que las predicciones sean satisfactorias, se debe probar diferentes valores de los parámetros del semivariograma, hasta que los errores de validación cumplan con criterios estadísticos. El cuadro de resumen estadístico (prediction Error) (*Fig. 4.9*), se puede detectar, así:



La Media Estandarizada (Mean Standardized) debe estar cerca de 0 y el error cuadrático medio estandarizado (Root-Mean-Square Standardized) debe estar próximo a 1. El error típico medio (Mean Standard Error) debe de estar próximo al error cuadrático medio (Root-Mean-Square).

Prediction errors	
Mean:	0,004626
Root-Mean-Square:	0,06381
Average Standard Error:	0,06201
Mean Standardized:	0,02195
Root-Mean-Square Standardized:	0,9831
Samples: 10 of 10	

Fig. 4.9. Ejemplo, validación cruzada

Fuente: El Autor

4.6.3.6 Resumen del análisis geoestadístico

Para este estudio se utiliza la extensión *Geoestadistical Analyst* (Análisis Geoestadístico) integrada en *ArcMAP* que forma parte del software *ArcGIS 9.3*. Esta herramienta estadística permite crear modelos de superficies usando métodos deterministas y geoestadístico.

Se utilizó el asistente geoestadístico (*Geoestatistical wizard*) que se lo encuentra dentro de la extensión del análisis geoestadístico.

La finalidad de este análisis es contar con mapas sectoriales de predicción que ubiquen de forma gráfica los sectores involucrados y su grado de contaminación. Para esto se necesita llevar a cabo un ciclo metodológico que cuenta con las siguientes etapas básicas:

- **Análisis Exploratorio de los datos:** Antes de aplicar Geoestadística como tal, se debe de examinar los datos para evitar errores en los análisis. Por ejemplo se debe observar que tipo de distribución tienen los datos, buscar si la muestra tiene alguna tendencia, detectar valores atípicos o extremos para realizar transformaciones de los datos. Finalmente se decide incluirse o retirarse datos de la muestra, para analizar la distribución espacial, etc.
- **Selección del método:** Se escoge el método que se va a utilizar para hacer la interpolación, sea determinístico (Interpolación por Distancia Inversa, Interpolación por Distancia Inversa Cuadrada, Interpolación por el método de Shepard, Interpolación Polinomial, etc.) o estocástico (Kriging Ordinario,



Simple, Universal, Indicador, Probabilístico, Disyuntivo, etc.) y la variable en cuestión.

Se puede hacer un análisis individual o en conjunto para las variables dependiendo del método de análisis. Por ejemplo, el Kriging se usa para análisis sencillos y el Co-Kriging para análisis multivariable.

- **Análisis Estructural y cálculo:** Para el cálculo y la obtención del modelado del semivariograma se debe primero calcular el variograma experimental. Se utiliza una función de correlación espacial, sea de semivarianza o covarianza. De acuerdo a la nube de puntos generada en el semivariograma experimental se busca el modelo teórico que mejor se ajuste como el Esférico, Exponencial, Gaussiano, Potencial, etc. Los dos primeros modelos son los más frecuentes. Después se define el número y tamaño de los intervalos (Lag) que se van a utilizar en el modelo. Se recomienda un tamaño de Lag similar a la distancia promedio que existe entre la ubicación espacial de los datos.

Se define si existe isotropía o anisotropía mediante el análisis del Semivariograma desde diferentes ángulos de referencia. Con base en la existencia o no existencia de autocorrelación direccional se define la vecindad de análisis para cada uno de los datos. Posteriormente, se hace la verificación del error de predicción, que se puede realizar mediante validación cruzada. Este proceso se repite para cada uno de los valores muestreados.

- **Resultado de la estimación y salida final:** Los resultados se pueden visualizar en tablas como las de validación cruzada, histogramas, análisis de tendencia, nubes de puntos del semivariograma, etc. y en los mapas de predicción. Este proceso se debe repetir para cada una de las variables que se deseen examinar dentro del análisis.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se adjuntan los resultados obtenidos en el laboratorio del CETTIA de la Universidad Técnica Particular de Loja. Para cada una de las muestras recolectadas, se presenta el resultado de los componentes más importantes. Así como los análisis estadísticos y geoestadísticos con su respectiva interpretación y discusión.

Cabe indicar que luego del análisis de las primeras cinco muestras, se pudo apreciar la baja concentración de algunos de los componentes, así como lo alejados que estaban de los límites permisibles por las NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA de EFLUENTES: RECURSO AGUA (Libro VI, Tabla 12). Estos componentes fueron descartados para el análisis de las tres últimas muestras. Y son los siguientes: Potasio, Sodio, Cadmio, Cromo, Zinc, Calcio, Nitrato y Nitrito.

5.2 COMPOSICIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS

En este apartado se presentan las concentraciones de los distintos componentes analizados en las muestras de flujos ácidos recolectadas en las riberas del río Calera distrito minero Portovelo – Zaruma. Además se presentan los resultados de la mínima, máxima, promedio y desviación estándar de cada uno de los componentes.

5.2.1 Resultados de Laboratorio

Las tablas 5.1 y 5.2 presentan las concentraciones de cada componente cuyos análisis fueron realizados en el laboratorio. Además en dichas tablas se encuentra citada la ubicación geográfica de cada punto en el que fueron efectuadas la recolección de las muestras, así como la fecha en la que se realizaron los muestreos.



Tabla 5.1. Resultados de Laboratorio Nro.1

SECTOR EL PACHE (RIVERAS DEL RÍO CALERA)					
PUNTOS DE MUESTREO					
MUESTRA Nro.	1	2	3	4	5
PARÁMETROS	UBICACIÓN E 651726	UBICACIÓN E 651726	UBICACIÓN E 551741	UBICACIÓN E 551741	UBICACIÓN E 551741
	N 9589270	N 9589270	N 9589218	N 9589218	N 9589218
	FECHA: 06/07/10.	FECHA: 06/07/10.	FECHA: 06/07/10.	FECHA: 06/07/10.	FECHA: 06/07/10.
Potasio mg/l	0,21	0,25	0,14	0,23	0,3
Sodio mg/l	0,1	0,16	0,22	0,11	0,12
Mercurio mg/l	0,13	0,19	0,13	0,19	0,25
Plomo mg/l	0,24	0,31	0,44	0,37	0,41
Cadmio mg/l	0,005	0,008	0,007	0,009	0,005
Cromo mg/l	0,005	0,006	0,005	0,008	0,007
Cobre mg/l	0,5	0,3	0,6	0,9	0,5
Arsénico mg/l	0,33	0,28	0,21	0,16	0,2
Zinc mg/l	0,5	0,43	0,52	0,33	0,32
pH	7,6	8,39	7	7,58	6,86
Dureza Total mg de CaCO ₃	1400	240	640	75	90
Calcio mg de Ca	480,9	92,18	210,4	0	28,1
Cloruros mg/l	440	445	20	35	8,5
Hierro Total mg/l	4,44	4,38	0,07	1,93	3,23
Sulfatos mg/l	1560	1600	600	50	100
Nitrato mg/l	79	295	31,9	3	3,3
Nitrito mg/l	1,34	7,17	6,85	0,2	0
Cianuros mg/l	0,31	0,88	0,015	0,98	0,193
Acidez Total mg/l	40	0	5	10	4
Alcalinidad mg/l	522	984	84	92	50

Fuente: El Autor



Tabla 5.2. Resultados de Laboratorio Nro.2

SECTOR EL PACHE (RIVERAS DEL RÍO CALERA)						
PUNTOS DE MUESTREO						
MUESTRA Nro.	6		7		8	
	UBICACIÓN	E 651726	UBICACIÓN	E 651726	UBICACIÓN	E 551741
		N 9589270		N 9589270		N 9589218
	FECHA:	07/12/10.	FECHA:	07/12/10.	FECHA:	07/12/10.
Mercurio	mg/l	0	0	0		
Plomo	mg/l	0,325	0,289	0,307		
Arsénico	mg/l	0,056	0,051	0,044		
Cobre	mg/l	1,438	1,058	1,007		
pH		8,75	8,55	7,71		
Dureza Total	mg de CaCO3	600	750	540		
Cloruros	mg/l	670	580	275		
Hierro Total	mg/l	8	1,7	5,3		
Sulfatos	mg/l	1220	720	660		
Cianuros	mg/l	4860	5330	4780		
Acidez Total	mg/l	0	0	0		
Alcalinidad	mg/l	1000	600	330		

Fuente: El Autor



5.2.2 Resumen de resultados

En la tabla 5.3 se presenta el resumen de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 5.3. Composición de los flujos ácidos

SECTOR EL PACHE (RIBERAS DEL RÍO CALERA) COMPOSICIÓN (FLUJOS ÁCIDOS)

COMPONENTES	UNIDAD	DESVIACIÓN	MÁXIMA	MEDIA	MÍNIMA
		ESTANDAR			
Potasio	mg/l	0.06	0.30	0.23	0.14
Sodio	mg/l	0.05	0.22	0.14	0.10
Mercurio	mg/l	0.04	0.25	0.18	0.13
Plomo	mg/l	0.07	0.44	0.34	0.24
Cadmio	mg/l	0.002	0.009	0.007	0.005
Cromo	mg/l	0.001	0.008	0.006	0.005
Cobre	mg/l	0.38	1.44	0.79	0.30
Arsénico	mg/l	0.11	0.33	0.17	0.04
Zinc	mg/l	0.09	0.52	0.42	0.32
Calcio	mg de Ca	195.63	480.90	162.32	0.00
Cloruros	mg/l	264.43	670.00	309.19	8.50
Hierro Total	mg/l	2.47	8.00	3.63	0.07
Sulfatos	mg/l	598.93	1600.00	813.75	50.00
Nitrato	mg/l	122.80	295.00	82.44	3.00
Nitrito	mg/l	3.60	7.17	3.11	0.00
Cianuros	mg/l	2587.20	5330.00	1871.55	0.02
pH	-	0.70	8.75	7.81	6.86
Dureza Total	mg de CaCO ₃	431.94	1400.00	541.88	75.00
Acidez Total	mg/l	13.66	40.00	7.38	0.00
Alcalinidad	mg/l	387.55	1000.00	457.75	50.00

Fuente: El Autor

5.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS

En este apartado se analizará individualmente los 10 parámetros más importantes. Además se realizará su correspondiente evaluación comparando si cumplen o no con los parámetros establecidos en la NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA (Libro VI, Tabla 12).



Arsénico:

El arsénico es un elemento químico que se encuentra presente en más de 200 especies minerales, siendo la arsenopirita (FeAsS), la enargita (Cu_3AsS_4), y la tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) las más comunes. La arsenopirita es muy común en los yacimientos minerales del sur del país. Estos minerales son procesados en el Distrito Minero de Portovelo - Zaruma, habiéndose registrado su presencia en los relaves de la zona.

Las formas solubles del arsénico son fuertemente tóxicas. Intoxicación aguda, producida por la ingestión de grandes dosis, lleva a problemas gastrointestinales, cardiovasculares, disfunciones del aparato nervioso, y finalmente a la muerte. La intoxicación crónica puede llevar al desarrollo de varios tipos de cáncer, de piel, pulmón, vejiga, riñón e hígado, así como una larga lista de enfermedades de otros tipos, como hiperqueratosis, hipertensión o diabetes.

La concentración de arsénico está en el intervalo de (0.04 y 0.33) mg/l con una media de 0.17 mg/l. El límite permisible en la norma es de 0.1 mg/l, por lo tanto la concentración de Arsénico es alta.

En la Fig. 5.1 se visualiza la variación de Arsénico en todas las muestras.

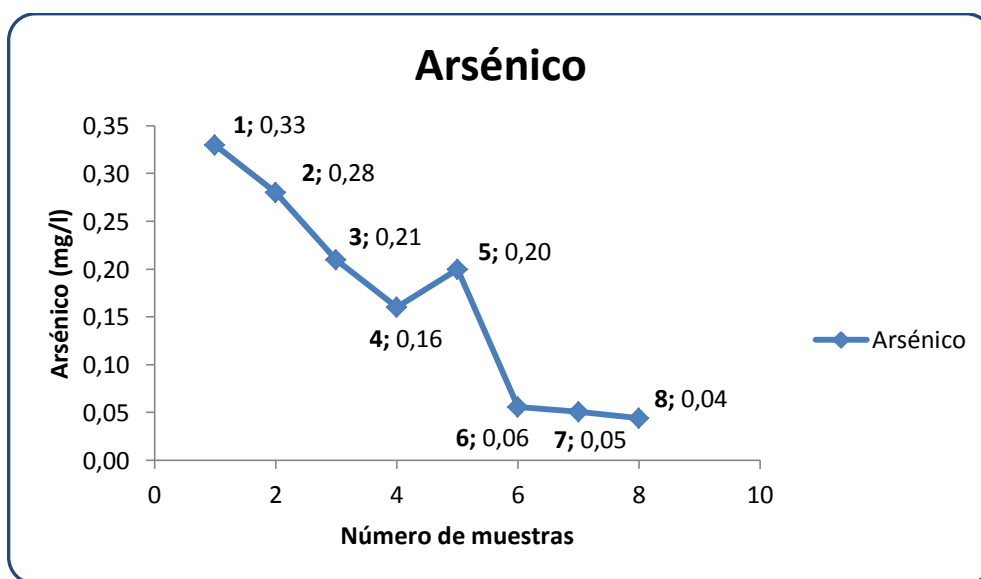


Fig. 5.1. Variaciones de concentración de Arsénico por muestras

Fuente: El Autor



Cianuro:

El cianuro es un término general que se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono (C) y nitrógeno (N). Los compuestos de cianuro contienen sustancias químicas que se encuentran presentes en la naturaleza o que han sido producidas por el hombre. Concentraciones relativamente bajas pueden ser tóxicas para los seres humanos, la flora y la fauna.

La industria minera ha utilizado el cianuro desde hace más de un siglo. La minería moderna utiliza el cianuro casi exclusivamente como agente lixiviador del oro.

El cianuro de hidrógeno líquido o gaseoso y las sales alcalinas del cianuro pueden ingresar al cuerpo por inhalación, ingestión o absorción a través de los ojos y la piel.

La concentración de cianuro está en el intervalo de (0.02 y 5330) mg/l con una media de 1871.55 mg/l. El límite permisible en la norma es de de 0.1 mg/l, por lo tanto la concentración de cianuro es muy alta.

En la *Fig. 5.2* se *visualiza* la variación de cianuro en todas las muestras.

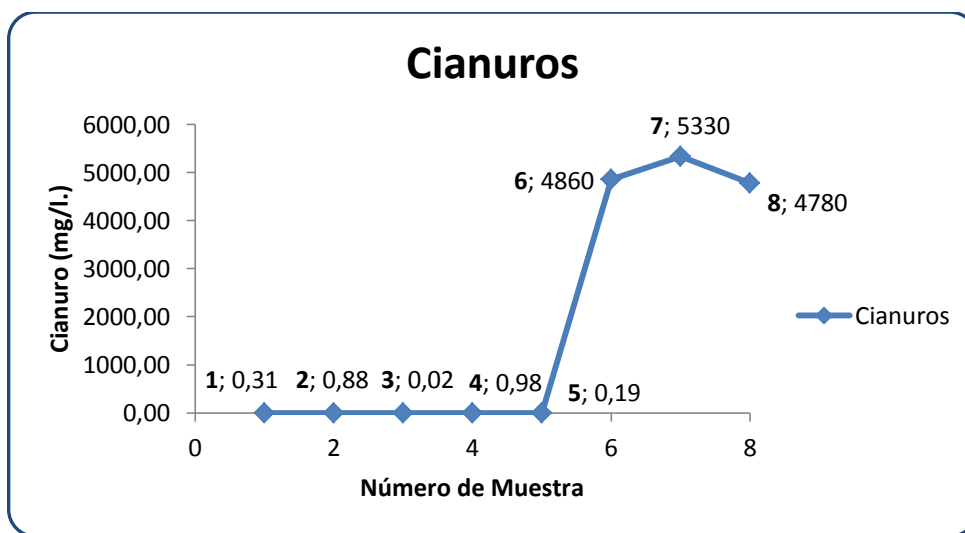


Fig. 5.2. Variaciones de concentración de Cianuro por muestras

Fuente: El Autor



Cloruros:

Los cloruros son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación. Se forman por reacción de una base (óxido, hidróxido, carbonato, etc.) y ácido clorhídrico.

Es uno de los siete iones principales de las aguas naturales.

La sustancia más conocida de cloruros es el de sodio (sal común). Este y otros cloruros son altamente solubles, por lo que contaminan fácilmente el agua (al pasar por minas de evaporitas, por intrusión salina en pozos, etc.).

La concentración de cloruros está en el intervalo (8.50 y 670) mg/l con una media de 309.19 mg/l. El límite permisible en la norma vigente es de 1000 mg/l, por lo que se tiene una concentración de cloruros baja.

En la Fig. 5.3 se visualiza la variación de cloruros en todas las muestras.

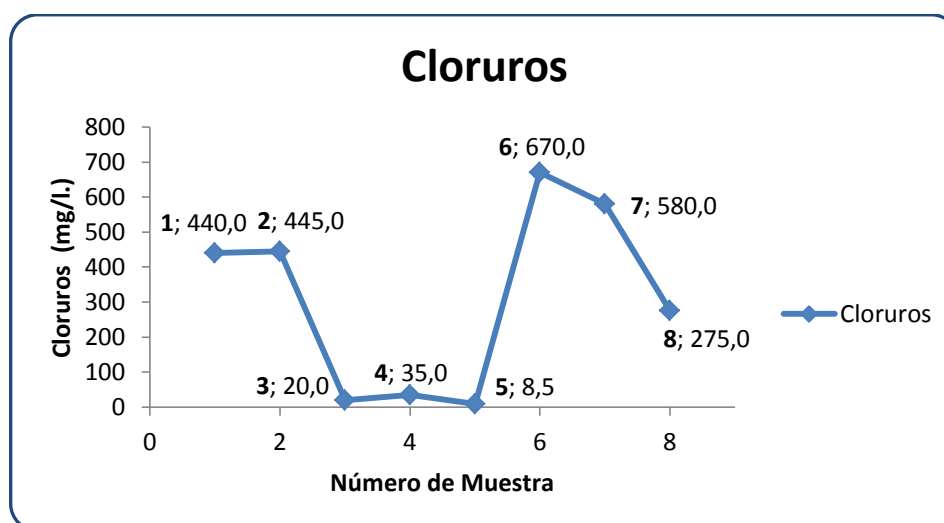


Fig. 5.3. Variaciones de concentración de Cloruros por muestras

Fuente: El Autor

Cobre:

El cobre es un elemento químico que puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Sus concentraciones en el aire son bajas, así que la exposición por respiración es descartable. Al hablar de la toxicidad del cobre el ingerir una cantidad de 30 gr de sulfato de cobre es



potencialmente letal en los humanos. El cobre en polvo es combustible y su inhalación puede provocar tos, dolor de cabeza, mareo.

En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido en partículas de lodo o en forma de iones libres.

La concentración de Cobre está en el intervalo de (0.30 y 1.44) mg/l con una media de 0.79 mg/l. El límite permisible en la norma es de 1 mg/l, por lo tanto se puede decir que la concentración de cobre está cerca del límite permitido.

En la Fig. 5.4 se visualiza la variación de cobre en todas las muestras.

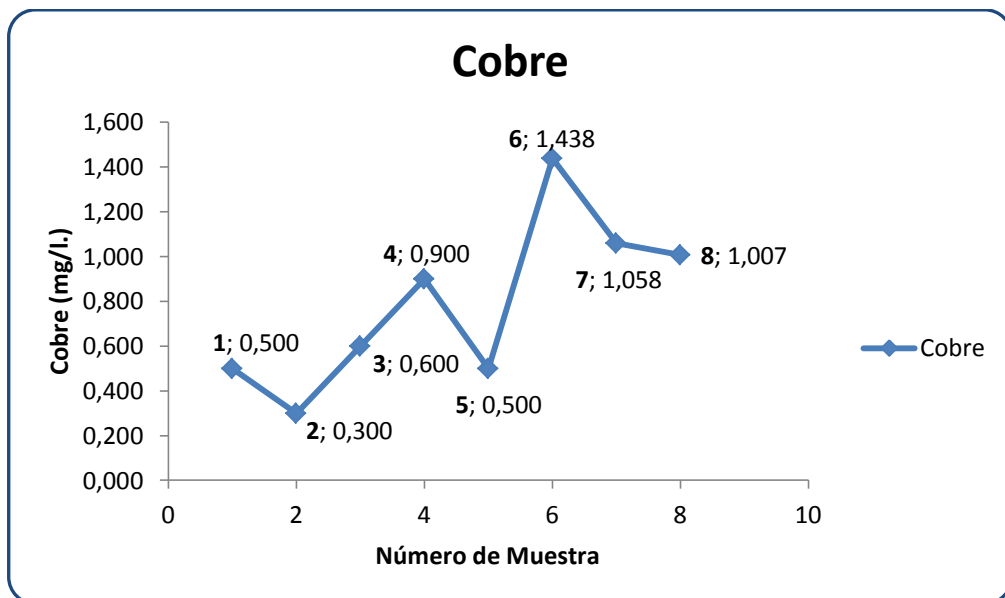


Fig. 5.4. Variaciones de concentración de Cobre por muestras

Fuente: El Autor

Hierro Total:

El hierro es un elemento químico. Constituyente inorgánico normal en el agua del suelo. Está presente como iones disueltos en soluciones o como componente de complejos orgánicos. El hierro permanece disuelto, se oxida ó se precipita dependiendo de los valores de pH y ORP⁸ del agua.

⁸ ORP es la abreviación de Potencial de Oxido Reducción, también conocido como RedOx. Medida que sirve para monitorear y controlar reacciones químicas.



En general, las aguas naturales no contienen más de 1 mg/l de hierro, pero a causa de las descargas industriales, los niveles pueden ser mucho más altos.

El hierro puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis en contacto con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede desarrollar una neumoconiosis benigna. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de cáncer de pulmón (en trabajadores expuestos).

La concentración de hierro está en el intervalo de (0.07 y 8.00) mg/l con una media de 3.63 mg/l. El límite permisible en la norma es de 10 mg/l, por lo tanto la concentración de hierro es baja. El hierro se controla normalmente en las aguas residuales de la minería para evitar la contaminación medioambiental.

En la Fig. 5.5 se visualiza la variación de hierro en todas las muestras.

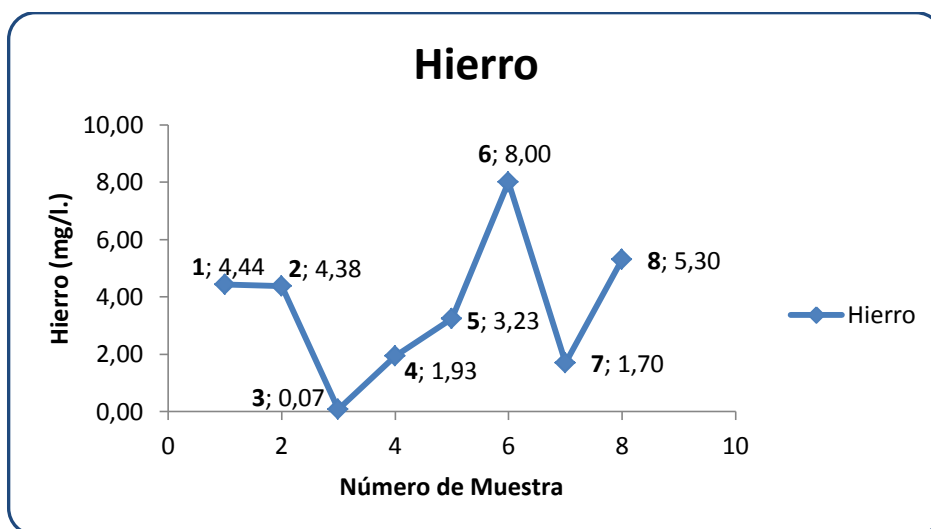


Fig. 5.5. Variaciones de concentración de Hierro por muestras

Fuente: El Autor

Mercurio:

El mercurio es un elemento químico correspondiente a los metales pesados, que a temperatura ambiente es un líquido inoloro. Se alea fácilmente con muchos otros metales como el oro o la plata produciendo amalgamas. Es insoluble en agua, pero soluble en ácido nítrico. El mercurio es dañino por inhalación, ingestión y contacto. Es un producto muy irritante para la piel, ojos y vías respiratorias.



El sistema nervioso es muy sensible a todas las formas de mercurio. La exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico u orgánico puede dañar permanentemente el cerebro, los riñones y al feto en desarrollo.

Los pescados y mariscos tienen una tendencia natural a concentrar el mercurio en sus cuerpos, en forma de metilmercurio (compuesto orgánico de mercurio altamente tóxico).

La concentración de mercurio está en el intervalo de (0.13 y 0.25) mg/l con una media de 0.18 mg/l. El límite permisible en la norma es de de 0.005 mg/l., por lo tanto la concentración de mercurio es alta.

En la *Fig. 5.6* se *visualiza* la variación de mercurio en todas las muestras.

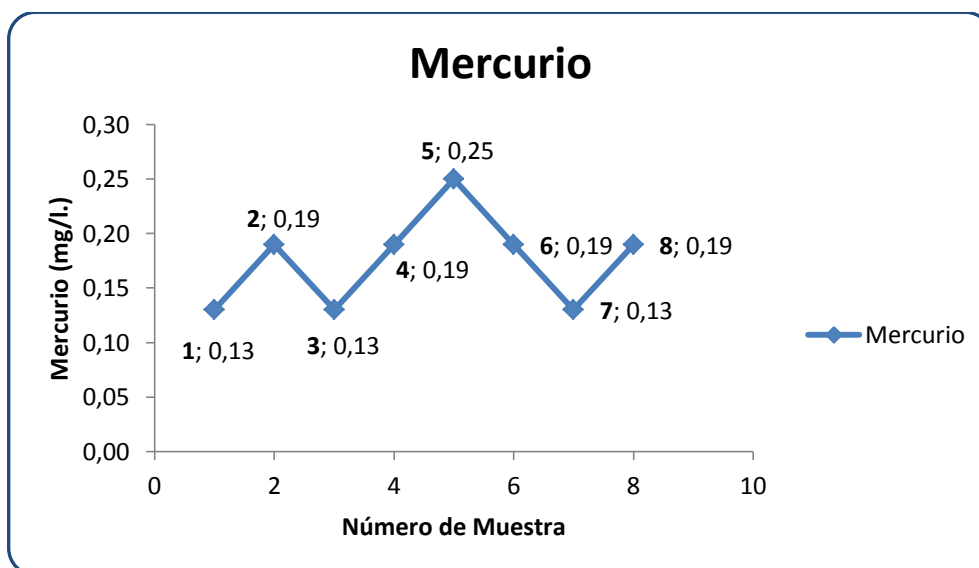


Fig. 5.6. Variaciones de concentración de Mercurio por muestras

Fuente: El Autor

Plomo:

El plomo es un elemento químico, común de la zona en análisis. El principal riesgo es relacionado con el sulfuro de plomo (galena: PbS). Este no radica en la posible puesta en solución de este metal (precipita rápidamente como carbonato o sulfato), sino en lo que concierne a los procesos metalúrgicos (fundiciones).



El plomo es un metal carente de valor biológico, porque no es requerido para el funcionamiento normal de los seres vivos. Se trata de un elemento tóxico.

Concentraciones elevadas de plomo pueden provocar el daño del feto, y para los niños la disminución de las habilidades mentales e iniciación de desórdenes del comportamiento, daño en el sistema nervioso central. Además pueden inducir a declinación del coeficiente intelectual (CI), elevación de los umbrales auditivos y bajo peso en recién nacidos.

Los problemas en adultos por sobreexposición incluyen daños en los riñones, en el sistema reproductor, en el tracto gastrointestinal, daños neurológicos y abortos.

La concentración de plomo está en el intervalo de (0.24 y 0.44) mg/l con una media de 0.34 mg/l. El límite permisible en la norma es de 0.2 mg/l por lo tanto la concentración de Plomo es alta.

En la Fig. 5.7 se visualiza la variación de plomo en todas las muestras.

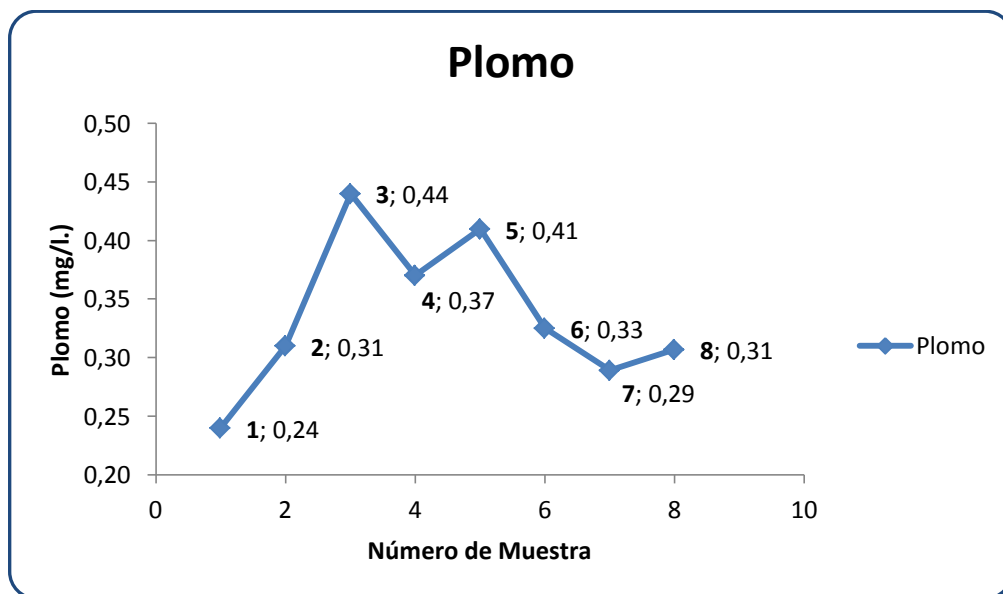


Fig. 5.7. Variaciones de concentración de Plomo por muestras

Fuente: El Autor

Sulfatos:

El Sulfato (SO_4^-) se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van de unos pocos a varios miles de



miligramos por litro. Las aguas residuales de minas pueden aportar grandes cantidades de sulfato debido a la oxidación de la pirita.

Los límites de concentración, para el sulfato de magnesio son de 400 a 600 ppm y para el sulfato de calcio son de 250 a 400 ppm. Valores más altos causan un sabor amargo en el agua.

La concentración de Sulfatos está en el intervalo de (50 y 1600) mg/l con una media de 813.75 mg/l. El límite permisible en la norma es de 1000 mg/l. Siendo una concentración de sulfatos cerca del límite permitido.

En la Fig. 5.8 se visualiza la variación de sulfatos en todas las muestras.

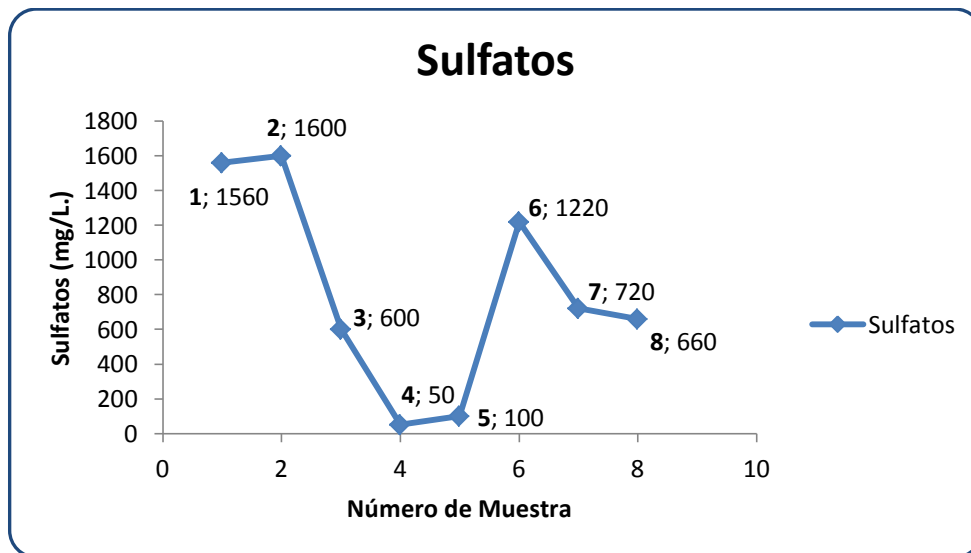


Fig. 5.8. Variaciones de concentración de Sulfatos por muestras

Fuente: El Autor

Dureza Total:

El término dureza se refiere al contenido total de iones alcalinotérreos que hay en el agua. Como la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} es, mucho mayor que la del resto de iones alcalinotérreos. La dureza es prácticamente igual a la suma de las concentraciones de estos dos iones.

La dureza, por lo general, se expresa como el número equivalente de miligramos de carbonato de calcio (CaCO_3) por litro.



Un agua de dureza inferior a 60 mg/l de CaCO_3 se considera blanda. Si la dureza es superior a 270 mg/l, el agua se considera dura..

Algunos estudios han demostrado que hay una débil relación inversa entre la dureza del agua y las enfermedades cardiovasculares en los hombres. El límite es de 170 mg de carbonato de calcio por litro en el agua.

El intervalo registrado de Dureza total está entre 75 y 1400 mg/l de CaCO_3 , con una media de 541.88 mg/l de CaCO_3 . Por lo tanto el agua es muy dura.

En la Fig. 5.9 se visualiza la variación de Dureza total en todas las muestras.

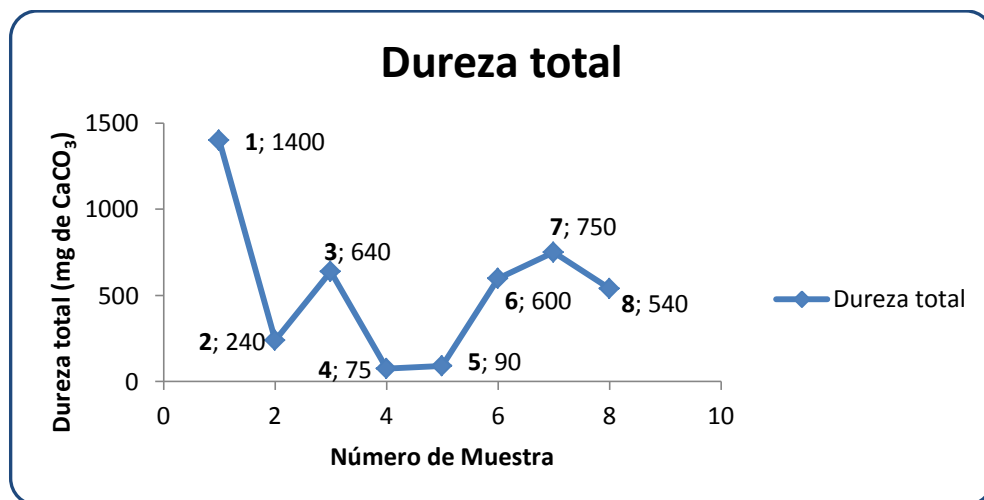


Fig. 5.9. Variaciones de concentración de Dureza Total por muestras

Fuente: El Autor

pH:

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+) presentes en determinadas sustancias. La sigla significa "potencial de hidrógeno".

Un decrecimiento del pH tiene dos efectos:

- 1) Induce la disolución de compuestos metal-carbonato (p.ej., cerusita: PbCO_3).
- 2) Aumenta la solubilidad de los metales disueltos.



El decrecimiento del pH puede ligarse directamente a la serie de fenómenos físico-químicos que se derivan de la oxidación de especies sulfuradas (particularmente la pirita: FeS_2). La consecuencia directa es la formación del flujo ácido. El sistema se encuentra así fuertemente regulado por:

- 1) Las cantidades iniciales de pirita en el yacimiento (de sulfuros o carbonos piritosos) o la escombrera (mineral dump)
- 2) Por la presencia de bacterias oxidantes (p.ej., *T. ferrooxidans*)
- 3) Los niveles de oxígeno.

El intervalo adecuado de pH para la existencia de vida biológica está entre 5 y 9. El intervalo registrado de pH está entre (6.86 y 8.75), con una media de 7.81, estando dentro de las condiciones y límites que dicta la norma.

En la *Fig. 5.10* se visualiza la variación de pH en todas las muestras.

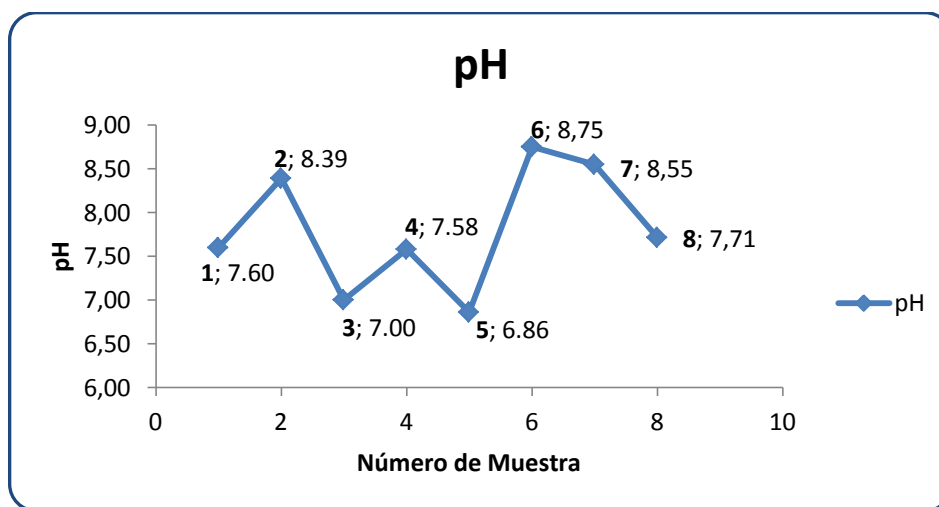


Fig. 5.10. Variaciones de concentración de pH por muestras

Fuente: El Autor

5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO BIVARIADO

5.4.1 Matrices de Correlación

Es importante estudiar la relación o comportamiento que puede existir entre dos variables, por este motivo se ha utilizado la matriz de correlación. Con esta herramienta estadística se puede determinar, las relaciones existentes entre cada componente analizado en este proyecto.



La matriz de correlación que es una matriz simétrica nos explica cómo se encuentran relacionadas cada una de las variables con otra variable. Su diagonal siempre contendrá el valor de 1. Si tiene un valor 0, nos indicará que no tiene ninguna relación con esa variable o por lo menos no lineal. Puede que tenga una relación cuadrática o de otro grado.

Cuando la correlación es positiva, su proyección de la regresión lineal va a tender a crecer conjuntamente con la contra variable.

Cuando la correlación es negativa, su proyección de la regresión lineal va a tender a decrecer conjuntamente con la contra variable.

En la tabla 5.4 se indican los tipos de correlación y sus respectivos parámetros.

Tabla. 5.4. Parámetros de Correlación

TIPO DE CORRELACIÓN	PARÁMETROS
Correlación perfecta	$r = \pm 1$
Correlación Excelente	$0.9 \leq r < 1$ ó $-1 \leq r < -0.9$
Correlación buena	$0.8 \leq r < 0.9$ ó $-0.9 \leq r < -0.8$
Correlación regular	$0.6 \leq r < 0.8$ ó $-0.8 \leq r < -0.6$
Correlación mala	$0.3 \leq r < 0.6$ ó $-0.6 \leq r < -0.3$
No hay correlación	$-0.3 \leq r < 0.3$

Fuente: Montgomery Douglas, C. y Runger George, C. (1996)

La Tablas 5.5. presenta la matriz de correlación de todos los parámetros, las correlaciones más altas se distinguen por color rojo.



Tabla 5.5. Matriz de Correlación

COMPONENTES	Hg	Pb	Cu	As	Cl ⁻	Fe	SO ₄ ⁻	CN ⁻	pH	D.T.
Mercurio (Hg)	1,00									
Plomo (Pb)	0,35	1,00								
Cobre (Cu)	-0,04	-0,13	1,00							
Arsénico (As)	-0,11	-0,03	-0,87	1,00						
Cloruros (Cl⁻)	-0,32	-0,76	0,44	-0,25	1,00					
Hierro Total (Fe)	0,35	-0,49	0,41	-0,21	0,62	1,00				
Sulfatos (SO₄⁻)	-0,39	-0,68	-0,15	0,37	0,74	0,51	1,00			
Cianuros (CN⁻)	-0,12	-0,37	0,83	-0,88	0,63	0,42	0,07	1,00		
pH	-0,20	-0,62	0,52	-0,40	0,91	0,53	0,56	0,64	1,00	
Dureza Total	-0,76	-0,62	0,05	0,21	0,48	0,13	0,59	0,18	0,15	1,00

Fuente: El Autor

Las correlaciones más altas identificadas en la matriz se dan debido a que existe una fuerza de relación o dependencia lineal entre las dos variables analizadas.

5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO UNIVARIADO

A continuación se presentan los Histogramas obtenidos con la ayuda del software ArcGIS 9.3. Los histogramas permiten una descripción univariada de los datos, presentan una distribución de frecuencias y resultados de algunos estadísticos descriptivos. La distribución de frecuencias se presenta mediante una serie de barras que agrupan los valores observados en un determinado número de clases o intervalos. La altura de cada barra representa la frecuencia absoluta.

Cabe indicar que se elaboraron los histogramas para los 10 componentes principales, además fue necesario agregar dos puntos más de muestreo ubicados aleatoriamente en el área de estudio con valores promedios de cada componente para poder realizar tanto los histogramas como el análisis geoestadístico ya que el programa antes mencionado requiere de un mínimo de 10 puntos.



Arsénico (Ar):

En la elaboración de los histogramas para la variable Arsénico se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de -0.15 con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.11) se puede notar que aunque el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) tiene un valor (-0.64) que es alejado de 0. En cambio el valor de la desviación estándar es 1 y los valores de la media (-2.36) y la mediana (-2.02) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es aceptable.

El valor de la curtosis es de 1.81 determinando de esta manera una distribución plana o platicúrtica.

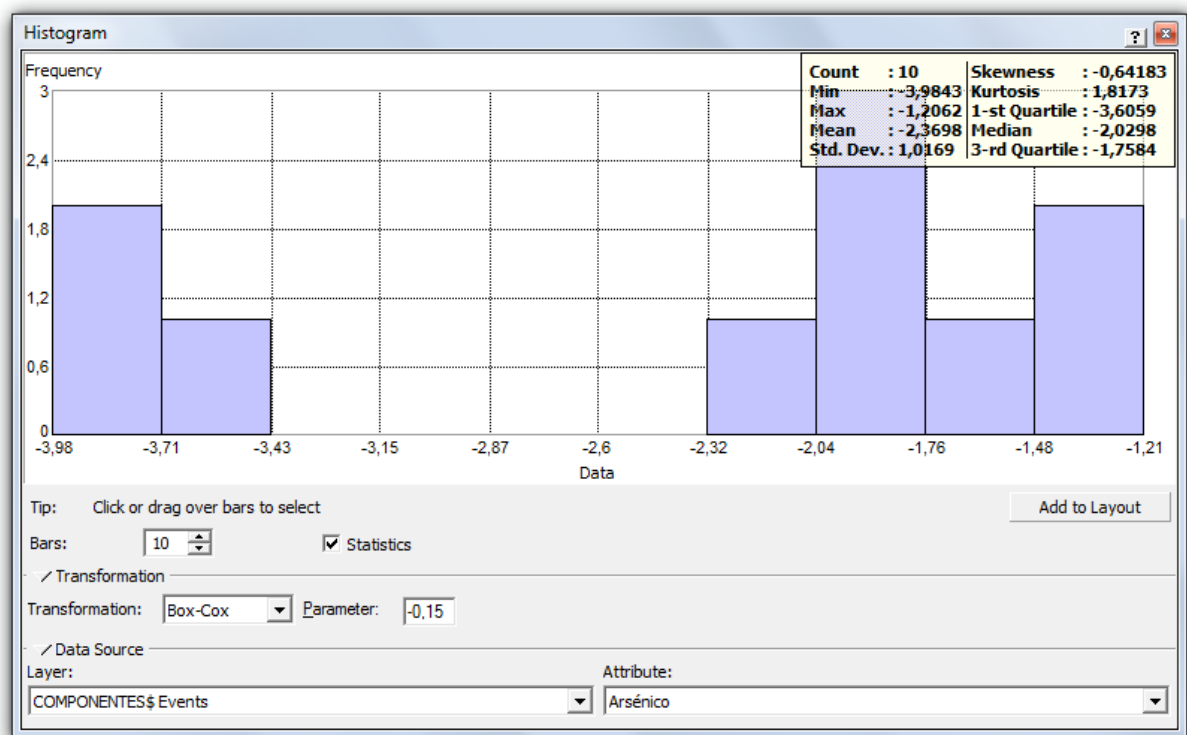


Fig. 5.11. Histograma y resumen estadístico del Arsénico

Fuente: El Autor



Cianuros (CN⁻):

En la elaboración de los histogramas para la variable Cianuro se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de 0.1 con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.12), se puede notar que el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) es igual a 0. Los valores de la media (5.65) y la mediana (5.61) son iguales, pero la curtosis (1.11) tiene un valor muy bajo, determinando una distribución plana o platicúrtica. La desviación estándar tiene un valor de 7.37, que es muy alejado de 1, evidenciando la mala distribución de las variables. Esto es comprensible debido a la variabilidad de los resultados que se obtuvieron en el primer muestreo con respecto al segundo, en este componente.

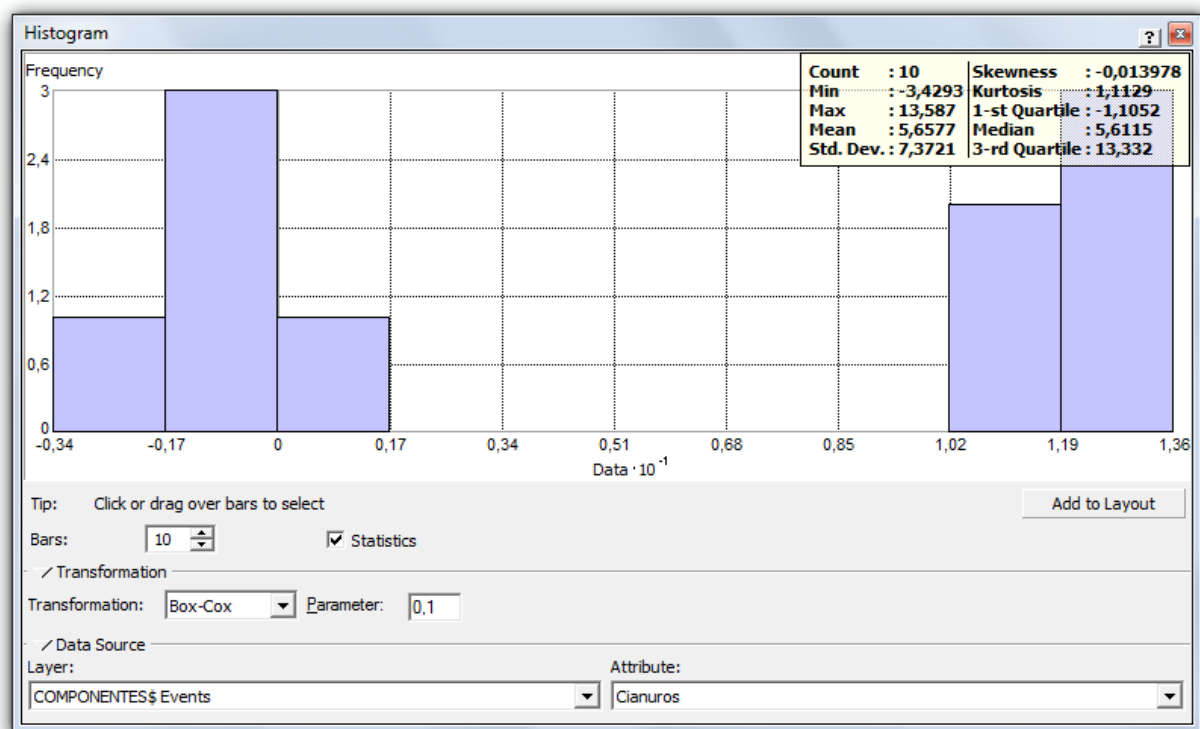


Fig. 5.12. Histograma y resumen estadístico del Cianuro

Fuente: El Autor



Cloruros (Cl⁻):

En la elaboración de los histogramas para la variable Cloruros se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de -0.09 con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.13) se puede notar que aunque el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) tiene un valor (-0.99) que es alejado de 0. En cambio el valor de la desviación estándar es 1 y los valores de la media (4.01) y la mediana (4.47) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es aceptable.

El valor de la curtosis es de 2.374 determinando de esta manera una distribución plana o platicúrtica.

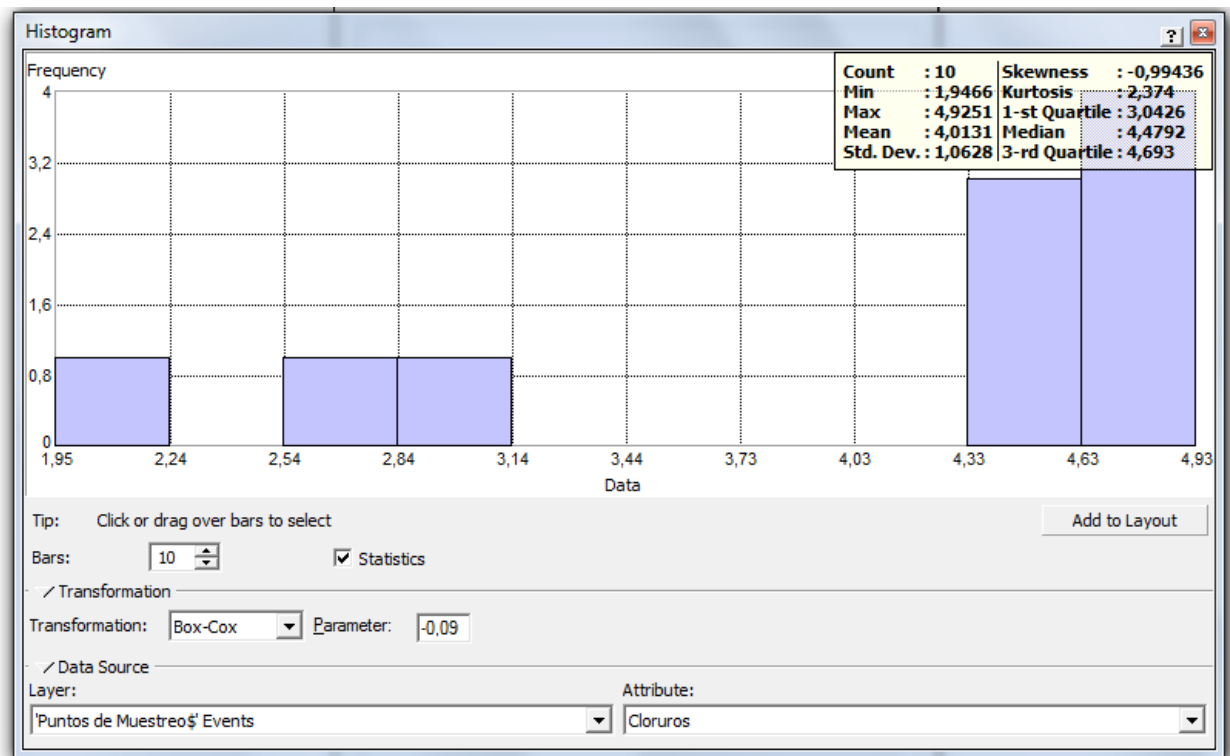


Fig. 5.13. Histograma y resumen estadístico del Cloruro

Fuente: El Autor



Cobre (Cu):

En la elaboración de los histogramas para la variable Cobre se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de 0.5 con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.14), se puede notar que aunque el valor de la desviación estándar (0.38) está alejado de 1. En cambio el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) es igual a 0, los valores de la media (-0.26) y la mediana (-0.22) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es aceptable.

El valor de la curtosis es de 2.38 determinando de esta manera una distribución plana o platicúrtica.

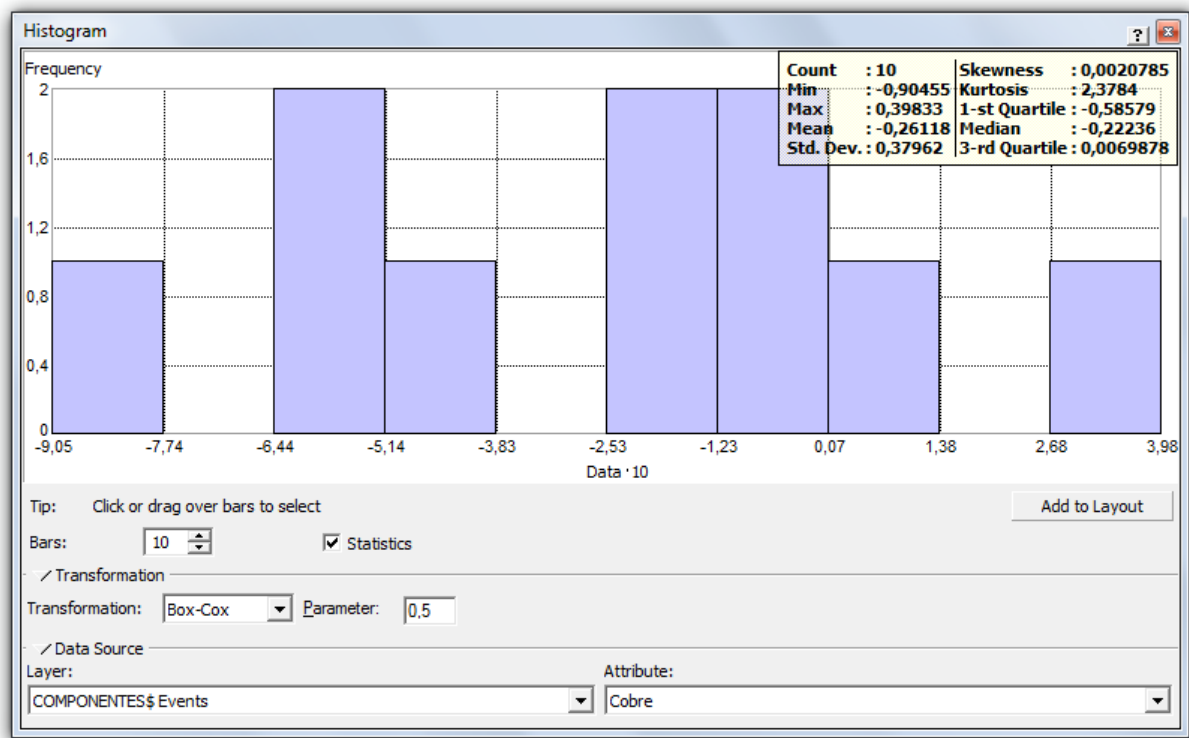


Fig. 5.14. Histograma y resumen estadístico del Cobre

Fuente: El Autor



Hierro Total (Fe):

En la elaboración de los histogramas para la variable Hierro Total se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de 0.8 con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.15), se puede notar que aunque el valor de la desviación estándar (1.74) está alejado de 1. En cambio el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) es igual a 0 y los valores de la media (2.14) y la mediana (2.25) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es aceptable.

El valor de la curtosis es igual a 3, determinando de esta manera una distribución normal o mesocúrtica.

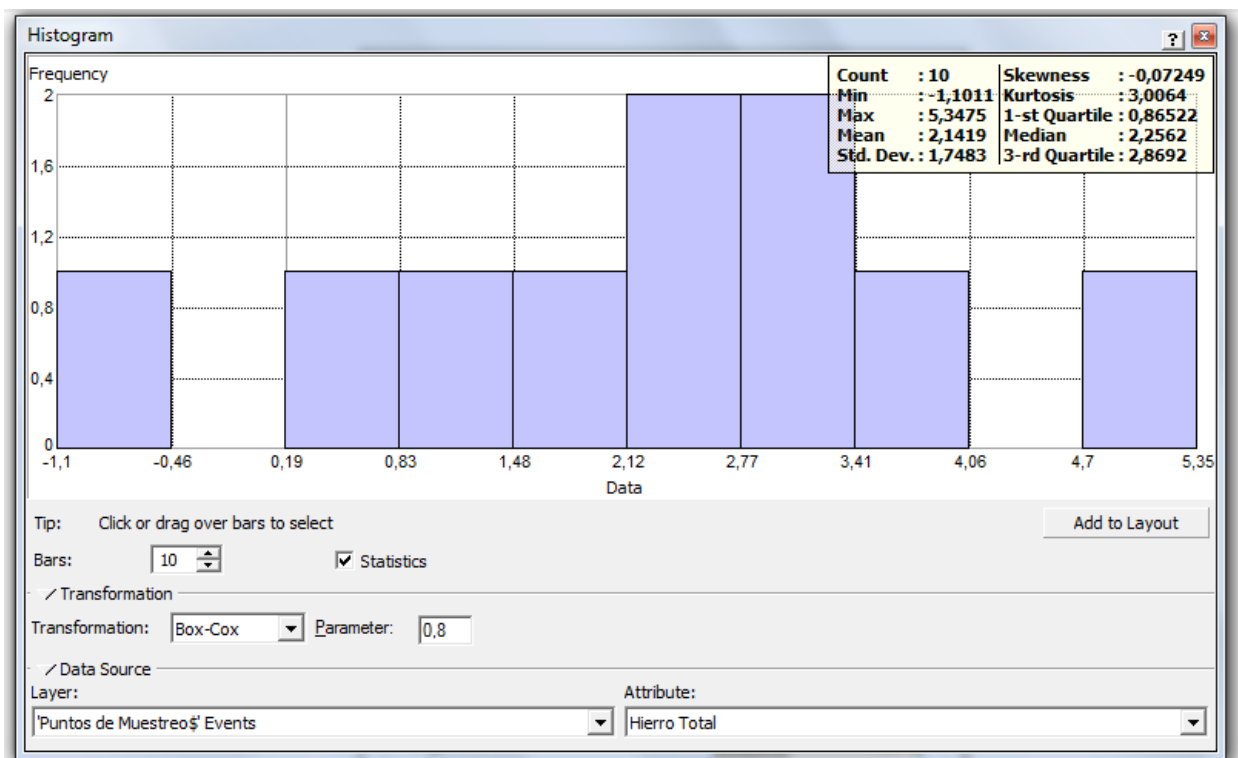


Fig. 5.15. Histograma y resumen estadístico del Hierro

Fuente: El Autor



Mercurio (Hg):

En la elaboración de los histogramas para la variable Mercurio se realizó una Transformación Logarítmica con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.16), se puede notar que aunque el valor de la desviación estándar (0.21) está un tanto alejado de 1. El coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) (-0.14) está cercano a 0 y los valores de la media (-1.75) y la mediana (-1.68) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es aceptable.

El valor de la curtosis es de 2.20 determinando de esta manera una distribución plana o platicúrtica.

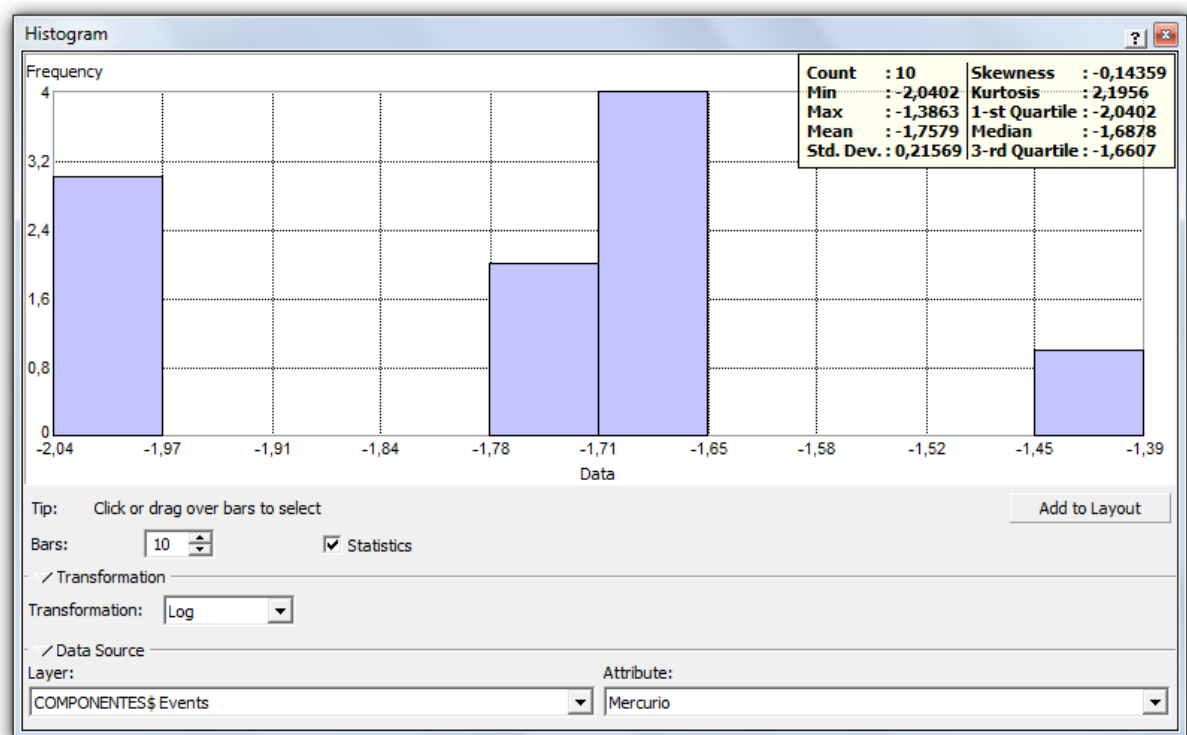


Fig. 5.16. Histograma y resumen estadístico del Mercurio

Fuente: El Autor



Plomo (Pb):

En la elaboración de los histogramas para la variable Plomo se realizó una Transformación Logarítmica con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.17), se puede notar que aunque el valor de la desviación estándar (0.17) esté alejado de 1. El coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) (0.13) está cercano a 0 y los valores de la media (-1.10) y la mediana (-1.10) son iguales. Por lo tanto el modelo de análisis es correcto.

El valor de la curtosis es de 2.69 determinando de esta manera una distribución mesocúrtica (3 ± 0.5).

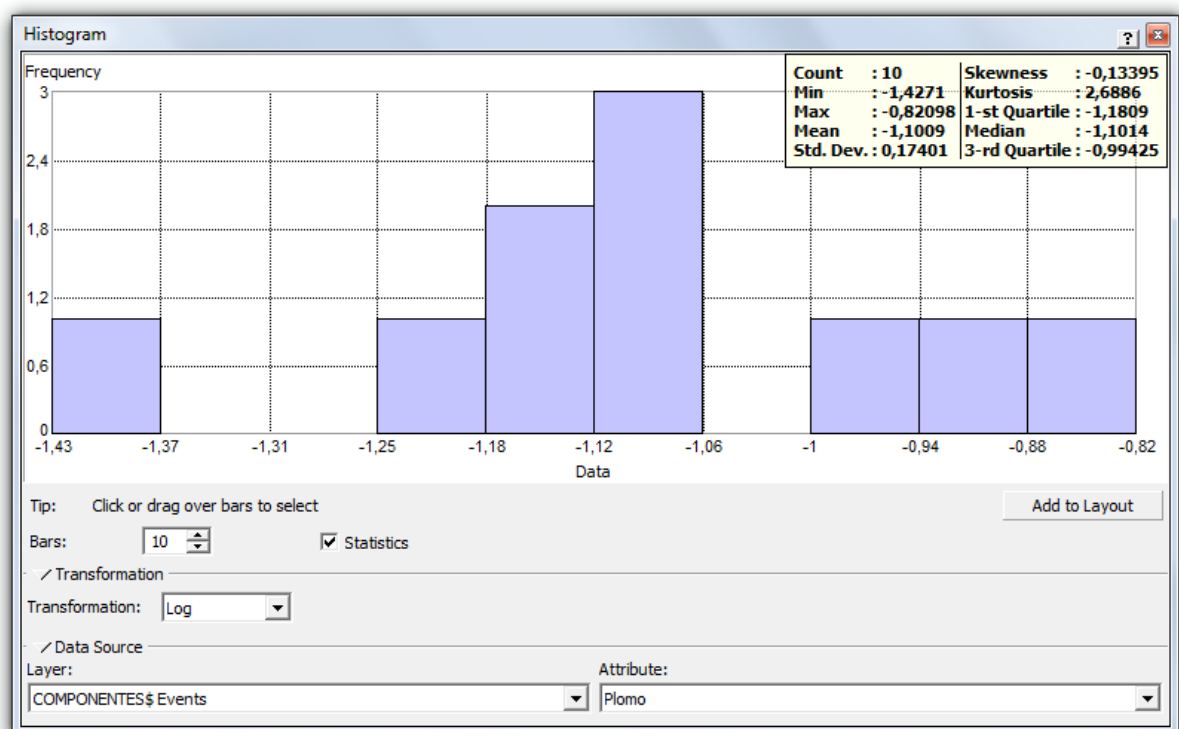


Fig. 5.17. Histograma y resumen estadístico del Plomo

Fuente: El Autor



Sulfatos (SO_4^-):

En la elaboración de los histogramas para la variable Sulfatos se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de -0.01 con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (Fig. 5.18) se puede notar que aunque el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) tiene un valor (-1.25) alejado de 0. En cambio la desviación estándar es 1 y los valores de la media (6.1) y la mediana (6.4) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es aceptable.

El valor de la curtosis es de 3.19 determinando de esta manera una distribución mesocúrtica (3 ± 0.5).

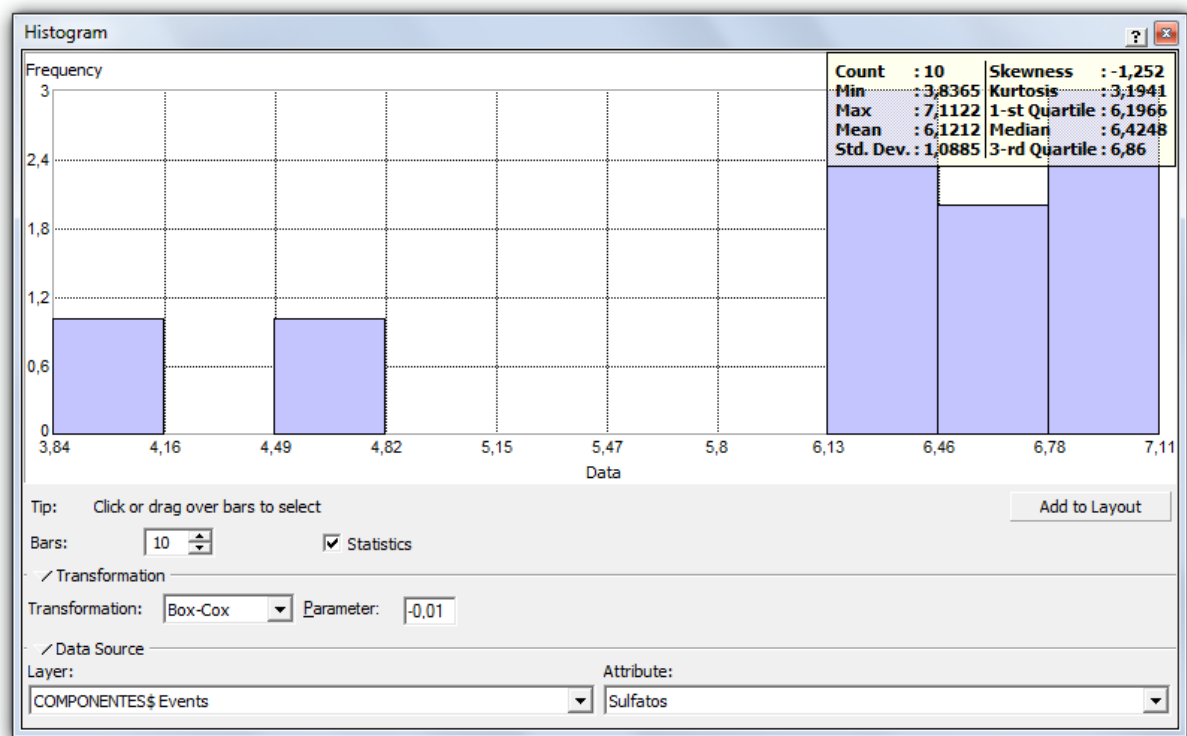


Fig. 5.18. Histograma y resumen estadístico del Sulfato

Fuente: El Autor



Dureza Total:

En la elaboración de los histogramas para la variable Dureza Total se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de *0.01* con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (*Fig. 5.19*) se puede notar que aunque el coeficiente de asimetría o sesgo (*skewness*) tiene un valor (-0.79) un tanto alejado de 0. En cambio la desviación estándar es 1 y los valores de la media (6.1) y la mediana (6.4) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es aceptable.

El valor de la curtosis es de 2.48 determinando de esta manera una distribución plana o platicúrtica.

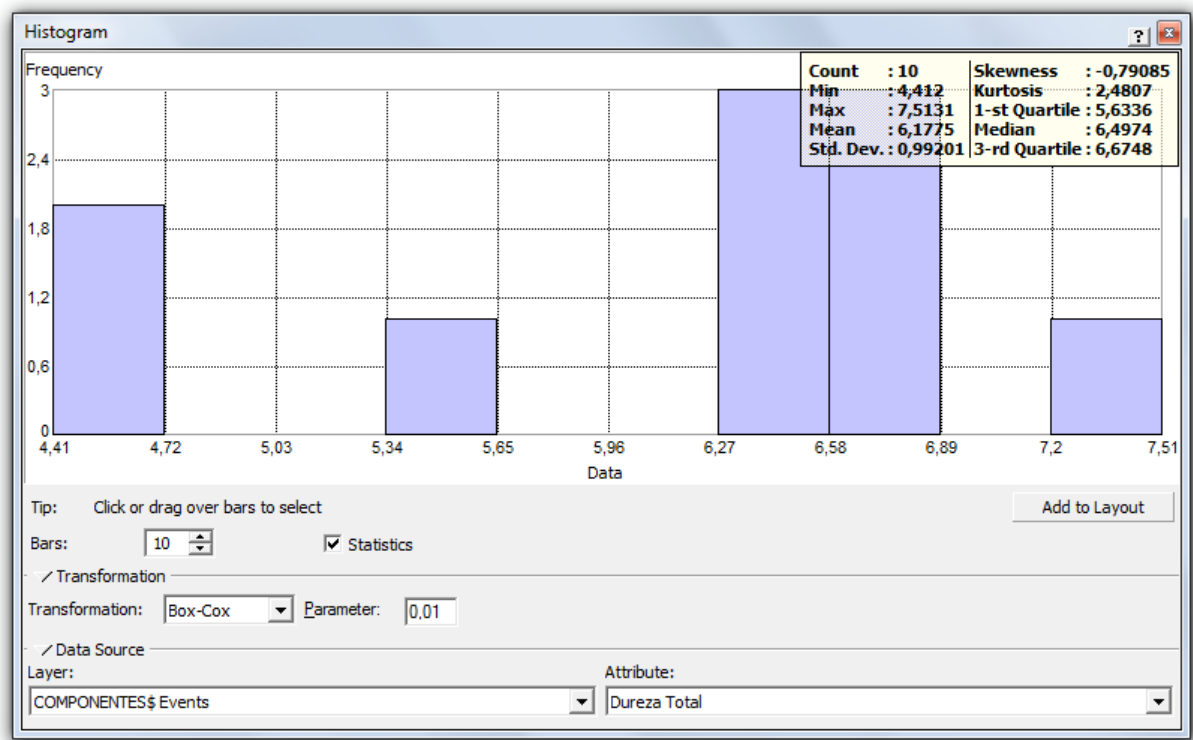


Fig. 5.19. Histograma y resumen estadístico de la Dureza Total

Fuente: El Autor



pH:

En la elaboración de los histogramas para la variable pH se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de 1.24 con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

Al evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico (*Fig. 5.20*) se puede notar que el valor del coeficiente de asimetría o sesgo (*skewness*) es igual a 0, la desviación estándar es 1 y los valores de la media (9.5) y la mediana (9.4) son similares. Por lo tanto el modelo de análisis es correcto.

El valor de la curtosis es de 2.06 determinando de esta manera una distribución plana o platicúrtica.

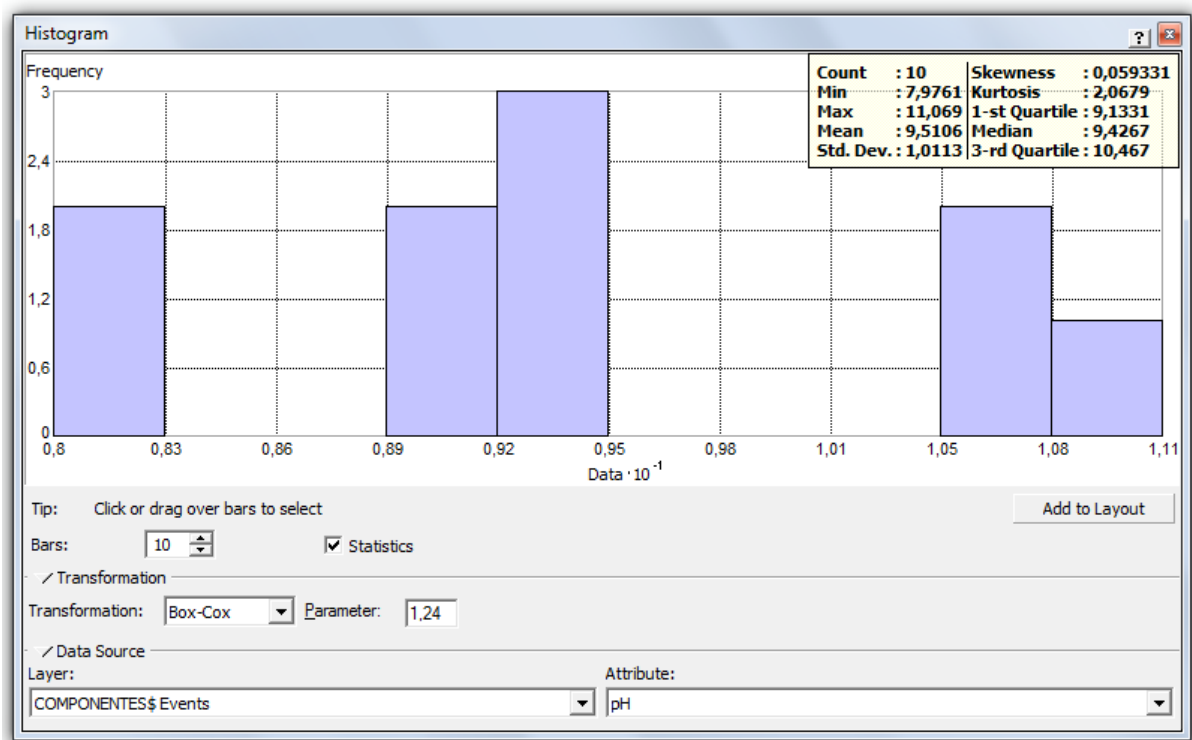


Fig. 5.20. Histograma y resumen estadístico del pH.

Fuente: El Autor



Para representar con claridad los resultados estadísticos obtenidos en los Histogramas se realiza un resumen en la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Resultados obtenidos del análisis estadístico en ArcGIS 9.3.

PARÁMETRO	TRANSF.	MEDIA	MEDIANA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO	ASIMETRÍA	TIPO DE SIMETRÍA	CURTOSIS	TIPO DE CURVA
Arsénico	Box-Cox	-2.3698	-2.0298	1.0169	-3.9843	-1.2062	-0.64183	Asimetría negativa	1.8173	Platicúrtica
Cianuro	Box-Cox	5.6577	5.6115	7.3721	-3.4293	13.587	-0.013978	Simetría negativa	1.1129	Platicúrtica
Cloruro	Box-Cox	4.0131	4.4792	1.0628	1.9466	4.9251	-0.99436	Asimetría negativa	2.374	Platicúrtica
Cobre	Box-Cox	-0.26118	-0.22236	0.37962	-0.90455	0.39833	0.0020785	Simetría positiva	2.3784	Platicúrtica
Hierro Total	Box-Cox	2.1419	2.2562	1.7483	-1.1011	5.3475	-0.07249	Simetría negativa	3.0064	Mesocúrtica
Mercurio	Logarítmica	-1.7579	1.6878	0.21569	-2.0402	-1.7579	-0.14359	Simetría negativa	2.1956	Platicúrtica
Plomo	Logarítmica	-1.1009	-1.1014	0.17401	-1.4271	-0.82098	-0.13395	Simetría negativa	2.6886	Mesocúrtica
Sulfatos	Box-Cox	6.1212	6.4248	1.0885	3.8365	7.1122	-1.252	Asimetría negativa	3.1941	Mesocúrtica
Dureza Total	Box-Cox	6.1775	6.4974	0.99201	4.412	7.5131	-0.79085	Asimetría negativa	2.4807	Platicúrtica
pH	Box-Cox	9.5106	9.4267	1.0113	7.9761	11.069	0.059331	Simetría positiva	2.0679	Platicúrtica

Fuente: El Autor



La asimetría permite identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor del punto central (Media Aritmética). La *asimetría positiva* se presenta cuando la mayoría de los datos son inferiores al valor de la media aritmética, el coeficiente de asimetría estará por encima de 0. Existe *Simetría*, cuando se distribuyen aproximadamente la misma cantidad de valores en ambos lados de la media, pero como es difícil llegar a estos resultados se aceptan valores cercanos a la media aritmética o punto cero, con un rango positivo y negativo de ± 0.5 . La *asimetría negativa* es cuando la mayor cantidad de datos se aglomeran en los valores mayores que la media, el coeficiente de asimetría estará por debajo de 0.

Para este análisis el porcentaje de asimetría es la siguiente: el 40% de los parámetros presentan una asimetría negativa, es decir, que la mayoría de los datos se encuentran por encima de la media aritmética. El 20% simetría positiva, donde el coeficiente de asimetría se encuentra en un rango máximo de +0.5 y la mayoría de los datos estarán por debajo de la media aritmética. El 40% restante presenta simetría negativa, donde el coeficiente de asimetría se encuentra en un rango máximo de -0.5 y la mayoría de los datos estarán por encima de la media aritmética. Ningún parámetro presenta asimetría positiva.

Los resultados de la curtosis presentan en su mayoría una curva de tipo Platicúrtica. Esta curva indica que se tiene una gran dispersión de datos y en los restantes se aprecia una curva Mesocúrtica. No se aprecian curvas Leptocúrticas en ninguno de los parámetros como se puede observar en la tabla 5.6

La distribución es Mesocúrtica si ($g_2 = 3$) pero se puede aceptar valores cercanos (± 0.5 aproximadamente); Leptocúrtica si ($g_2 > 3$) y la distribución es Platicúrtica si ($g_2 < 3$).



5.6 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

Para el presente proyecto se ha efectuado el análisis geoestadístico empleando la extensión *Geostatistical Analyst* del software *ArcGIS 9.3*. Se construyó y modelo semivariogramas experimentales y se determinó los valores para los puntos no muestreados por medio de la técnica de interpolación por Krigeado, utilizando el kriging ordinario para todas las variables.

La correlación espacial que se utilizó para el cálculo y modelación de los semivariogramas fue la semivarianza. Los modelos teóricos aplicados fueron los dos principales y recomendados, El Esférico y el Exponencial. Para todas las variables se aplicó anisotropía que da mejores resultados de modelación. Además se definió la vecindad de análisis para cada uno de las variables y se hizo la verificación del error de predicción mediante validación cruzada.

La tabla 5.7 muestra los 10 componentes principales utilizados y las coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo, datos que fueron necesarios para la aplicación del programa *ArcGIS 9.3* con su extensión *Análisis Geoestadístico*.

Tabla 5.7. Ubicación de puntos y concentraciones de las diez variables principales

X	y	As	CN ⁻	Cl ⁻	Cu	Fe	Hg	Pb	SO ₄ ⁻	Dureza Total	pH
651709	9589315	0,33	0,31	440	0,5	4,44	0,13	0,24	1560	1400	7,6
651704	9589293	0,28	0,88	445	0,3	4,38	0,19	0,31	1600	240	8,39
651726	9589270	0,21	0,015	20	0,6	0,07	0,13	0,44	600	640	7
651741	9589218	0,16	0,98	35	0,9	1,93	0,19	0,37	50	75	7,58
651746	9589204	0,2	0,193	8,5	0,5	3,23	0,25	0,41	100	90	6,86
651723	9589249	0,056	4860	670	1,438	8	0,19	0,325	1220	600	8,75
651740	9589241	0,051	5330	580	1,058	1,7	0,13	0,289	720	750	8,55
651747	9589182	0,044	4780	275	1,007	5,3	0,19	0,307	660	540	7,71
651740	9589190	0,17	1871,55	309,19	0,79	3,63	0,18	0,34	813,75	541,88	7,81
651718	9589282	0,17	1871,55	309,19	0,79	3,63	0,18	0,34	813,75	541,88	7,81

Fuente: El Autor

Los resultados de los semivariogramas, así como la verificación del modelo por validación cruzada y los mapas de predicción se pueden apreciar a continuación.



5.6.1 Semivariogramas

Para obtener el mejor ajuste de los modelos teóricos del semivariograma se realiza un proceso iterativo de variación de valores de algunos parámetros como el “Co” (efecto pepita), “CT” (meseta) y/o “a” (alcance). El ajuste se podrá comprobar por medio de la validación cruzada.

En la tabla 5.8. se presenta un resumen de los modelos y parámetros que mejor se ajustaron en el modelado de los semivariogramas aplicados para cada variable.

Tabla 5.8. Resumen de modelos aplicados y parámetros obtenidos de los semivariogramas.

MODELO	AMPLITUD	NUGGET	PARTIAL	ALCANCE	
			SILL	MAYOR	MENOR
Esférico	11,083	0,398	0,647	130,431	34,748
Exponencial	3,976	20,100	61,000	47,125	31,809
Exponencial	3,835	1,100	0,336	45,461	14,821
Esférico	7,608	0,046	0,139	90,175	29,536
Esférico	3,838	0,000	4,279	45,495	15,041
Exponencial	11,083	0,007	0,046	130,431	20,096
Exponencial	11,083	0,000	0,032	130,431	20,616
Esférico	11,083	0,000	1,333	130,431	23,264
Exponencial	11,083	0,350	0,727	130,431	23,861
Exponencial	4,624	0,930	0,450	54,807	25,010

Fuente: El Autor.

A continuación se presentan el modelado de semivariogramas de cada variable.



Arsénico (Ar):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Arsénico se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el esférico. El Nugget presenta un valor de 0.398, la meseta un valor de 0.647 y los alcances son: el mayor 130.43 m y el menor 34.75 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.21 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

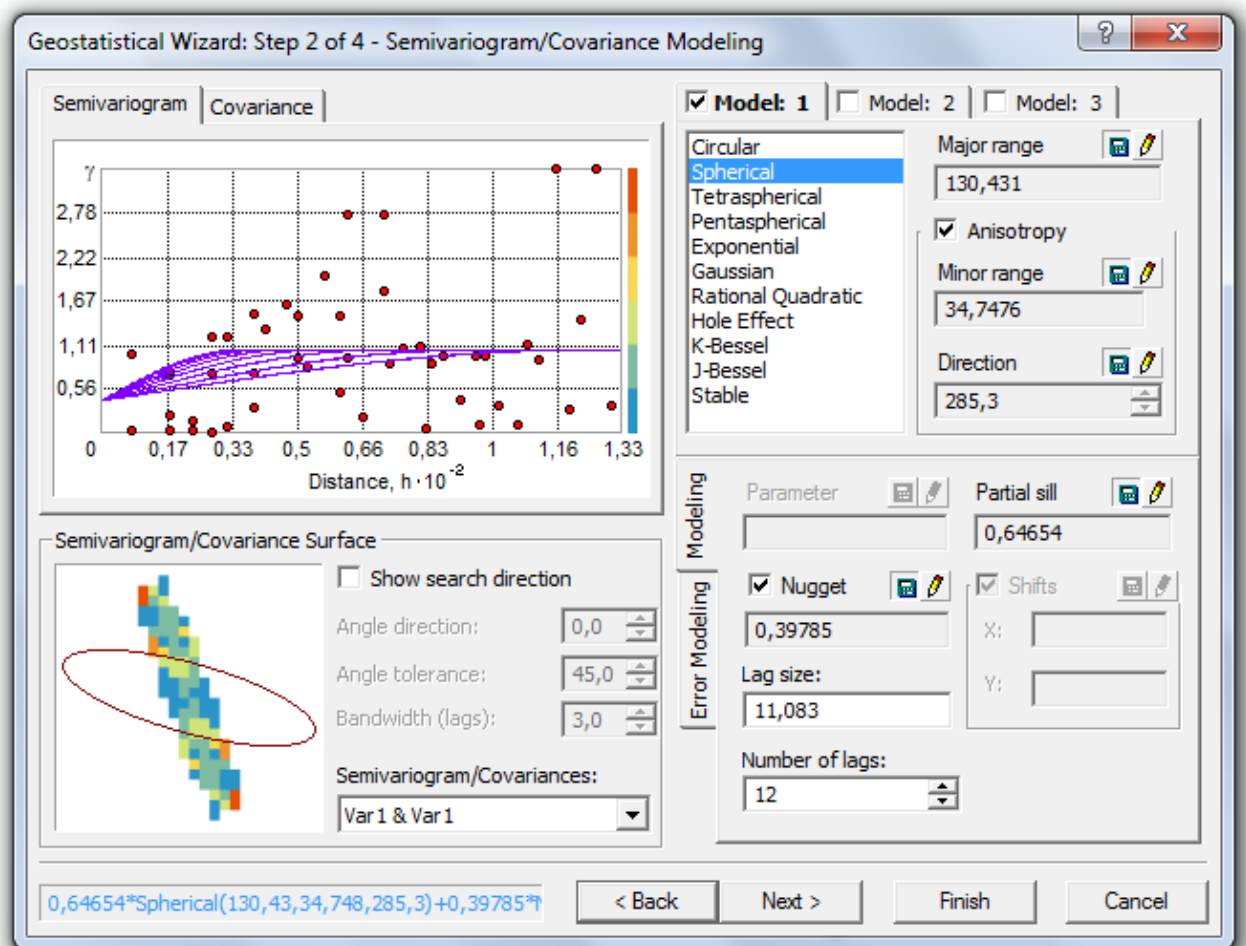


Fig. 5.21. Modelo del semivariograma de la variable Arsénico

Fuente: El Autor



Cianuros (CN⁻):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Cianuro se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el exponencial. El Nugget presenta un valor de 20.1, la meseta un valor de 61 y los alcances son: el mayor 47.13 m y el menor 31.81 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.22 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

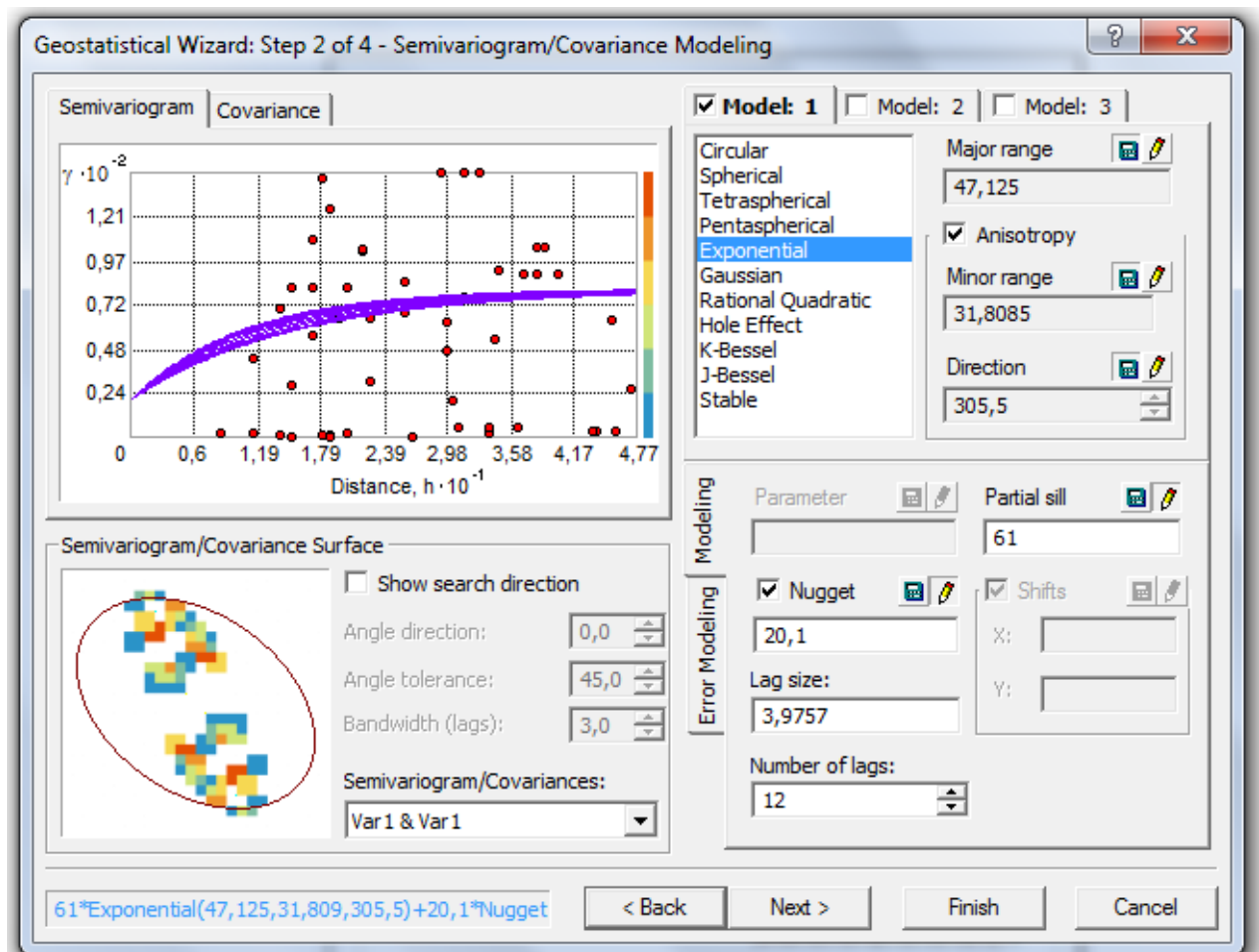


Fig. 5.22. Modelo del semivariograma de la variable Cianuro

Fuente: El Autor



Cloruros (Cl⁻):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Cloruro se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el exponencial. El Nugget presenta un valor de 1.1, la meseta un valor de 0.336 y los alcances son: el mayor 45.46 m y el menor 14.82m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.23 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

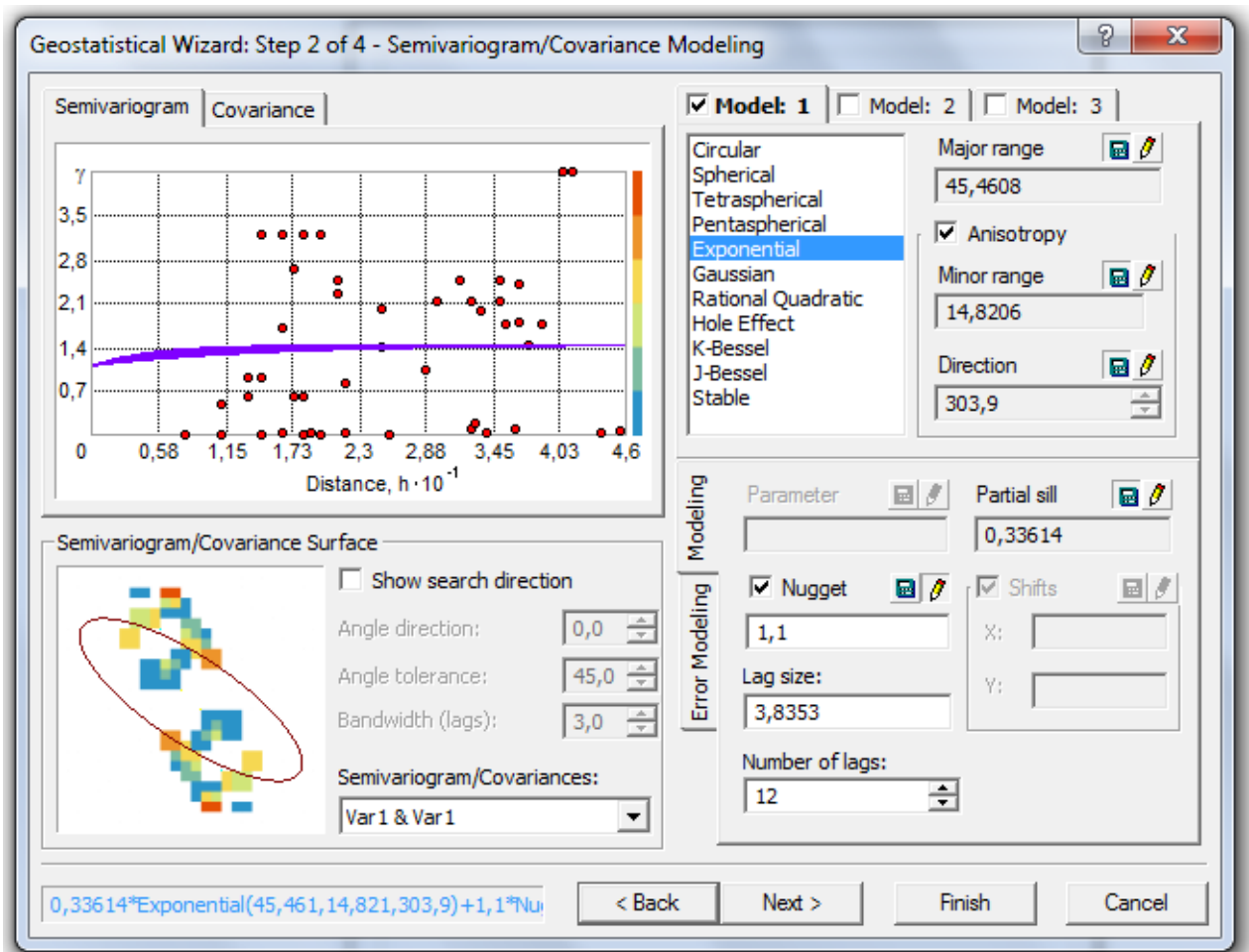


Fig. 5.23. Modelo del semivariograma de la variable Cloruro

Fuente: El Autor



Cobre (Cu):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Cobre se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el esférico. El Nugget presenta un valor de 0.046, la meseta un valor de 0.139 y los alcances son: el mayor 90.17 m y el menor 29.54 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.24 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

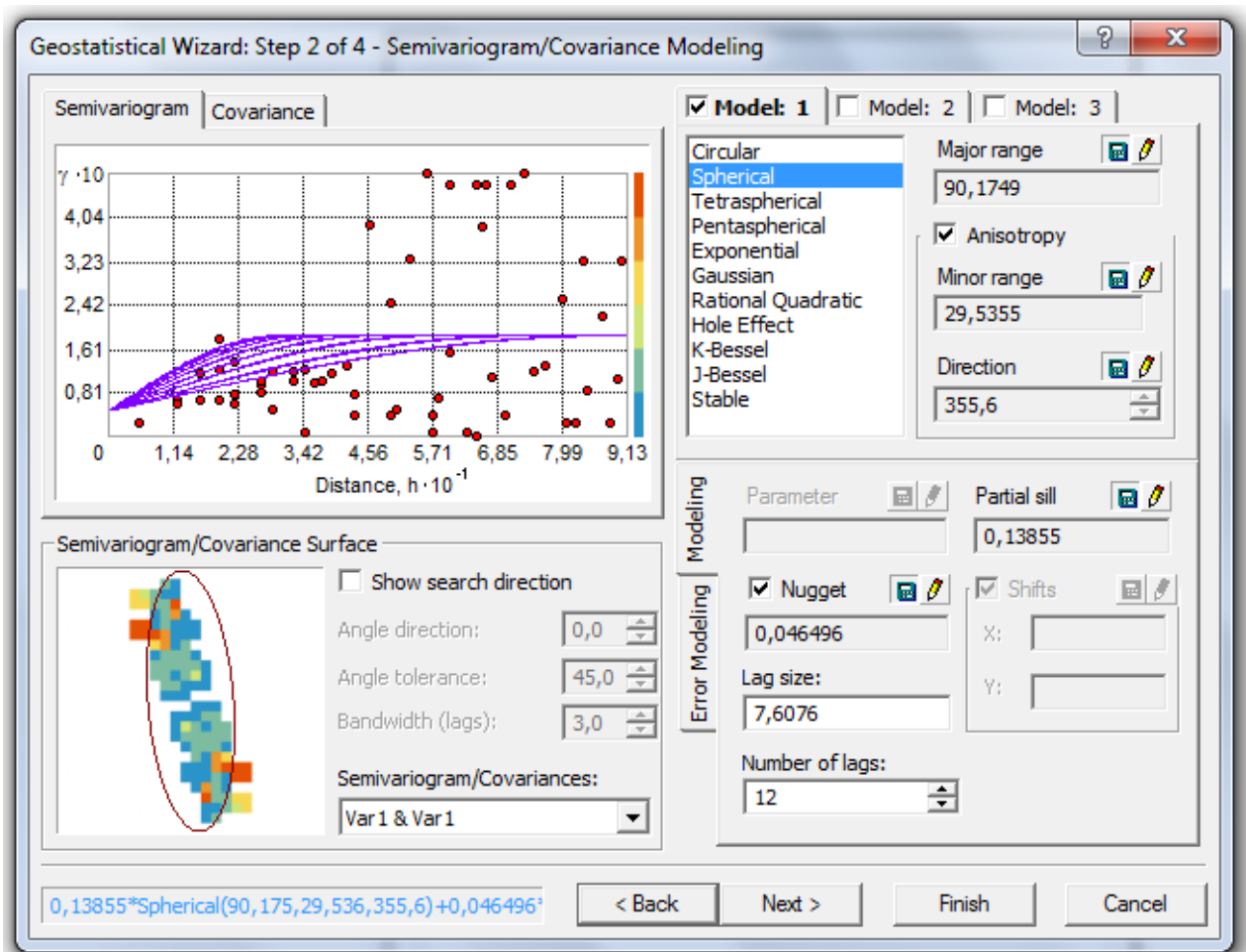


Fig. 5.24. Modelo del semivariograma de la variable Cobre

Fuente: El Autor



Hierro Total (Fe):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Hierro Total se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el esférico. El Nugget presenta un valor de 0.00, la meseta un valor de 4.279 y los alcances son: el mayor 45.49 m y el menor 15.04 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.25 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

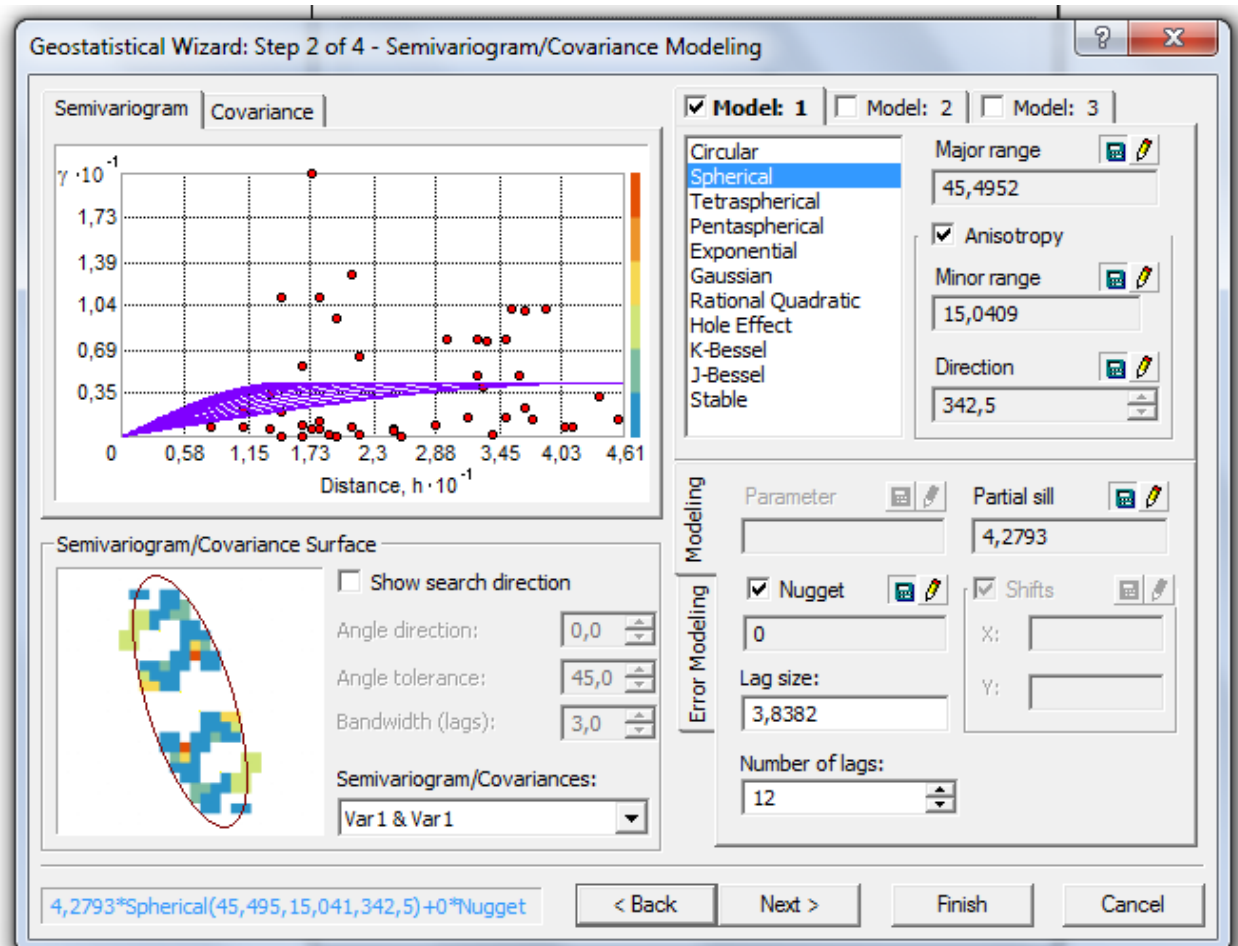


Fig. 5.25. Modelo del semivariograma de la variable Hierro

Fuente: El Autor



Mercurio (Hg):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Mercurio se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el exponencial. El Nugget presenta un valor de 0.007, la meseta un valor de 0.046 y los alcances son: el mayor 130.431 m y el menor 20.096 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.26 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

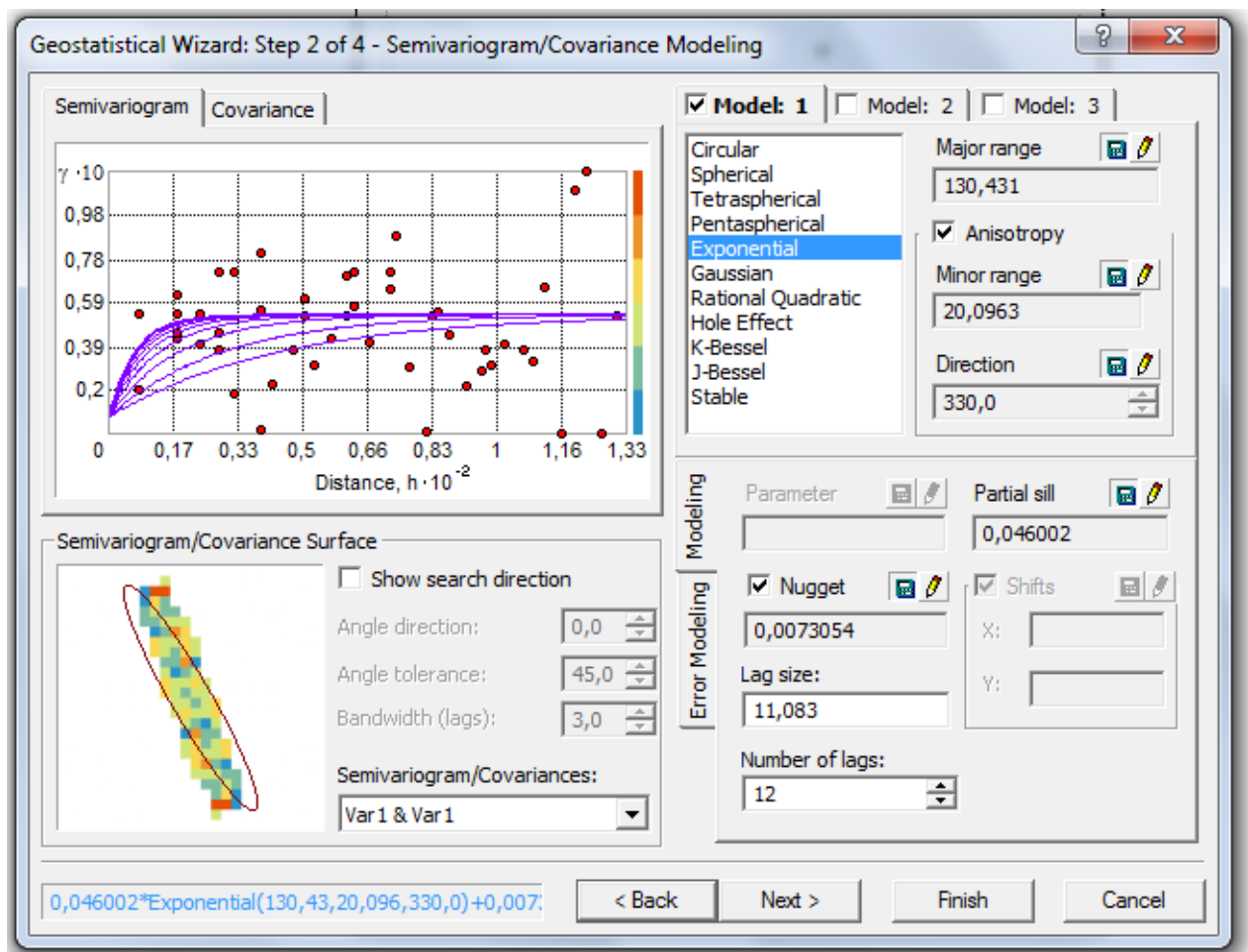


Fig. 5.26. Modelo del semivariograma de la variable Mercurio

Fuente: El Autor



Plomo (Pb):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Plomo se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el exponencial. El Nugget presenta un valor de 0.00, la meseta un valor de 0.032 y los alcances son: el mayor 130.43m y el menor 20.62 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.27 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

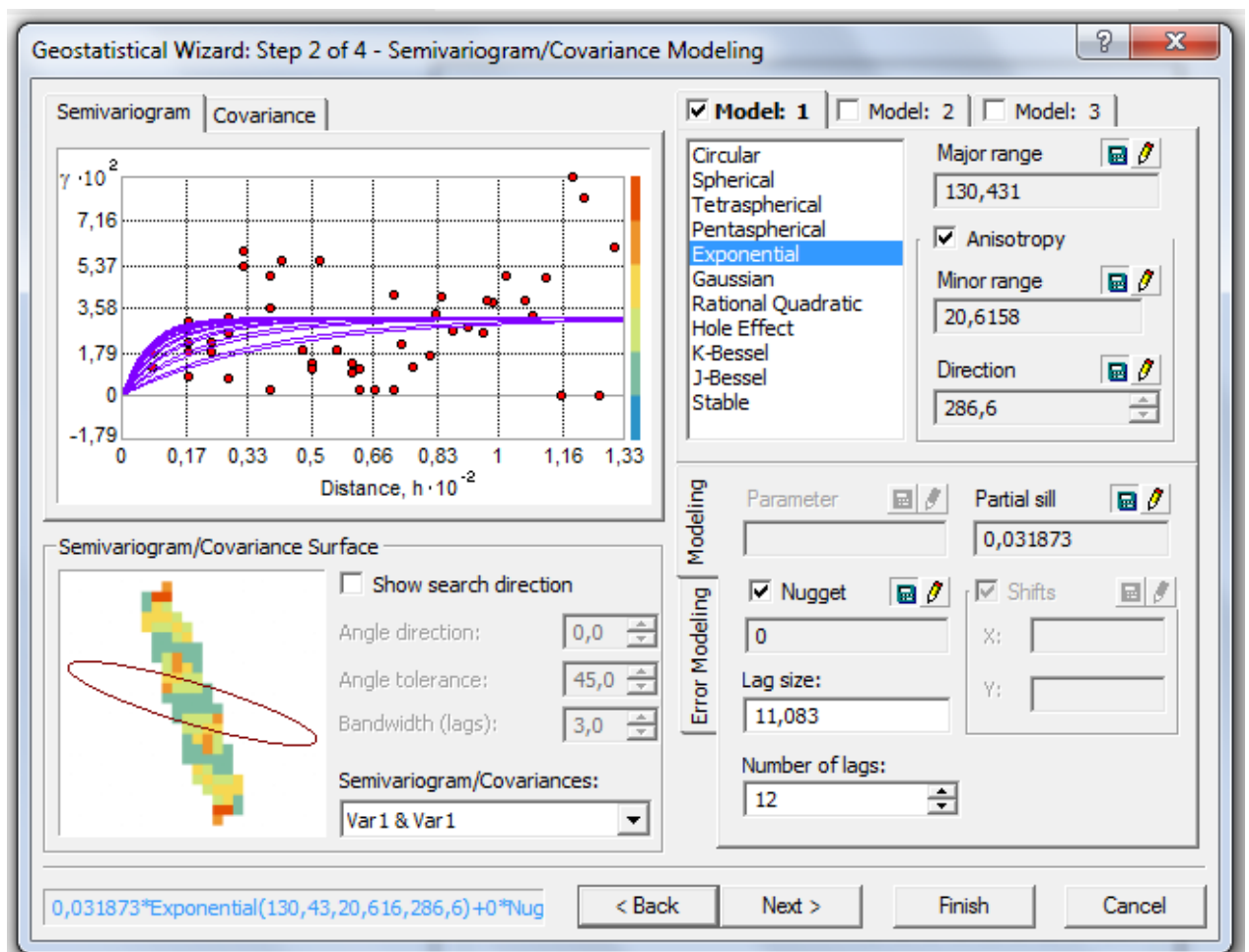


Fig. 5.27. Modelo del semivariograma de la variable Plomo

Fuente: El Autor



Sulfatos (SO_4):

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Sulfatos se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el esférico. El Nugget presenta un valor de 0.00, la meseta un valor de 1.333 y los alcances son: el mayor 130.43 m y el menor 23.26 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.28 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

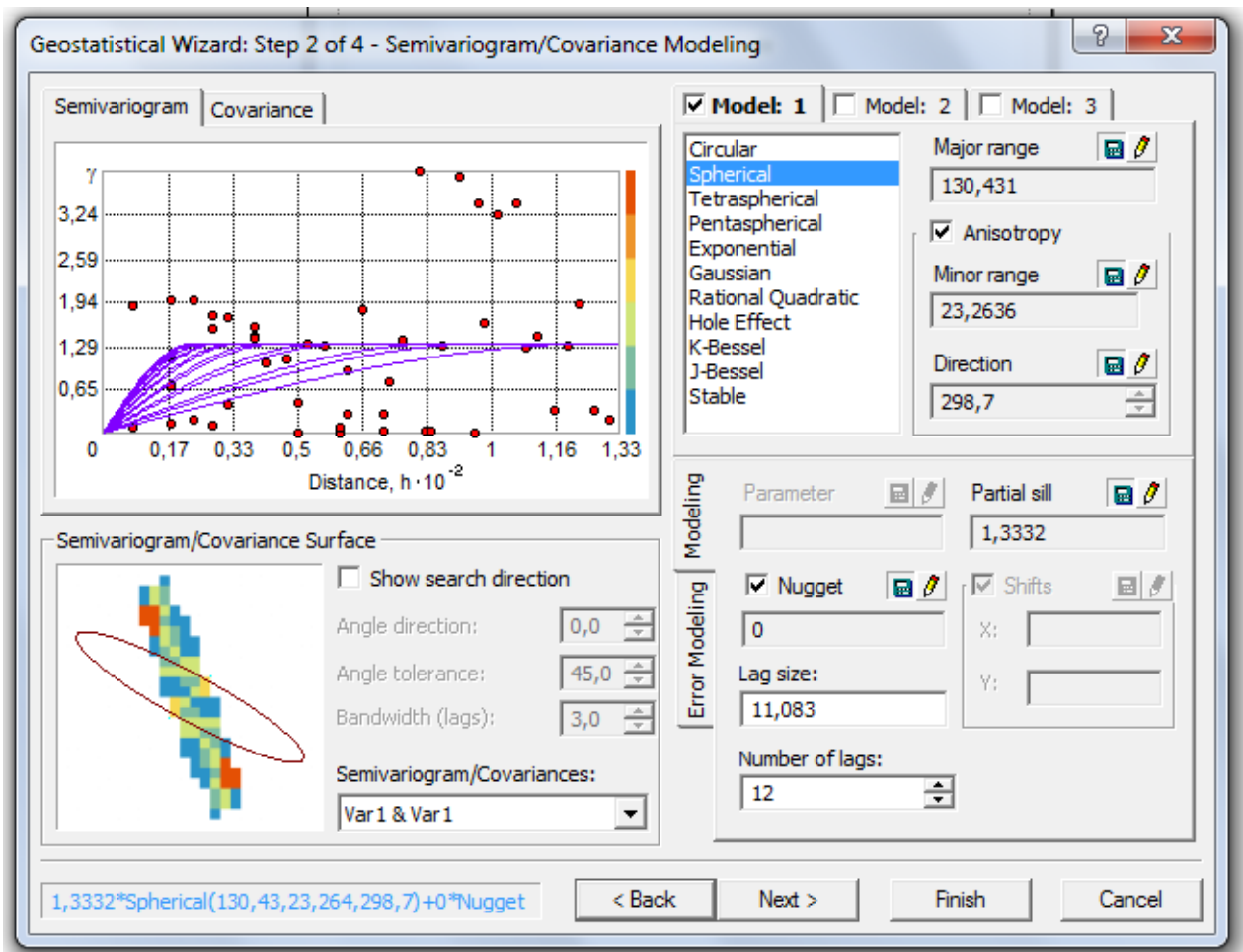


Fig. 5.28. Modelo del semivariograma de la variable Sulfatos

Fuente: El Autor



Dureza Total:

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Dureza Total se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el exponencial. El Nugget presenta un valor de 0.350, la meseta un valor de 0.727 y los alcances son: el mayor 130.43 m y el menor 23.86 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.29 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

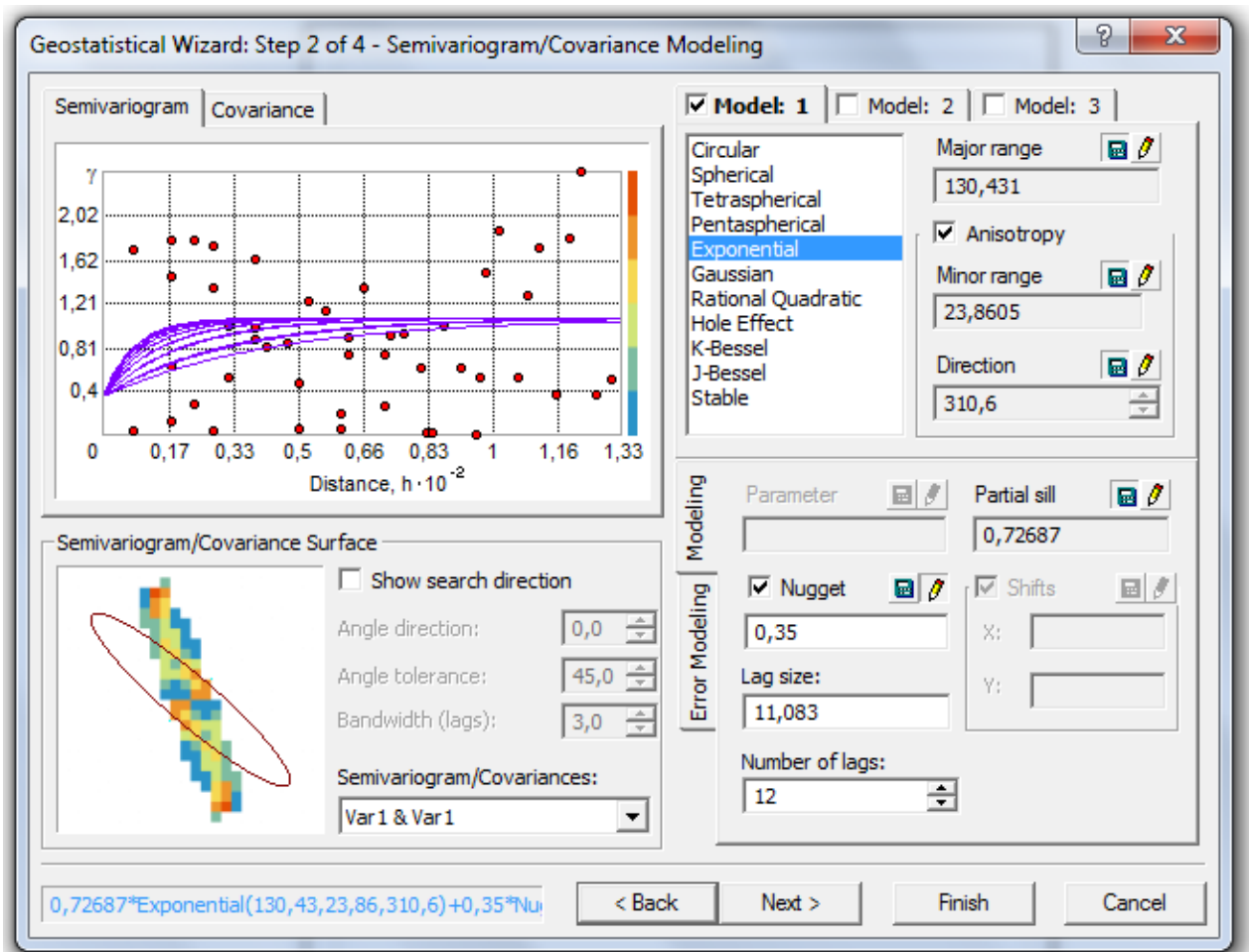


Fig. 5.29. Modelo del semivariograma de la variable Dureza Total

Fuente: El Autor



pH:

Repitiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable pH se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el exponencial. El Nugget presenta un valor de 0.930, la meseta un valor de 0.450 y los alcances son: el mayor 54.81 m y el menor 25.01 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección).

En la Fig. 5.30 se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

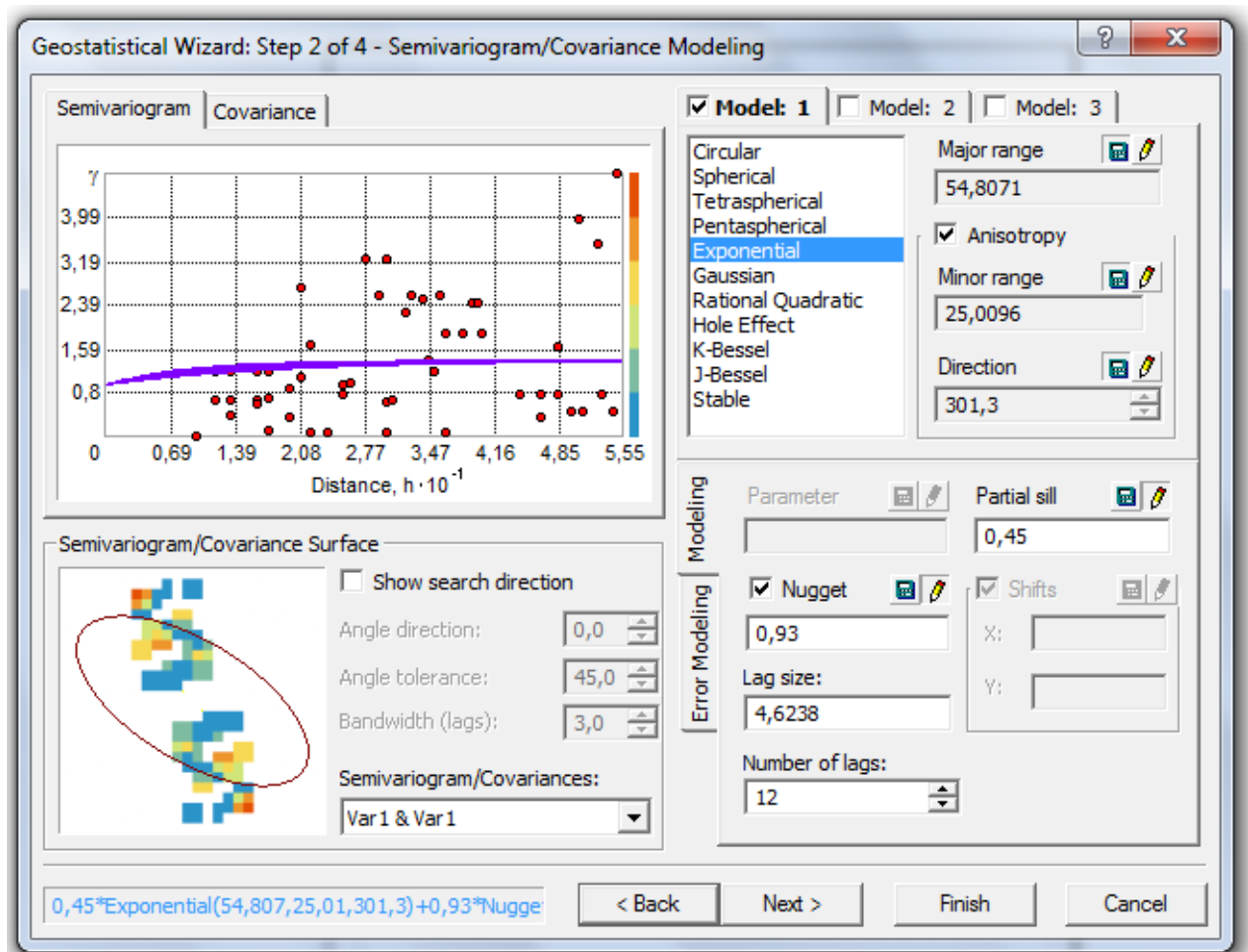


Fig. 5.30. Modelo del semivariograma de la variable pH.

Fuente: El Autor



5.6.2 Validación del Modelo Teórico por medio de Validación Cruzada

La técnica usada para evaluar el modelo fue la de Validación Cruzada, es así que para que exista una buena calidad de predicción se verifica que la Media Estandarizada (Mean Standardized) debe estar cerca de 0 y que el error cuadrático medio estandarizado (Root-Mean-Square Standardized) debe estar próximo a 1. También se puede chequear que los valores del error típico medio (Mean Standard Error) y error cuadrático medio (Root-Mean-Square), sean aproximadamente iguales.

A continuación se presentan los errores de predicción obtenidos en cada variable.

Arsénico (Ar):

Prediction errors	
Mean:	-0,003304
Root-Mean-Square:	0,09038
Average Standard Error:	0,09493
Mean Standardized:	-0,0798
Root-Mean-Square Standardized:	0,9307
Samples: 10 of 10	

Cianuros (CN):

Prediction errors	
Mean:	-571
Root-Mean-Square:	2494
Average Standard Error:	652,7
Mean Standardized:	-2,416
Root-Mean-Square Standardized:	5,666
Samples: 10 of 10	

Cloruros (Cl):

Prediction errors	
Mean:	58,9
Root-Mean-Square:	308,7
Average Standard Error:	280,4
Mean Standardized:	0,0002239
Root-Mean-Square Standardized:	0,9611
Samples: 10 of 10	

Cobre (Cu):

Prediction errors	
Mean:	0,008903
Root-Mean-Square:	0,3568
Average Standard Error:	0,3328
Mean Standardized:	0,004716
Root-Mean-Square Standardized:	1,093
Samples: 10 of 10	



Hierro Total (Fe):

Prediction errors	
Mean:	-0,1805
Root-Mean-Square:	2,545
Average Standard Error:	2,618
Mean Standardized:	-0,08014
Root-Mean-Square Standardized:	0,9932
Samples: 10 of 10	

Mercurio (Hg):

Prediction errors	
Mean:	0,001348
Root-Mean-Square:	0,03324
Average Standard Error:	0,03614
Mean Standardized:	0,0002505
Root-Mean-Square Standardized:	0,9301
Samples: 10 of 10	

Plomo (Pb):

Prediction errors	
Mean:	0,004626
Root-Mean-Square:	0,06381
Average Standard Error:	0,06201
Mean Standardized:	0,02195
Root-Mean-Square Standardized:	0,9831
Samples: 10 of 10	

Sulfatos (SO₄):

Prediction errors	
Mean:	79,92
Root-Mean-Square:	417,1
Average Standard Error:	747,9
Mean Standardized:	-0,03315
Root-Mean-Square Standardized:	1,033
Samples: 10 of 10	

Dureza Total:

Prediction errors	
Mean:	-18,52
Root-Mean-Square:	376,5
Average Standard Error:	367
Mean Standardized:	-0,09449
Root-Mean-Square Standardized:	1,004
Samples: 10 of 10	

pH:

Prediction errors	
Mean:	-0,02454
Root-Mean-Square:	0,779
Average Standard Error:	0,7935
Mean Standardized:	-0,02965
Root-Mean-Square Standardized:	1
Samples: 10 of 10	

5.6.3 Mapas Sectoriales de Predicción

En este apartado se presentan los mapas sectoriales de predicción que indicarán los sectores afectados y su grado de contaminación y concentración para cada una de las variables analizadas en los flujos ácidos.



Arsénico (Ar):

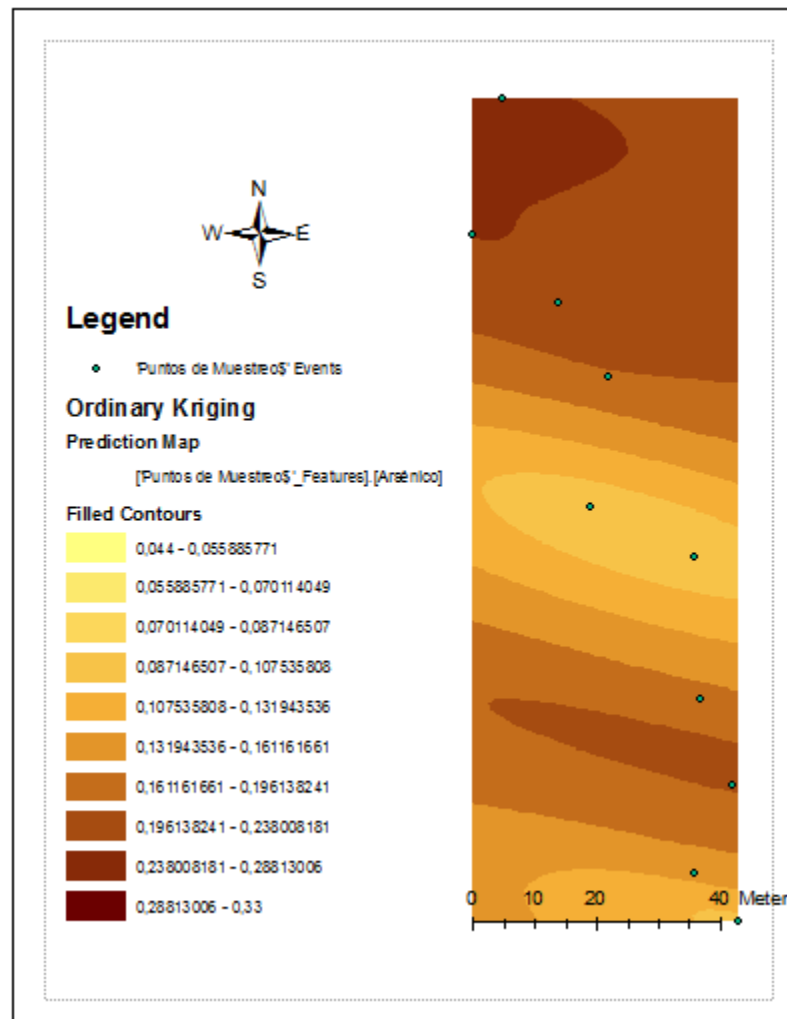


Fig. 5.31. Mapa de Predicción de la variable Arsénico

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Arsénico la mayor concentración de Arsénico se encuentra en la parte noroccidental del sector (en la figura se representa por el tono oscuro) y la menor se encuentra en la parte central (en la figura se representa por el tono más claro).



Cianuros (CN⁻):

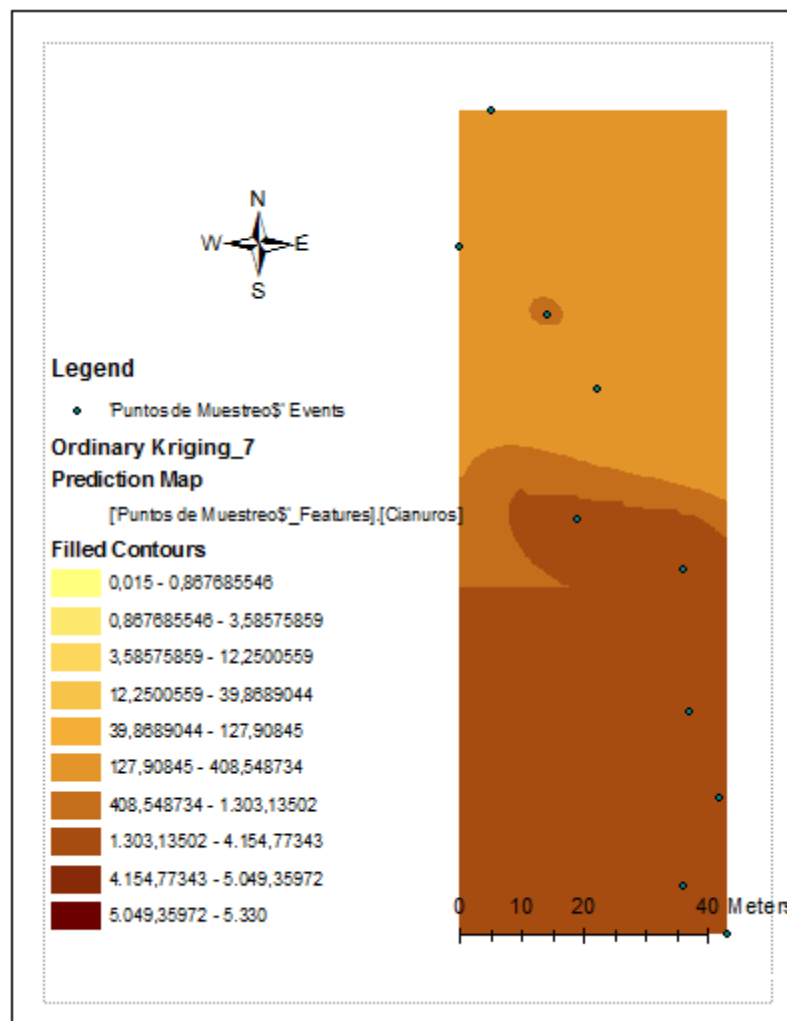


Fig. 5.32. Mapa de Predicción de la variable Cianuro

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Cianuros la mayor concentración de Cianuros se encuentra en la parte sur del sector (en la figura se representa por el tono oscuro) y la menor se encuentra en la parte Norte (en la figura se representa por el tono más claro).



Cloruros (Cl⁻):

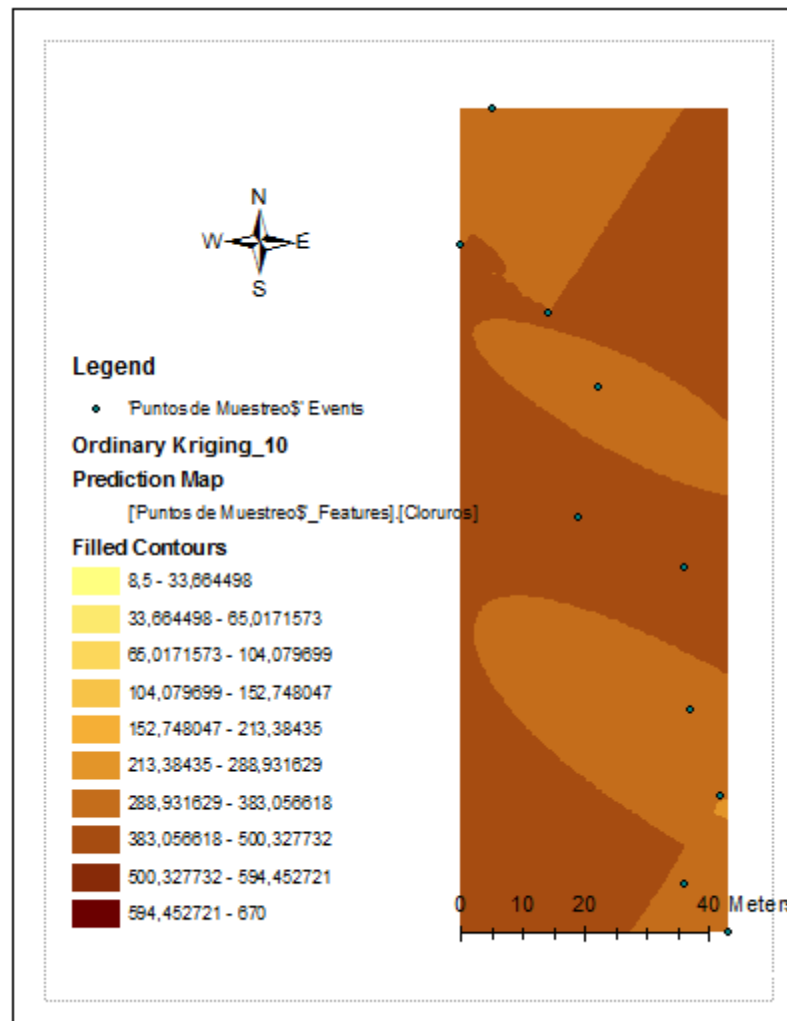


Fig. 5.33. Mapa de Predicción de la variable Cloruros

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Cloruro la concentración de Cloruro se encuentra bien distribuido en todo el sector aunque prevaleciendo las mayores concentraciones (en la figura se representa por el tono oscuro) que se encuentran en la parte nororiental central y suroccidental como se puede apreciar en la Fig. 5.33.



Cobre (Cu):

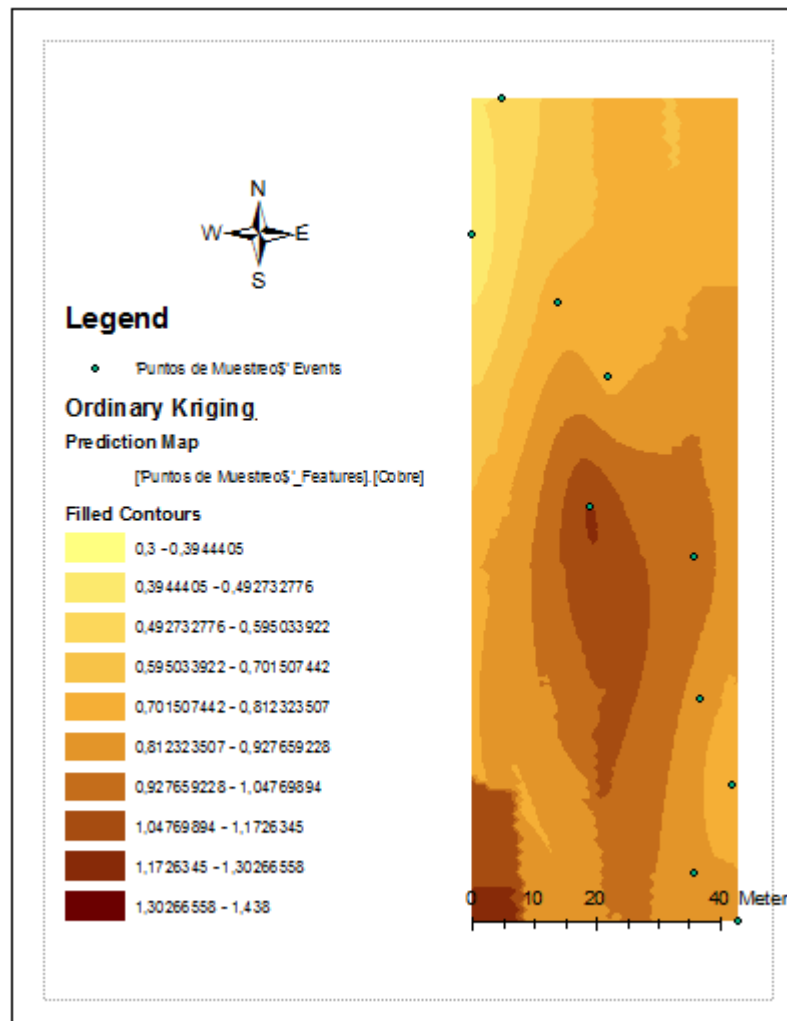


Fig. 5.34. Mapa de Predicción de la variable Cobre

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Cobre la mayor concentración de este componente se encuentra en la parte central del sector con tendencia hacia el sur (en la figura se representa por el tono oscuro) y las menores concentraciones se encuentra en la parte noroccidente (en la figura se representa por el tono más claro).



Hierro Total (Fe):

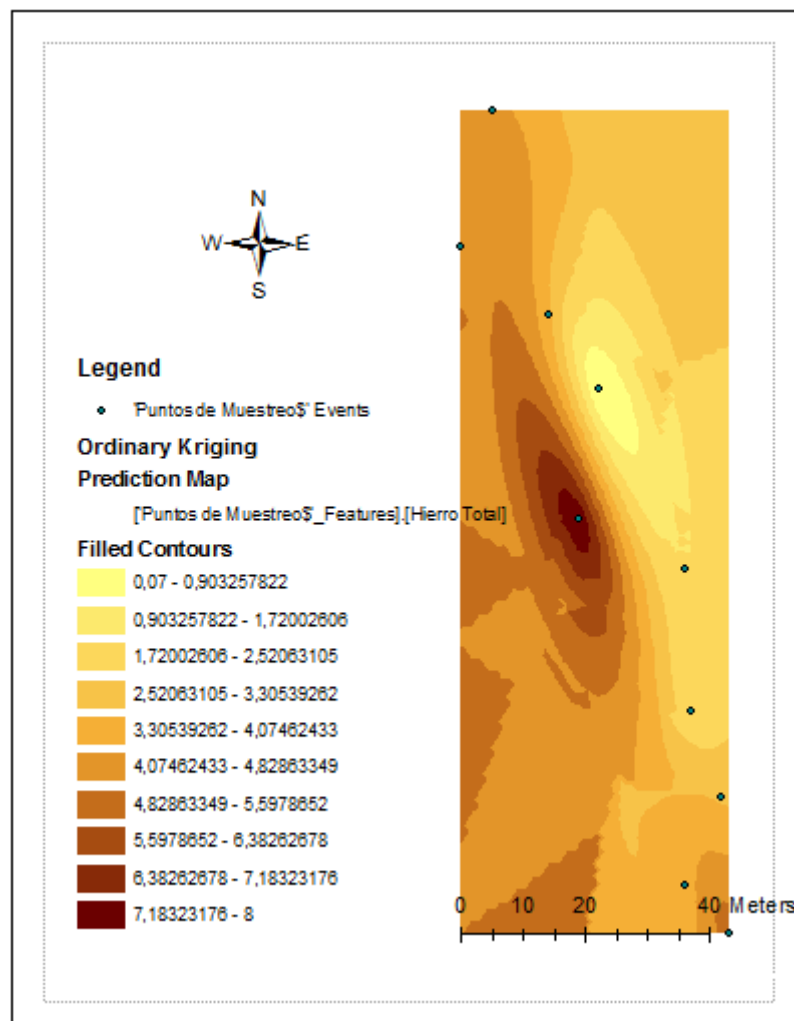


Fig. 5.35. Mapa de Predicción de la variable Hierro

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Hierro Total la mayor concentración de este componente se encuentra en la parte central del sector con tendencia hacia el oeste (en la figura se representa por el tono oscuro) y las menores concentraciones se encuentra en la parte nororiental (en la figura se representa por el tono más claro).



Mercurio (Hg):

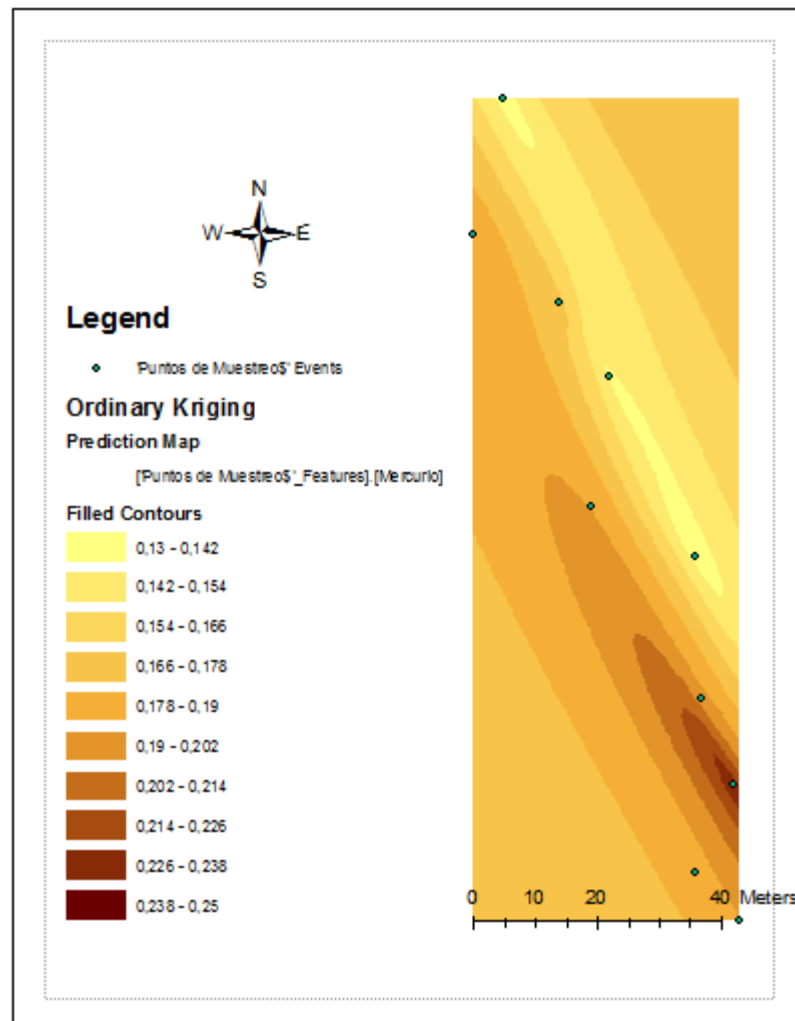


Fig. 5.36. Mapa de Predicción de la variable Mercurio

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Mercurio la mayor concentración de este componente se encuentra en la parte suroriental del sector con (en la figura se representa por el tono oscuro) y las menores concentraciones se encuentra en la parte Norte (en la figura se representa por el tono más claro).



Plomo (Pb):

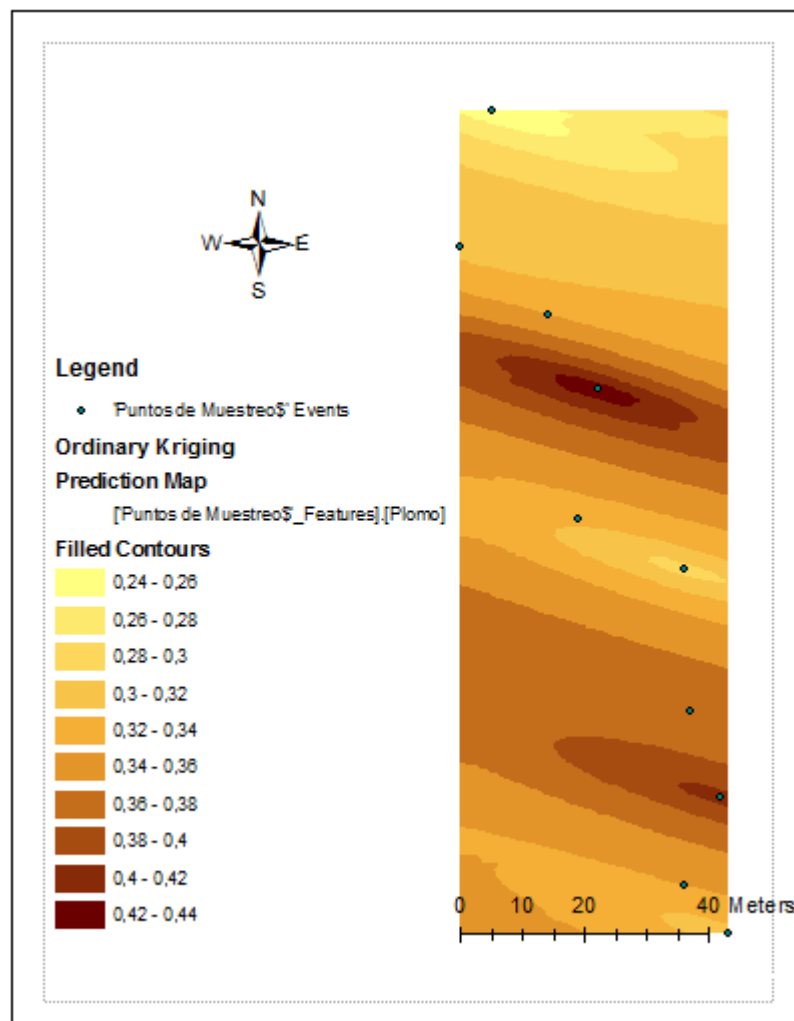


Fig. 5.37. Mapa de Predicción de la variable Plomo

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Plomo la concentración de este elemento se encuentra bien distribuido en todo el sector aunque la mayor concentración de este componente se encuentra en la parte central con tendencia al Norte y en la parte suroriental del sector (en la figura se representa por el tono oscuro) y las menores concentraciones se encuentra en la parte Norte (en la figura se representa por el tono más claro).



Sulfatos (SO_4^-):

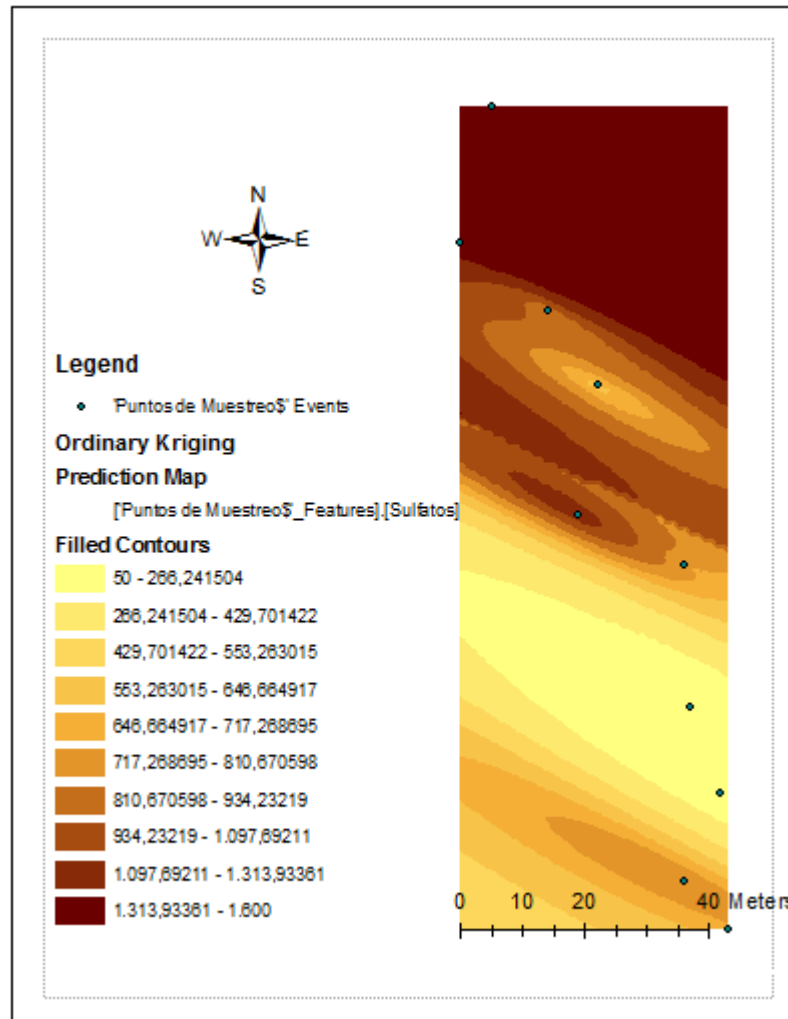


Fig. 5.38. Mapa de Predicción de la variable Sulfatos

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Sulfato la mayor concentración de Sulfatos se encuentra en la parte Norte del sector analizado (en la figura se representa por el tono oscuro) y las menores concentraciones se encuentra en la parte Sur (en la figura se representa por el tono más claro).



Dureza Total:

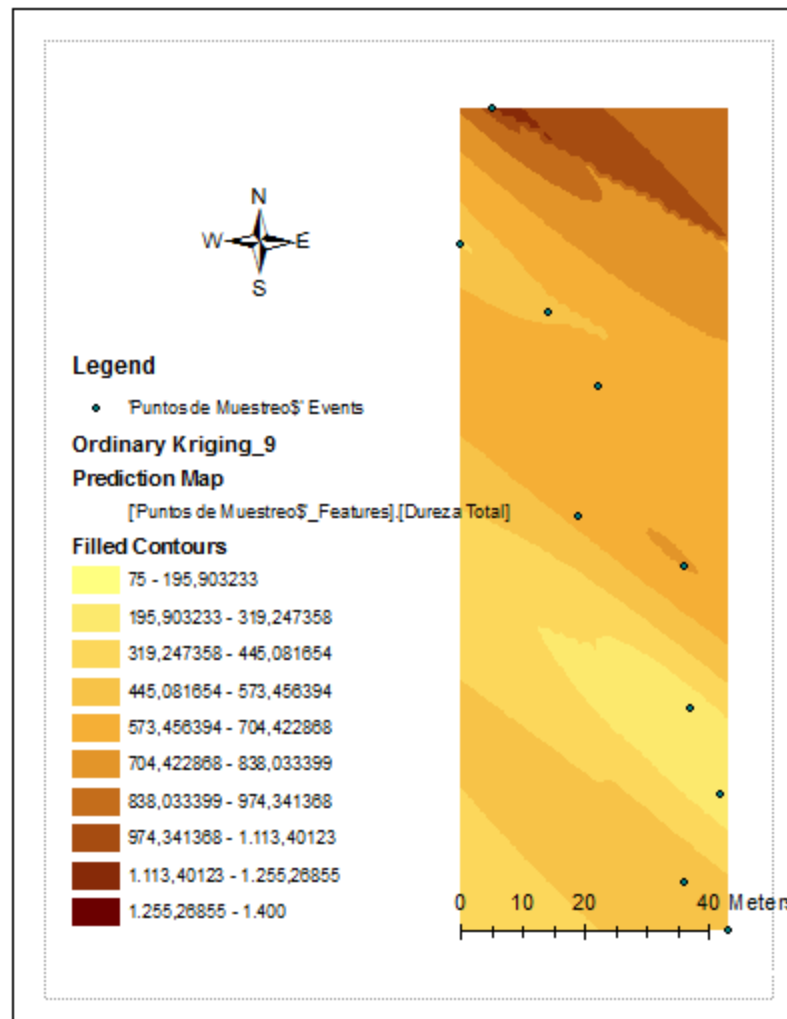


Fig. 5.39. Mapa de Predicción de la variable Dureza Total

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Dureza Total el mayor nivel de Dureza se la encuentra en la parte Norte del sector (en la figura se representa por el tono oscuro) y las menores concentraciones se encuentra en la parte Suroriental (en la figura se representa por el tono más claro).



pH:

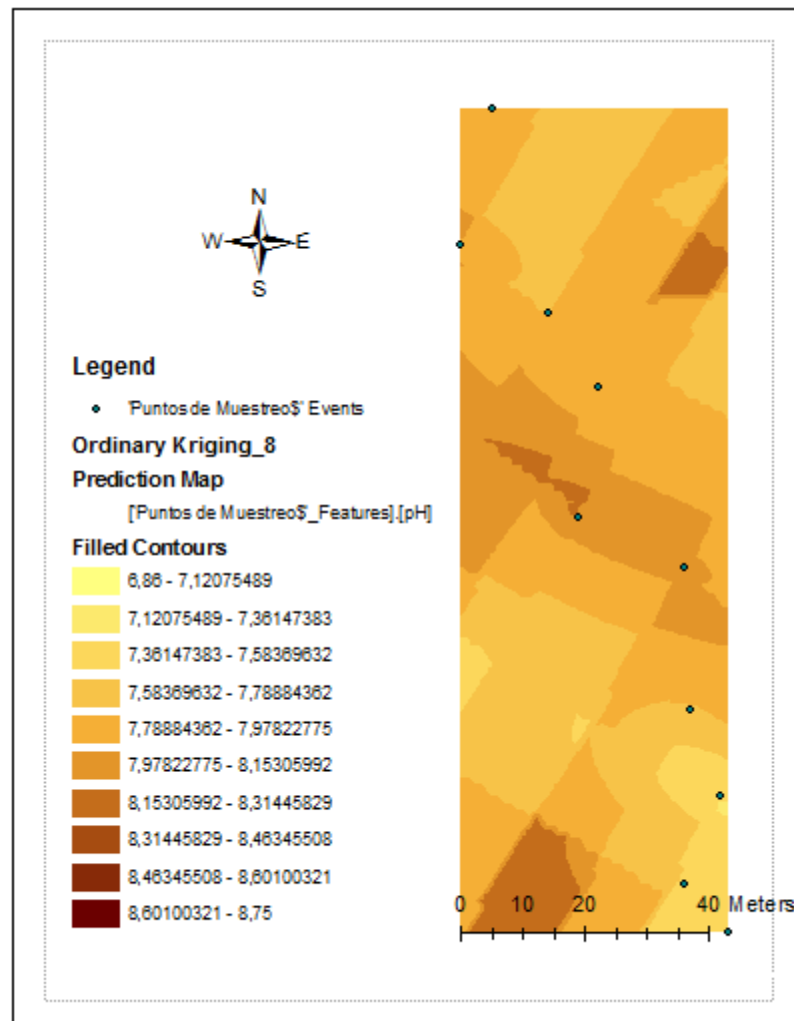


Fig. 5.40. Mapa de Predicción de la variable pH

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable pH los valores más críticos de pH (menores a 7) se representan en la figura 5.50 por los tonos más claros, mientras que los valores elevados de pH se representan en la figura 5.40 por los tonos más oscuros.



5.7 RESUMEN DE RESULTADOS

- La ubicación de los puntos de monitoreo y recolección de muestras se establecieron en lugares de fácil acceso y en una zona donde existen plantas de beneficio mineral, de esta forma se pudo obtener muestras representativas de flujos ácidos en las riberas del río Calera.
- La recolección de muestras resultó ser confiable porque no existió cambios o alteraciones en sus resultados por el transporte desde el sector de Portovelo – Zaruma hasta el laboratorio del CETTIA de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) donde se realizaron los análisis de los parámetros requeridos.
- Una vez realizado el muestreo, obtenidos los parámetros en el laboratorio y comparados con la Norma De Calidad Ambiental y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua (Libro VI, Tabla 12), se demuestra una gran concentración de metales pesados en estos flujos principalmente de Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Arsénico (As). Además se tiene un elevado contenido de Cianuro (CN), Sulfatos ($SO_4^{=}$) y Nitratos (NO_3). Todos estos parámetros con concentraciones elevadas al estar en contacto directo con el río Calera provoca un alto grado de contaminación del agua, haciendo imposible el consumo humano. Para poder utilizar estas aguas se debe dar un tratamiento previo.
- Sin bien es cierto los flujos ácidos se caracterizan por niveles bajos de pH y elevada acidez, los resultados obtenidos en este parámetro no dan un pH con esta característica. Los valores de pH con estos niveles son debido a que el flujo ácido analizado puede encontrarse en su primera etapa de transformación. En esta etapa existe suficiente alcalinidad disponible como para neutralizar la acidez por lo que la capacidad consumidora de ácido excede el potencial de generación del mismo, encontrando al agua con un nivel de pH neutro o cerca de él y una acidez insignificante, a pesar de la continua oxidación de sulfuros, este proceso se denomina neutralización.
- Analizando y evaluando cada uno de los parámetros por medio de sus graficas de dispersión se observa que la mayoría de estos tienen una



variabilidad en cuanto a sus resultados obtenidos en el laboratorio. Esta variabilidad se da debido al irregular vertido de relaves y otros agentes contaminantes que se utilizan en el proceso de recuperación del mineral.

- La alta concentración de cianuro presente en el segundo muestreo se pudo deber a una descarga del mismo suscitada en el día del muestreo por parte de alguna de las plantas de beneficio mineral.
- Al comprobar las consideraciones necesarias para una buena distribución al momento de evaluar los histogramas por medio de los resultados de los cuadro estadístico que en estos se incluyen, se concluye en que el modelado de todas las variables es satisfactorio a excepción del Cianuro.
- Los resultados de la parte estadística presentan los siguientes porcentajes de tendencia de los datos a representarse en los diferentes tipos de asimetría. El 40% de los parámetros presentan una asimetría negativa, el 20% simetría positiva y el 40% restante simetría negativa. Ningún parámetro presenta asimetría positiva. Con esto se concluye que la mayoría de los datos (60%) tiene simetría lo cual nos muestra la uniformidad de distribución, dando confiabilidad a los muestreos realizados.
- Evaluando la matriz de correlación los elementos que presentan mayor correlación son el Cobre con el Arsénico y el Cianuro, el Plomo con los Cloruros, el Mercurio con la Dureza Total, el Arsénico con los Cianuros y el Cloro con los Sulfatos y el pH.
- La técnica de interpolación que se usó en el análisis Geoestadístico fue la de kriging Ordinario ya que este método es considerado para muchos como el mejor estimador lineal insesgado.
- Los modelos teóricos aplicados en la modelación de los semivariogramas fueron el esférico y el exponencial dado a que son los más recomendados,
- Para todas las variables se aplicó anisotropía ya que da mejores resultados de modelación.



- Se realizaron transformaciones (Box-Cox o Logarítmica) en todas las variables para ajustarlas a una distribución normal.
- En la validación del modelo por medio de la validación cruzada se pudo verificar la buena calidad de predicción en todas las variables a excepción del Cianuro
- Los mapas de predicción nos dan una idea de lo que ocurre en el sector. No hay que olvidar que los procesos son muy variados, ciertos propietarios no procesan el mismo volumen de material todos los días y el tipo de molienda es diferente.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



6.1 CONCLUSIONES

- Las distintas metodologías de extracción en las minas así como la variable e irregular forma de procesar los minerales en las plantas de beneficio, produce variabilidad en la formación de los flujos ácidos durante el día ya que reaccionan de formas diferentes. De tal manera se generan flujos ácidos con características, composiciones y concentraciones en sus parámetros inconstantes.
- Una vez realizado el muestreo, obtenidos los parámetros en el laboratorio y comparados con la Norma De Calidad Ambiental y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua (Libro VI, Tabla 12), se demuestra una gran concentración de metales pesados en estos flujos principalmente de Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Arsénico (As). Además se tiene un elevado contenido de Cianuro (CN), Sulfatos ($SO_4=$) y Nitratos (NO_3). Todos estos parámetros con concentraciones elevadas al estar en contacto directo con el río Calera provoca un alto grado de contaminación del agua, haciendo imposible el consumo humano. Para poder utilizar estas aguas se debe dar un tratamiento previo
- Los resultados de la parte estadística presentan los siguientes porcentajes de tendencia de los datos a representarse en los diferentes tipos de asimetría. El 40% de los parámetros presentan una asimetría negativa, el 20% simetría positiva y el 40% restante simetría negativa. Ningún parámetro presenta asimetría positiva. Con esto concluimos que la mayoría de los datos (60%) tiene simetría lo cual nos muestra la uniformidad de distribución, dando confiabilidad a los muestreos realizados.
- Todas las variables analizadas pudieron ser ajustadas a una distribución normal. La única variable con una mala distribución al no ajustarse satisfactoriamente tanto analizando las consideraciones del cuadro estadístico presentado en los histogramas como en las consideraciones que se debe tomar en cuanto a la validación de método en la predicción de errores por medio de la validación cruzada, fue el cianuro. Esto se da debido a la



variabilidad de los resultados que se obtuvieron en el primer muestreo con respecto al segundo que pudo haber sido a causa de una descarga de esta sustancia toxica por parte de alguna de las plantas de beneficio mineral a sabiendas que el cianuro es usado por la industria minera como agente lixiviador del oro.

- La finalidad de esta investigación ha sido la caracterización de los flujos ácidos en las riberas del río Calera para su respectiva sectorización por medio de los mapas de predicción. Para que exista una buena sectorización se ha necesitado de la aplicación de métodos estadísticos que al final ayuden y permitan distribuciones normales en los parámetros analizados y buenos ajustes de variabilidad. Si bien es cierto la toma de muestras de los flujos ácidos fue realizada en puntos extremos, esto no implica que los mapas de predicción obtenidos en esta investigación sean inconsistentes ya que el objetivo es tener una idea de la expansión de la contaminación y de su dispersión en el sector dada por cada uno de los parámetros analizados. Por todo lo mencionado anteriormente se concluye que los mapas sectoriales de predicción presentados en este proyecto dan una idea más clara de los sectores afectados, así como el grado de contaminación y concentración para cada una de las variables analizadas en los flujos ácidos de esta zona.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para la evaluación de los flujos ácidos se debe de tomar una serie de aspectos importantes. Es recomendable que la ubicación de los puntos de interés para la recolección de muestras sea en lugares cercanos a las plantas de beneficio mineral. Se debe tomar un alto número de puntos de muestreo bien distribuidos para que así exista una mayor cantidad de ensayos. De esta manera se puede tener una buena evaluación de la zona y realizar sin inconvenientes los histogramas y análisis geoestadístico.
- Los flujos ácidos de mina es un tema ambiental de relevancia, esto debido al nivel de producción de residuos mineros que existe actualmente al sur del país principalmente en el distrito minero de Portovelo – Zaruma, residuos que



en corto o mediano plazo aumentarán significativamente. Al considerar que la generación de flujos ácido puede ser un proceso lento, que en algunos casos sólo podría ser detectado una vez que el proceso presenta un grado de avance que podría llegar a ser irreversible, es recomendable aplicar medidas de mitigación y planes de manejo para la solución de un problema ambiental que sin lugar a duda está en un índice peligroso de afectación tanto para el ser humano como para los recursos naturales y todo el ecosistema de la cuenca.

- Para enfrentar cada uno de los problemas que provocan estos flujos ácidos, es imprescindible realizar estudios utilizando los conocimientos y herramientas científicas, así como los criterios de experiencias en situaciones similares. A continuación se señala algunas recomendaciones para la mitigación y remediación de la contaminación por flujos ácidos mineros.
 - Es recomendable la utilización de métodos que incluyen el uso de sistemas de contención de ingeniería, técnicas de disposición de relaves y prevención de la escorrentía de aguas superficiales.
 - Se aconseja la colocación de cubiertas impermeables que controlen la erosión y el contacto con la lluvia y el aire de los desechos mineros, además se recomienda localizar los depositos mineros en puntos donde no causen impacto a los cursos de agua. Los depósitos que se localizan en flujos deben tener canales construidos para derivar el flujo original alrededor del depósito. Si el flujo no se deriva, puede percolar a través del depósito contribuyendo a la formación de fluidos ácidos y/o erosionar y transportar sedimentos en la dirección del flujo.
 - Un método para minimizar la formación de flujo ácido es nivelar apropiadamente las pilas de desmonte para incrementar las escorrentías y reducir así la infiltración en lo posible en un 95%, se debe crear superficies impermeabilizadas, además es importante reducir la erosión del suelo a travez de controles de ingeniería (zanjas, taludes adecuados y vegetación).



- Para reducir impactos provocados por los relaves es necesaria la construcción de canales de derivación de flujos sobre los relaves y la decantación y reciclaje del agua de la cancha de relaves. De esta manera se limitará la infiltración potencial del agua.



BIBLIOGRAFÍA

- **Bermeo, A. (2001).** “Confianza y enfoque integral para mejorar la minería aurífera de pequeña escala: lecciones aprendidas en Prodeminca”. Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica.
- **Cañada Torrecilla, M. R. (2007).** Sistemas y análisis de la información geográfica. Parte X. Análisis Geoestadístico.
- **Celi, K. (2010).** Panorámica de Portovelo.jpg, se encuentra en: <http://blog.espol.edu.ec>
- **Cuador Gil, J.Q. (2000).** Elementos de Geoestadística. Universidad de Pinar del Río (Cuba). En www.monografias.com.
- **Davis, M. (1997).** Geoestatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, Amsterdam, 364 p.
- **ECOAMERICA.CL. (MAYO, 2007).** Revista Ecoamérica, Minería y Medio Ambiente, Drenaje Ácido de Mina.
- **Fundación CENDA. (1996).** Estudio Colectivo de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental. Río Calera/ El Salado. Acuerdo Colectivo según Acuerdo Ministerial N0. 217. Zaruma-Portovelo, El Oro.
- **García, J. A; González, C y Ruiz, G. (2007).** Estadística Administrativa, Universidad de Cádiz.
- **Government of Ecuador. (1994).** Geological and Metal Occurrence Maps of the Southern Cordillera Real and El Oro Methamorphic Belts, Ecuador. Escala 1:500000.
- **Herrera T. (2007).** LAS MINAS, se encuentra en: <http://www.hoy.com.ec/temas/temas2007/ecuadorsi/minas.htm>
- **Jiménez, A. M. (2007).** Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de auto aprendizaje con ArcGIS. 893 p.



- **Johnston, K. (2001).** Using ArcGIS geostatistical analyst. Nueva York, cap 6, pp. 131 – 166
- **Journel, A.G. y Huijbregts, C. J. (1978).** Mining Geostatistics, Academic Press, New York 600 p.
- **Krajewski, S. A. y Gibbs, B. L. (1993).** A Variogram Primer, Gibbs Associates, 93 p.
- **Mateu, J. y Morell, I. (2003).** GEOESTADÍSTICA y modelos matemáticos en hidrogeología, pp. 1 – 19
- **Matheron, G. (1970).** “La Théorie des Variables Regionalisées et ses Applications” Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5, Ecole de Mines de Paris, 212p.
- **Ministerio de Energía y Minas – Perú. (1995).** Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas, se encuentra en, <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manedrenaje.pdf>
- **Ministerio del Ambiente, Relaves de El Oro, Capítulo 4 Auditoria Ambiental para las plantas de beneficio. (2010).** Se encuentra en, www.ambiente.gob.ec
- **Montgomery Douglas, C. y Runger George, C. (1996).** Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. Ed. McGraw Hill, Capítulo 9.
- **Mutti, D y Bonilla. (2005).** Mapa de Geología Local de la zona de Zaruma y Portovelo.
- **Norman, G. y Streiner, D. (2005).** Bioestadística, Versión en español de la obra en Inglés Biostatistics.
- **Pauta, G. (1998).** Manual de Teoría y Prácticas de Análisis de aguas, 145p.
- **Pineda, E. (2010).** Análisis de la contaminación por Cianuro, Mercurio, Plomo y Arsénico, en los Ríos Calera y Amarillo derivada de la explotación minera. (UTPL).



- **Rangel, A. P; Sánchez, A. H. y Siabato, W.L. (2003).** Geoestadística aplicada a problemas de contaminación atmosférica.
- **República de Ecuador.** Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI Anexo 1. Actualmente vigente.
- **Rios, J. (2010).** Zaruma patrimonio Cultural, se encuentra en: <http://blog.espol.edu.ec/jhonrios/>
- **Romero Vilafranca, R. y Zuñiga Ramajo, L. (2005).** Métodos Estadísticos en Ingeniería.
- **Siabato, W. y Yudego, C. (2004).** “Geoestadística y Medio Ambiente” en Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de información Geográfica. Editado por C. Conesa y J. Martínez. Pp. 9 – 11.
- **Skoog, D. y Leary, J. (1994).** Analisis Instrumental. Cuarta edición Mc Graw Hill.
- **Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). (2010).** Evaluación de Impacto Ambiental, Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio. El Oro-Ecuador, (UTPL).
- **Valarezo Sánchez, A. (2010).** Artículo “Prioridad a problemática ambiental frontera Ecuador - Perú”, se encuentra en: <http://agenciadeprensaeloro.blogspot.com/2010/09/prioridad-problematika-ambiental.html>
- **Weimer, R. (2005).** STATISTICS, segunda edición en Inglés (Primera edición en español)
- **Younger, P. (2002).** “Mine waste or mine voids: which is the most important long term source of polluted mine drainage?”



ANEXOS

ANEXO A.

ANÁLISIS DE LABORATORIO
ANÁLISIS DE LABORATORIO Nro. 1



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

LABORATORIO CETTIA-UTPL

Informe de Ensayo

CETTIA

FECHA DEL INFORME: 2010-07-06
INFORME No. 1053
SOLICITUD DE ANALISIS: 3757

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:

NOMBRE: Ing. Edgar Pineda - UCG
DIRECCIÓN: San Cayetano Alto
TELEFONO: 270275 ext. 2509 FAX: n/e E-mail: n/e

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

DESCRIPCIÓN
Muestra 1 Agua drenaje ácido P 1,1
Muestra 2 Agua drenaje ácido P 1,2
Muestra 3 Agua drenaje ácido P 2
Muestra 4 Agua drenaje ácido P 1 S
Muestra 5 Agua drenaje ácido P 2 S
CONDICIÓN: La muestra llega en botella plástica.
FECHA DE RECEPCIÓN: 2010-06-07

INFORMACIÓN GENERAL:

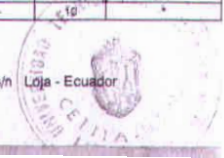
El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
U: Incertidumbre expandida con un 95% de confianza.
HG: Homo de grafito GH: Generador de hidruros
* Norma de Calidad Ambiental. Recurso Agua. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
n/d: No aplica.
n/d: No es medible.
n/d: No es específica.
n/d: Asumiendo menor que el límite de detección del método.

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS		MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	U	LDO	REQUISITOS DEL PRODUCTO		FUENTE DE LOS REQUISITOS O REFERENCIA
	INICIO	FIN						Min	Max	
Muestra 1										
Potasio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	<LDO (1, 2)	n/d	0,4	n/d	n/d	*
Sodio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	0,10	n/d	0,01	n/d	n/d	*
Mercurio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: GH	mg/L	0,13	n/d	0,005	-	0,005	*
Plomo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: HG	mg/L	0,24	n/d	0,005	-	0,2	*
Cadmio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	<LDO (3, 6)	n/d	0,01	-	0,02	*
Cromo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	<LDO (1, 5)	n/d	0,1	-	0,5	*
Cobre	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	0,50	n/d	0,4	-	1	*
Arsénico	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: GH	mg/L	0,33	n/d	0,005	-	0,1	*
Zinc	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	0,50	n/d	0,1	-	5,0	*
pH	2010-06-07	2010-06-07	Iqph-01	-	7,60	n/d	5,033	5	9	*
Dureza Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-DT-002	mg de	1400,00	n/d	n/d	-	-	n/e
Calcio	2010-06-09	2010-06-09	LIA-Ca-001	mg de Ca	480,90	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-06-08	2010-06-08	LIA-Cl-001	mg/l	440,00	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8008	mg/l	4,44	n/d	n/d	-	10	*
Sulfatos	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8051	mg/l	1560,00	n/d	n/d	-	1000	*
Nitrato	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8171	mg/l	79,00	n/d	n/d	-	-	n/e
Nitrito	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8507	mg/l	1,340	n/d	n/d	-	-	n/e
Cianuros	2010-06-07	2010-06-07	LIA-CN Volumetrico	mg/l	0,310	n/d	n/d	-	0,1	*
Acidez total	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	40,00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	522,00	n/d	n/d	-	-	n/e
Muestra 2										
Potasio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	<LDO (1, 2)	n/d	0,4	n/d	n/d	*
Sodio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: Llama	mg/L	0,16	n/d	0,01	n/d	n/d	*
Mercurio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica: GH	mg/L	0,19	n/d	0,005	-	0,005	*



DETERMINACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS		MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	U	LDD	REQUISITOS DEL PRODUCTO		FUENTE DE LOS REQUISITOS O REFERENCIA
	INICIO	FIN						Min.	Máx.	
Ni mg/l	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. HG	mg/L	0.31	n/d	0.005	-	0.2	*
Cadmio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.008	n/d	0.01	-	0.02	*
Cromo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.006	n/d	0.1	-	0.5	*
Cobre	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.3	n/d	0.4	-	1	*
Arsénico	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. GH	mg/L	0.28	n/d	0.005	-	0.1	*
Zinc	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.43	n/d	0.1	-	5.0	*
pH	2010-06-07	2010-06-07	IApH-01	-	8.39	0.01	5.033	5	9	*
Dureza Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-DT-002	mg de	240.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Calcio	2010-06-09	2010-06-09	LIA-Ca-001	mg de Ca	92.18	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-06-08	2010-06-08	LIA-Cl-001	mg/l	445.00	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8008	mg/l	4.38	n/d	n/d	-	10	*
Sulfatos	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8051	mg/l	1600.00	n/d	n/d	-	1000	*
Nitrato	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8171	mg/l	295.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Nitrito	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8507	mg/l	7.170	n/d	n/d	-	-	n/e
Cianuros	2010-06-07	2010-06-07	LIA-CN Volumetrico	mg/l	0.880	n/d	n/d	-	0.1	*
Acidez total	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	0.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	984.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Muestra 3										
Potasio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.14	n/d	0.4	n/d	n/d	*
Sodio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.22	n/d	0.01	n/d	n/d	*
Mercurio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. GH	mg/L	0.19	n/d	0.005	-	0.005	*
Plomo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. HG	mg/L	0.44	n/d	0.005	-	0.2	*
Cadmio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.007	n/d	0.01	-	0.02	*
Cromo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.005	n/d	0.1	-	0.5	*
Cobre	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.60	n/d	0.4	-	1	*
Arsénico	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. GH	mg/L	0.21	n/d	0.005	-	0.1	*
Zinc	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.52	n/d	0.1	-	5.0	*
pH	2010-06-07	2010-06-07	IApH-01	-	7.00	0.01	5.033	5	9	*
Dureza Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-DT-002	mg de	640.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Calcio	2010-06-09	2010-06-09	LIA-Ca-001	mg de Ca	210.40	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-06-08	2010-06-08	LIA-Cl-001	mg/l	20.00	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8008	mg/l	0.07	n/d	n/d	-	10	*
Sulfatos	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8051	mg/l	600.00	n/d	n/d	-	1000	*
Nitrato	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8171	mg/l	31.90	n/d	n/d	-	-	n/e
Nitrito	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8507	mg/l	6.850	n/d	n/d	-	-	n/e
Cianuros	2010-06-07	2010-06-07	LIA-CN Volumetrico	mg/l	0.015	n/d	n/d	-	0.1	*
Acidez total	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	5.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	84.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Muestra 4										
Potasio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.23	n/d	0.4	n/d	n/d	*
Sodio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.11	n/d	0.01	n/d	n/d	*
Mercurio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. GH	mg/L	0.19	n/d	0.005	-	0.005	*
Plomo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. HG	mg/L	0.37	n/d	0.005	-	0.2	*
Cadmio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.008	n/d	0.01	-	0.02	*
Cromo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.007	n/d	0.1	-	0.5	*
Cobre	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.90	n/d	0.4	-	1	*
Arsénico	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. GH	mg/L	0.16	n/d	0.005	-	0.1	*
Zinc	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.33	n/d	0.1	-	5.0	*
pH	2010-06-07	2010-06-07	IApH-01	-	7.58	0.01	5.033	5	9	*
Dureza Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-DT-002	mg de	75.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Calcio	2010-06-09	2010-06-09	LIA-Ca-001	mg de Ca	0.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-06-08	2010-06-08	LIA-Cl-001	mg/l	35.00	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8008	mg/l	1.93	n/d	n/d	-	10	*
Sulfatos	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8051	mg/l	50.00	n/d	n/d	-	1000	*
Nitrato	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8171	mg/l	3.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Nitrito	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8507	mg/l	0.200	n/d	n/d	-	-	n/e
Cianuros	2010-06-07	2010-06-07	LIA-CN Volumetrico	mg/l	0.980	n/d	n/d	-	0.1	*
Acidez total	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	10.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	92.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Muestra 5										
Potasio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.3	n/d	0.4	n/d	n/d	*
Sodio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.12	n/d	0.01	n/d	n/d	*
Mercurio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. GH	mg/L	0.25	n/d	0.005	-	0.005	*
Plomo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. HG	mg/L	0.41	n/d	0.005	-	0.2	*
Cadmio	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.008	n/d	0.01	-	0.02	*
Cromo	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	<LDD 0.007	n/d	0.1	-	0.5	*
Cobre	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.50	n/d	0.4	-	1	*
Arsénico	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. GH	mg/L	0.20	n/d	0.005	-	0.1	*
Zinc	2010-06-14	2010-07-02	Absorción atómica. Liama	mg/L	0.32	n/d	0.1	-	5.0	*
pH	2010-06-07	2010-06-07	IApH-01	-	6.80	0.01	5.033	5	9	*
Dureza Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-DT-002	mg de	90.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Calcio	2010-06-09	2010-06-09	LIA-Ca-001	mg de Ca	28.10	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-06-08	2010-06-08	LIA-Cl-001	mg/l	8.50	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8008	mg/l	3.23	n/d	n/d	-	10	*





DETERMINACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS		MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	U	LDO	REQUISITOS DEL PRODUCTO		FUENTE DE LOS REQUISITOS O REFERENCIA
	INICIO	FIN						Min.	Máx.	
Sulfatos	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8051	mg/l	100.00	n/d	n/d	-	1000	*
Nitrato	2010-06-09	2010-06-09	LIA-HACH-8171	mg/l	3.30	n/d	n/d	-	-	n/e
Nitrato	2010-06-08	2010-06-08	LIA-HACH-8507	mg/l	0.000	n/d	n/d	-	-	n/e
Cianuros	2010-06-07	2010-06-07	LIA-CN-Volumetrico	mg/l	0.193	n/d	n/d	-	0.1	*
Acidez total	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	4.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-06-08	2010-06-08	LIA-AT-002	mg/l	60.00	n/d	n/d	-	-	n/e


Ing. Myriam Jacome
LIDER DE CALIDAD


Ing. Miguel Guaman
LIDER TÉCNICO (E)

FIN DEL INFORME



CETTIA



ANALISIS DE LABORATORIO Nro. 2



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

LABORATORIO CETTIA-UTPL

Informe de Ensayo

CETTIA

FECHA DEL INFORME: 2010-12-13
 INFORME No. 1162
 SOLICITUD DE ANALISIS: 3890

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:

NOMBRE: UCG - José Luis González
 DIRECCIÓN: San Cayetano Alto
 TELEFONO: 2570275 ext. 2509
 FAX: E-mail:

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

DESCRIPCIÓN
 Muestra 1 Agua drenaje ácido Portovelo - Zaruma M1
 Muestra 2 Agua drenaje ácido Portovelo - Zaruma M2
 Muestra 3 Agua drenaje ácido Portovelo - Zaruma M3
 CONDICIÓN: La muestra llega en botella plástica.
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2010-12-02

INFORMACIÓN GENERAL:

El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
 U: Incertidumbre expandida con un 95% de confianza.
 HG: Horno de grafito GH: Generador de hidruros
 * Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
 n/a: No aplica.
 n/d: No disponible.
 n/e: No específica.
 < LDD: Resultado menor que el límite de detección del método

RESULTADOS:

SUBSTANCIAS	FECHA DE ANALISIS		METODO	UNIDAD	RESULTADOS	U	LDD	REQUISITOS DEL PRODUCTO		FUENTE DE LOS REQUISITOS O REFERENCIA
	INICIO	FIN						Min.	Max.	
Muestra 1										
Mercurio	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: GH	mg/L	<LDD	n/d	0.005	-	0.005	*
Plomo	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: HG	mg/L	0.325	n/d	0.005	-	0.2	*
Arsénico	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: GH	mg/L	0.056	n/d	0.005	-	0.1	*
Cobre	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: Llama	mg/L	1.438	n/d	0.4	-	1.0	*
pH	2010-12-02	2010-12-02	MqH-01	-	8.75	0.01	5.033	5	9	*
Dureza Total	2010-12-06	2010-12-06	LIA-DT-002	mg de	650.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-12-09	2010-12-09	LIA-Cl-001	mg/l	670.00	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-12-06	2010-12-06	LIA-HACH-8008	mg/l	8.00	n/d	n/d	-	10	*
Sulfatos	2010-12-09	2010-12-09	LIA-HACH-8051	mg/l	1220.00	n/d	n/d	-	1000	*
Cianuros	2010-12-03	2010-12-03	LIA-CN-Volumétrico	mg/l	4.860	n/d	n/d	-	0.1	*
Acidez total	2010-12-07	2010-12-07	LIA-AT-002	mg/l	0.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-12-07	2010-12-07	LIA-AT-002	mg/l	1000.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Muestra 2										
Mercurio	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: GH	mg/L	<LDD	n/d	0.005	-	0.005	*
Plomo	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: HG	mg/L	0.289	n/d	0.005	-	0.2	*
Arsénico	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: GH	mg/L	0.051	n/d	0.005	-	0.1	*
Cobre	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica: Llama	mg/L	1.058	n/d	0.4	-	1.0	*
pH	2010-12-02	2010-12-02	MqH-01	-	8.58	0.01	5.033	5	9	*
Dureza Total	2010-12-06	2010-12-06	LIA-DT-002	mg de	750.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-12-09	2010-12-09	LIA-Cl-001	mg/l	580.00	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-12-06	2010-12-06	LIA-HACH-8008	mg/l	1.70	n/d	n/d	-	10	*
Sulfatos	2010-12-09	2010-12-09	LIA-HACH-8051	mg/l	720.00	n/d	n/d	-	1000	*
Cianuros	2010-12-03	2010-12-03	LIA-CN-Volumétrico	mg/l	5.330	n/d	n/d	-	0.1	*
Acidez total	2010-12-07	2010-12-07	LIA-AT-002	mg/l	0.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-12-07	2010-12-07	LIA-AT-002	mg/l	600.00	n/d	n/d	-	-	n/e
Muestra 3										



DETERMINACIÓN	FECHA DE ANÁLISIS		MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	U	LDD	REQUISITOS DEL PRODUCTO		FUENTE DE LOS REQUISITOS O REFERENCIA
	INICIO	FIN						Min.	Max.	
Mercurio	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica. GH	mg/L	<LDD	n/d	0.005	-	0.005	*
Plomo	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica. HG	mg/L	0,307	n/d	0.005	-	0.2	*
Arsénico	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica. GH	mg/L	0,044	n/d	0.005	-	0.1	*
Cobre	2010-12-07	2010-12-10	Absorción atómica. Llama	mg/L	1,007	n/d	0.4	-	1.0	*
pH	2010-12-02	2010-12-02	IAPI-01		7,71	0,01	5.033	5	9	*
Dureza Total	2010-12-06	2010-12-06	LIA-DT-002	mg de	540,00	n/d	n/d	-	-	n/e
Cloruros	2010-12-09	2010-12-09	LIA-CI-001	mg/l	275,00	n/d	n/d	-	1000	*
Hierro Total	2010-12-06	2010-12-06	LIA-HACH-8008	mg/l	5,30	n/d	n/d	-	10	*
Sulfatos	2010-12-09	2010-12-09	LIA-HACH-8051	mg/l	660,00	n/d	n/d	-	1000	*
Cianuros	2010-12-03	2010-12-03	LIA-CN-Volumetrico	mg/l	4,780	n/d	n/d	-	0,1	*
Acidez total	2010-12-07	2010-12-07	LIA-AT-002	mg/l	0,00	n/d	n/d	-	-	n/e
Alcalinidad	2010-12-07	2010-12-07	LIA-AT-002	mg/l	330,00	n/d	n/d	-	-	n/e


Ing. Celso Romero
TÉCNICO ANALISTA

FIN DEL INFORME





“ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LOS FLUJOS ÁCIDOS DERIVADOS DE LA MINERÍA EN LAS MÁRGENES DEL RÍO CALERA, DISTRITO MINERO PORTOVELO – ZARUMA”

José L. Sánchez

UTPL, Loja - Ecuador

Email: jlsanchez@utpl.edu.ec, jocphz@hotmail.com

Resumen:

Los problemas generados a raíz de la explotación y extracción de metales preciosos como oro y plata principalmente, han repercutido en el ambiente del distrito minero Portovelo-Zaruma. Las actividades mineras, encontradas en las riberas del río Calera y sus depósitos de pasivos ambientales provocan flujos ácidos muy agresivos que contaminan el agua del río que es el receptor directo de éste fenómeno, degradando su calidad.

El presente trabajo pretende evaluar y estudiar detalladamente los flujos ácidos producidos por las actividades mineras en el distrito minero Portovelo-Zaruma, flujos que se encuentran en las márgenes del río Calera. La metodología empleada será en primer lugar el recoger muestras de los líquidos drenados y analizarlos en el laboratorio, se identificarán los puntos de muestreo, para finalmente sectorizar los fluidos ácidos y ubicar el grado de concentración de sus contaminantes mediante la aplicación de ArcGIS con el módulo de Geo Estadística, de manera que se cuente con un registro real de la proporción de contaminación aportada al río.

Palabras claves: Distrito minero, río Calera, pasivos ambientales, flujos ácidos, ArcGIS, módulo de Geo Estadística.

Abstract:

The problems caused by exploitation and extraction of precious metals, in particular gold and silver, are also reflected in the environment of the mining district Portovelo-Zaruma. Mining activities, are located at the banks of the river Calera. Deposits of environmental liabilities cause very aggressive acid flows water for the river which is the direct recipient of this phenomenon, degrading its quality.

This paper aims to evaluate and study in detail the produced acid flows from mining activities in the mining district Portovelo-Zaruma, flows that are on the banks of the river Calera. The methodology will first collect samples of the fluid and analyzed in the laboratory, identify the sampling points, and finally sectors the acid flows and locate of concentration of pollutants through the application of ArcGIS with the integrated Geo Statistics, so as to have an actual record of the rate of contamination of the river provided.

Key words: Mining District, river Calera, environmental liabilities, acid flows, sectorize, ArcGIS, Statistics Module Geo.



INTRODUCCIÓN

En el sector existen alrededor de 50 Plantas de beneficio de minerales (Fig. 1), dedicadas a la extracción de oro y plata principalmente. Todas estas plantas se ubican a las orillas de cursos superficiales de agua, lo que ha provocado por muchos años niveles elevados de contaminación ambiental debido al mal manejo de los relaves que por limitantes topográficos han sido manejados incorrectamente llegando directa o indirectamente al río provocando su contaminación.

Esta contaminación se puede apreciar claramente al observar en el sector la diferencia de coloración de los ríos antes y después de atravesar las zonas de tratamiento de minerales en el distrito minero.

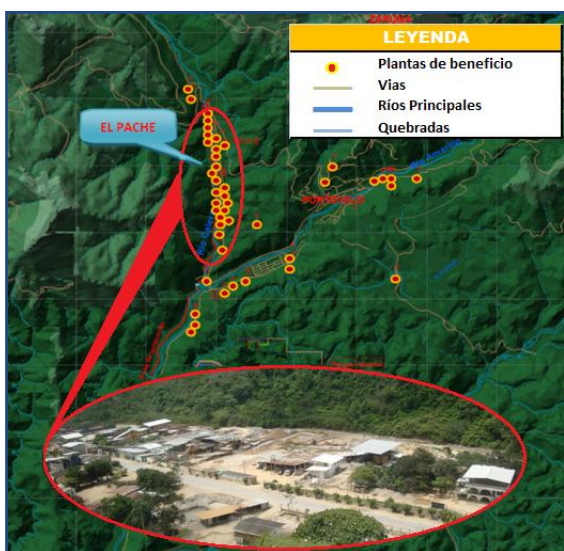


Fig. 1. Plantas de Beneficio Mineral “El Pache”

Fuente: El Autor

Además de este indicador se pudo verificar flujos ácidos junto a los depósitos de relaves y/o descargas de efluentes. Estos flujos ácidos son aguas con altos índices de acidez y carga de metales en disolución, que se generan en las instalaciones mineras.

“La generación de ácido es originada por la oxidación de los minerales sulfurados cuando son expuestos al aire y agua, lo cual da por resultado la producción de acidez, sulfatos y la disolución de metales” (Ministerio de Energía y Minas – Perú; 1995).

De todos los contaminantes de los cursos de agua, quizás los flujos ácidos de minas sean uno de los más graves, por su naturaleza, extensión y dificultad de resolución.



Fig. 2. Flujo ácido en el Distrito Minero de Portovelo-Zaruma.

Fuente: El Autor

METODOLOGÍA DE CAMPO Y LABORATORIO

La metodología empleada se divide en cuatro fases. En la primera se recopiló información de interés sobre la zona. La



segunda fase consistió en el trabajo de campo, donde se ubicó con GPS los puntos de interés y se obtuvieron las muestras correspondientes. En la Tercera fase de laboratorio se determinó el contenido en metales y otros componentes como el ph, alcalinidad total, dureza total y acidez total. Y en la fase final se evaluaron los resultados obtenidos mediante la aplicación de métodos estadísticos y geoestadísticos, que ayudaron a obtener una caracterización profunda de los flujos ácidos existentes en la zona de estudio, presentando al final mapas sectoriales de predicción, que proporcionan un indicador bastante representativo de la contaminación en la zona.

Recopilación de interes sobre la zona

La recopilación de interés se la realiza para poder contar con información del sector que ayude a poder identificar de mejor manera los sitios de evacuación de los fluidos y entender de manera global el tipo de flujo y los componentes que pueden llegar a las orillas del Río Calera.

Trabajos de campo

A fin de determinar los componentes de los flujos ácidos identificados en el sector de El Pache a las riberas del río Calera se realizó un primer muestreo, en el cual se recogieron 5 muestras de agua que contenían flujos ácidos encontrados en algunos casos en charcos y cerca de las escombreras en las riberas del río Calera. En los puntos en

donde se tomaron los datos se midieron las coordenadas geográficas con un GPS marca GARMIN, modelo Rino 110

Los puntos donde se tomaron las 5 muestras representativas de agua son los siguientes:

Tabla 1. Ubicación de flujos ácidos primer muestreo.

Estación de Muestreo	Coordenadas Geográficas UTM		Altitud (m s.n.m)
	X	Y	
A1	651709	9589315	614
A2	651704	9589293	614
A3	651726	9589270	613
A4	651741	9589218	611
A5	651746	9589249	611

Fuente: El Autor

Durante un segundo periodo de trabajo se tomaron 3 muestras de agua de los flujos ácidos identificados en el sector de El Pache a las riberas del río Calera.

En los puntos en donde se tomaron los datos se midieron las coordenadas geográficas con un GPS marca GARMIN, modelo Rino 110

Los puntos donde se tomaron las 3 muestras representativas de agua son los siguientes:

Tabla 2. Ubicación de flujos ácidos, segundo muestreo.

Estación de Muestreo	Coordenadas Geográficas UTM		Altitud (m s.n.m)
	X	Y	
A6	651723	9589249	612
A7	651740	9589241	612
A8	651747	9589182	610

Fuente: El Autor



Todas las muestras fueron etiquetadas, los datos registrados, y finalmente analizados.

Para el transporte de las mismas se siguió el procedimiento recomendado por las normas SSA, es decir estas fueron embasadas y etiquetadas en envases estériles de 3000 ml (análisis físico-químico), además los datos fueron registrados según su naturaleza.



Fig. 3 Recolección de muestras (Flujos ácidos de minas) sector El Pache

Fuente: El Autor

Trabajos de laboratorio

A continuación se presentan los análisis realizados en el laboratorio de las muestras de flujos ácidos recolectados, de manera que se pueda realizar el estudio de los mismos, analizando los diferentes componentes en estudio.

Tabla 3. Métodos utilizados para ensayos de laboratorio

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO
Potasio	mg/L	Absorción Atómica
Sodio	mg/L	Absorción Atómica
Mercurio	mg/L	Absorción Atómica
Plomo	mg/L	Absorción Atómica
Cadmio	mg/L	Absorción Atómica
Cromo	mg/L	Absorción Atómica
Cobre	mg/L	Absorción Atómica
Arsénico	mg/L	Absorción Atómica
Zinc	mg/L	Absorción Atómica
pH	-	Electroquímico
Dureza Total	mg/L	Precipitación (volumétrico)
Calcio	mg/L	Precipitación (volumétrico)
Cloruros	mg/L	Precipitación (volumétrico)
Hierro Total	mg/L	Precipitación (volumétrico)
Sulfatos	mg/L	Gravimétrico
Nitrato	mg/L	Espectrofotométrico
Nitrito	mg/L	Espectrofotométrico
Cianuros	mg/L	Espectrofotométrico
Acidez Total	mg/L	Neutralización (volumétrico)
Alcalinidad	mg/L	Neutralización (volumétrico)

Fuente: Pauta, G; 1998

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En éste apartado se puede conocer los resultados tanto de los componentes obtenidos en el laboratorio del CETTIA de la Universidad Técnica Particular de Loja para cada una de las muestras recolectada, con el resultado de los componentes más importantes. Así como los análisis estadísticos y geoestadísticos con su respectiva interpretación y discusión.

Resumen de resultados

En la Tabla 4 se presenta el resumen de los resultados obtenidos en el laboratorio.



Tabla 4. Composición de los Flujos Ácidos

SECTOR EL PACHE (RIBERAS DEL RÍO CALERA)

COMP.	U.	DESV.	MÁX.	MED.	MÍN.
		ESTAND.			
Potasio	mg/l	0.06	0.30	0.23	0.14
Sodio	mg/l	0.05	0.22	0.14	0.10
Mercurio	mg/l	0.04	0.25	0.18	0.13
Plomo	mg/l	0.07	0.44	0.34	0.24
Cadmio	mg/l	0.002	0.009	0.007	0.005
Cromo	mg/l	0.001	0.008	0.006	0.005
Cobre	mg/l	0.38	1.44	0.79	0.30
Arsénico	mg/l	0.11	0.33	0.17	0.04
Zinc	mg/l	0.09	0.52	0.42	0.32
Calcio	mg de Ca	195.63	480.90	162.32	0.00
Cloruros	mg/l	264.43	670.00	309.19	8.50
Hierro T.	mg/l	2.47	8.00	3.63	0.07
Sulfatos	mg/l	598.93	1600.00	813.75	50.00
Nitrato	mg/l	122.80	295.00	82.44	3.00
Nitrito	mg/l	3.60	7.17	3.11	0.00
Cianuros	mg/l	2587.20	5330.00	1871.55	0.02
Ph	-	0.70	8.75	7.81	6.86
Dureza Total	mg de CaCO ₃	431.94	1400.00	541.88	75.00
Acidez T.	mg/l	13.66	40.00	7.38	0.00
Alcalinidad	mg/l	387.55	1000.00	457.75	50.00

Fuente: El Autor

Análisis y evaluación de los flujos ácidos de mina.

Ya analizado individualmente cada parámetro, y realizada su correspondiente evaluación comparando si cumplen o no con los parámetros establecidos en la NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA de EFLUENTES: RECURSO AGUA (Libro VI, Tabla 12), se pudo obtener los 10 componentes más importantes que son: Arsénico (Ar), Cianuros (CN-), Cloruros (Cl-), Cobre (Cu), Hierro Total (Fe), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Sulfatos (SO₄-), Dureza Total y pH.

Análisis estadístico bivariado

Es importante estudiar la relación o comportamiento que puede existir entre dos variables, por este motivo se ha utilizado la matriz de correlación para poder determinar mediante esta herramienta estadística las relaciones existentes entre cada componente analizado en este proyecto.

Del resultado de esta matriz se afirma que los elementos que presentan mayor correlación son el Cobre con el Arsénico y el Cianuro, el Plomo con los Cloruros, el Mercurio con la Dureza Total, el Arsénico con los Cianuros y el Cloro con los Sulfatos y el pH.

Análisis estadístico univariado

A continuación se presentan los Histogramas obtenidos con la ayuda del software ArcGIS 9.3., dichos histogramas permiten una descripción univariada de los datos, presentan una distribución de frecuencias y resultados de algunos estadísticos descriptivos. La distribución de frecuencias se presenta mediante una serie de barras que agrupan los valores observados en un determinado número de clases o intervalos. La altura de cada barra representa la frecuencia absoluta.

Ejemplo de histograma Sulfatos (SO₄):

En la elaboración de los histogramas para la variable Sulfatos se realizó una Transformación *Box-Cox* con un parámetro de -0.01 con el fin de ajustar los datos a una



distribución normal.

Al comprobar las consideraciones necesarias para una buena distribución al momento de evaluar el histograma por medio de los resultados del cuadro estadístico que se presenta dentro de la (Fig. 4) se puede notar que el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) tiene un valor (-1.25) alejado de 0, sin embargo la desviación estándar es 1 y además la media (6.1) y la mediana (6.4) son similares, por lo que se puede argumentar que el modelo de análisis es aceptable. La curtosis es de 3.19 determinando una distribución mesocúrtica (3 ± 0.5).

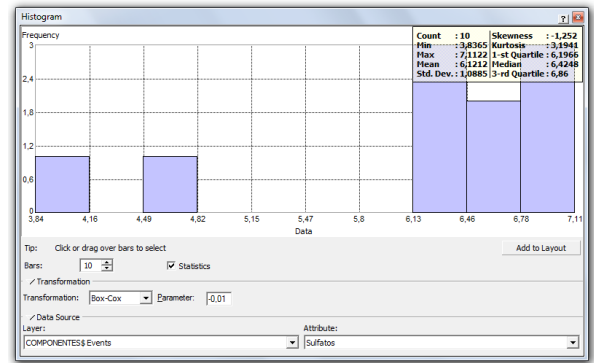


Fig. 4 Histograma y resumen estadístico del Sulfato

Fuente: El Autor

Resumen de resultados de Histogramas

Para representar con claridad los resultados estadísticos obtenidos en los Histogramas se realiza un resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados obtenidos del análisis estadístico en ArcGIS 9.3.

PARÁM.	TRANSF.	MEDIA	MEDIANA	DESV. STAND.	MÍN.	MÁX.	ASIM.	TIPO DE SIMETRÍA	CURTOSIS	TIPO DE CURVA
Arsénico	Box-Cox	-2.369	-2.030	1.017	-3.984	-1.206	-0.641	Asim. neg.	1.8173	Platicúrtica
Cianuro	Box-Cox	5.657	5.614	7.372	-3.430	13.587	-0.014	Sim. neg.	1.1129	Platicúrtica
Cloruro	Box-Cox	4.013	4.479	1.063	1.947	4.925	-0.994	Asim. neg.	2.374	Platicúrtica
Cobre	Box-Cox	-0.261	-0.222	0.380	-0.905	0.398	0.002	Sim. pos.	2.3784	Platicúrtica
Hierro T.	Box-Cox	2.141	2.256	1.748	-1.101	5.347	-0.072	Sim. neg.	3.0064	Mesocúrtica
Mercurio	Log.	-1.757	1.688	0.216	-2.040	-1.758	-0.143	Sim. neg.	2.1956	Platicúrtica
Plomo	Log.	-1.101	-1.101	0.174	-1.427	-0.821	-0.134	Sim. neg.	2.6886	Mesocúrtica
Sulfatos	Box-Cox	6.121	6.425	1.089	3.837	7.112	-1.252	Asim. neg.	3.1941	Mesocúrtica
Dureza T	Box-Cox	6.178	6.497	0.992	4.412	7.513	-0.790	Asim. neg.	2.4807	Platicúrtica
pH	Box-Cox	9.511	9.427	1.011	7.977	11.069	0.059	Sim. pos.	2.0679	Platicúrtica

Fuente: El Autor

Análisis Geoestadístico

Para el presente proyecto se ha efectuado el análisis geoestadístico empleando la extensión Geostatistical Analyst del software ArcGIS 9.3, en el cual se construyó y modelo semivariogramas experimentales y se determinó los valores para los puntos no muestreados por medio de la técnica de la

técnica de interpolación por Krigado, utilizando el kriging ordinario para todas las variables.

La correlación espacial que se utilizó para el cálculo y modelación de los semivariogramas fue la semivarianza. Los modelos teóricos aplicados fueron los dos principales y recomendados, El Esférico y el



Exponencial. Para todas las variables se aplicó anisotropía que da mejores resultados de modelación. Además se definió la vecindad de análisis para cada uno de las variables y se hizo la verificación del error de predicción mediante validación cruzada.

Modelado de semivariograma Sulfatos

Repetiendo el proceso y comparando los resultados para múltiples variaciones de parámetros con la finalidad de obtener el mejor modelado del semivariograma para la variable Sulfatos se observó que el modelo que mejor se ajustó y describe un mejor comportamiento es el esférico. El Nugget presenta un valor de 0.00, la meseta un valor de 1.333 y los alcances son: el mayor 130.43 m y el menor 23.26 m Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, es decir, se realiza el cálculo omnidireccionalmente (incluyendo todos los datos independientemente de la dirección). En la (Fig. 6) se puede observar el modelado del semivariograma para ésta variable.

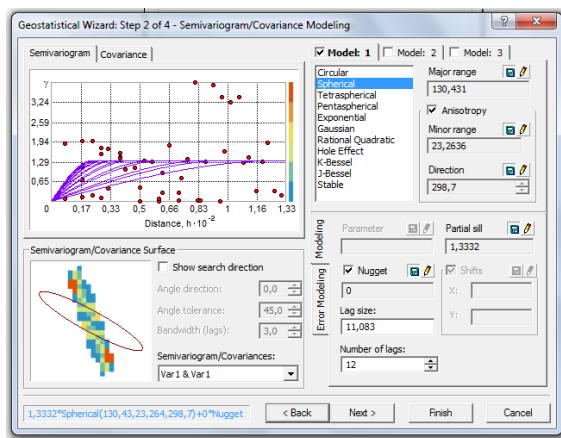


Fig. 6. Modelo del semivariograma de la variable Sulfatos

Fuente: El Autor

Mapas Sectoriales de Predicción

Éste tipo de mapas indicarán los sectores afectados y su grado de contaminación y concentración para cada una de las variables analizadas en los flujos ácidos.

A continuación podemos observar el mapa de predicción para la variable Cobre (Cu):

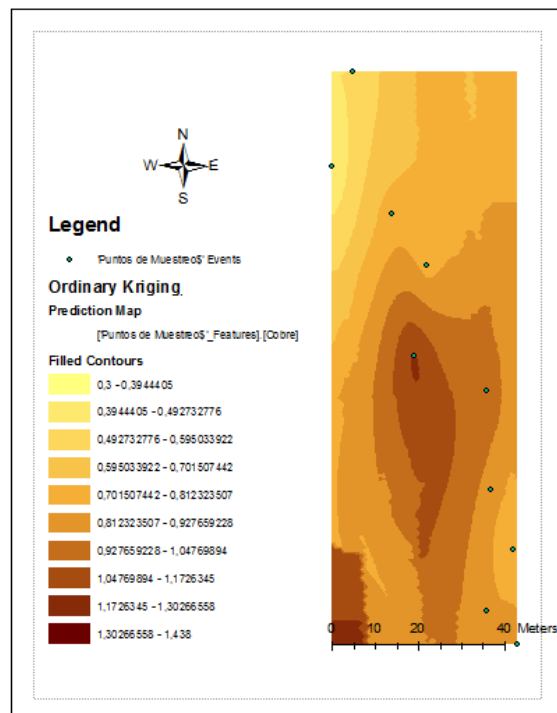


Fig. 7. Mapa de Predicción de la variable Cobre

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos aplicando Kriging Ordinario para la variable Cobre la mayor concentración de este componente se encuentra en la parte central del sector con tendencia hacia el sur (en la figura se representa por el tono oscuro) y las menores concentraciones se encuentra en la parte noroccidente (en la figura se representa por el tono más claro).



CONCLUSIONES

- Las distintas metodologías de extracción en las minas así como la variable e irregular forma de procesar los minerales en las plantas de beneficio, produce variabilidad en la formación de los flujos ácidos durante el día ya que reaccionan de formas diferentes. De tal manera se generan flujos ácidos con características, composiciones y concentraciones en sus parámetros inconstantes.
- Una vez realizado el muestreo, obtenidos los parámetros en el laboratorio y comparados con la Norma De Calidad Ambiental y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua (Libro VI, Tabla 12), se demuestra una gran concentración de metales pesados en estos flujos principalmente de Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Arsénico (As). Además se tiene un elevado contenido de Cianuro (CN), Sulfatos ($SO_4=$) y Nitratos (NO_3). Todos estos parámetros con concentraciones elevadas al estar en contacto directo con el río Calera provoca un alto grado de contaminación del agua, haciendo imposible el consumo humano. Para poder utilizar estas aguas se debe dar un tratamiento previo
- Los resultados de la parte estadística presentan los siguientes porcentajes de tendencia de los datos a representarse en los diferentes tipos de asimetría. El 40% de los parámetros presentan una asimetría negativa, el 20% simetría positiva y el 40% restante simetría negativa. Ningún parámetro presenta asimetría positiva. Con esto concluimos que la mayoría de los datos (60%) tiene simetría lo cual nos muestra la uniformidad de distribución, dando confiabilidad a los muestreos realizados.
- Todas las variables analizadas pudieron ser ajustadas a una distribución normal. La única variable con una mala distribución al no ajustarse satisfactoriamente tanto analizando las consideraciones del cuadro estadístico presentado en los histogramas como en las consideraciones que se debe tomar en cuanto a la validación de método en la predicción de errores por medio de la validación cruzada, fue el cianuro. Esto se da debido a la variabilidad de los resultados que se obtuvieron en el primer muestreo con respecto al segundo que pudo haber sido a causa de una descarga de esta sustancia toxica por parte de alguna de las plantas de beneficio mineral a sabiendas que el cianuro es usado por la industria minera como agente lixiviador del oro.



✚ La finalidad de esta investigación ha sido la caracterización de los flujos ácidos en las riberas del río Calera para su respectiva sectorización por medio de los mapas de predicción. Para que exista una buena sectorización se ha necesitado de la aplicación de métodos estadísticos que al final ayuden y permitan distribuciones normales en los parámetros analizados y buenos ajustes de variabilidad. Si bien es cierto la toma de muestras de los flujos ácidos fue realizada en puntos extremos, esto no implica que los mapas de predicción obtenidos en esta investigación sean inconsistentes ya que el objetivo es tener una idea de la expansión de la contaminación y de su dispersión en el sector dada por cada uno de los parámetros analizados. Por todo lo mencionado anteriormente se concluye que los mapas sectoriales de predicción presentados en este proyecto dan una idea más clara de los sectores afectados, así como el grado de contaminación y concentración para cada una de las variables analizadas en los flujos ácidos de esta zona.

RECOMENDACIONES

- ✚ Para la evaluación de los flujos ácidos se debe de tomar una serie de aspectos importantes. Es recomendable que la ubicación de los puntos de interés para la recolección de muestras sea en lugares cercanos a las plantas de beneficio mineral. Se debe tomar un alto número de puntos de muestreo bien distribuidos para que así exista una mayor cantidad de ensayos. De esta manera se puede tener una buena evaluación de la zona y realizar sin inconvenientes los histogramas y análisis geoestadístico.
- ✚ Los flujos ácidos de mina es un tema ambiental de relevancia, esto debido al nivel de producción de residuos mineros que existe actualmente al sur del país principalmente en el distrito minero de Portovelo – Zaruma, residuos que en corto o mediano plazo aumentarán significativamente. Al considerar que la generación de flujos ácido puede ser un proceso lento, que en algunos casos sólo podría ser detectado una vez que el proceso presenta un grado de avance que podría llegar a ser irreversible, es recomendable aplicar medidas de mitigación y planes de manejo para la solución de un problema ambiental que sin lugar a duda está en un índice peligroso de afectación tanto para el ser humano como para los recursos



naturales y todo el ecosistema de la cuenca.

¶ Para enfrentar cada uno de los problemas que provocan estos flujos ácidos, es imprescindible realizar estudios utilizando los conocimientos y herramientas científicas, así como los criterios de experiencias en situaciones similares. A continuación se señala algunas recomendaciones para la mitigación y remediación de la contaminación por flujos ácidos mineros.

- Es recomendable la utilización de métodos que incluyen el uso de sistemas de contención de ingeniería, técnicas de disposición de relaves y prevención de la escorrentía de aguas superficiales.
- Se aconseja la colocación de cubiertas impermeables que controlen la erosión y el contacto con la lluvia y el aire de los desechos mineros, además se recomienda localizar los depósitos mineros en puntos donde no causen impacto a los cursos de agua. Los depósitos que se localizan en flujos deben tener canales construidos para derivar el flujo original alrededor del depósito. Si el flujo no se deriva, puede percolar a través

del depósito contribuyendo a la formación de fluidos ácidos y/o erosionar y transportar sedimentos en la dirección del flujo.

- Un método para minimizar la formación de flujo ácido es nivelar apropiadamente las pilas de desmonte para incrementar las escorrentías y reducir así la infiltración en lo posible en un 95%, se debe crear superficies impermeabilizadas, además es importante reducir la erosión del suelo a través de controles de ingeniería (zanjas, taludes adecuados y vegetación).
- Para reducir impactos provocados por los relaves es necesaria la construcción de canales de derivación de flujos sobre los relaves y la decantación y reciclaje del agua de la cancha de relaves. De esta manera se limitará la infiltración potencial del agua.



BIBLIOGRAFÍA

- ✦ **Bermeo, A. (2001).** “Confianza y enfoque integral para mejorar la minería aurífera de pequeña escala: lecciones aprendidas en Prodeminca”. Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica.
- ✦ **Cañada Torrecilla, M. R. (2007).** Sistemas y análisis de la información geográfica. Parte X. Análisis Geoestadístico.
- ✦ **Celi, K. (2010).** Panorámica de Portovelo.jpg, se encuentra en: <http://blog.espol.edu.ec>
- ✦ **Cuador Gil, J.Q. (2000).** Elementos de Geoestadística. Universidad de Pinar del Río (Cuba). En www.monografias.com.
- ✦ **Davis, M. (1997).** Geoestatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, Amsterdam, 364 p.
- ✦ **ECOAMERICA.CL. (MAYO, 2007).** Revista Ecoamérica, Minería y Medio Ambiente, Drenaje Ácido de Mina.
- ✦ **Fundación CENDA. (1996).** Estudio Colectivo de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental. Río Calera/ El Salado. Acuerdo Colectivo según Acuerdo Ministerial N0. 217. Zaruma-Portovelo, El Oro.
- ✦ **García, J. A; González, C y Ruiz, G. (2007).** Estadística Administrativa, Universidad de Cádiz.
- ✦ **Government of Ecuador. (1994).** Geological and Metal Occurrence Maps of the Southern Cordillera Real and El Oro Methamorphic Belts, Ecuador. Escala 1:500000.
- ✦ **Herrera T. (2007).** LAS MINAS, se encuentra en: <http://www.hoy.com.ec/temas/temas2007/ecuadorsi/minas.htm>
- ✦ **Jiménez, A. M. (2007).** Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de auto aprendizaje con ArcGIS. 893 p.
- ✦ **Johnston, K. (2001).** Using ArcGIS geostatistical analyst. Nueva York, cap 6, pp. 131 – 166
- ✦ **Journel, A.G. y Huijbregts, C. J. (1978).** Mining Geostatistics, Academic Press, New York 600 p.
- ✦ **Krajewski, S. A. y Gibbs, B. L. (1993).** A Variaogram Primer, Gibbs Associates, 93 p.
- ✦ **Mateu, J. y Morell, I. (2003).** GEOESTADÍSTICA y modelos matemáticos en hidrogeología, pp. 1 – 19
- ✦ **Matheron, G. (1970).** “La Théorie des Variables Regionalisées et ses



- Applications” Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5, Ecole de Mines de Paris, 212p.
- ✚ **Ministerio de Energía y Minas – Perú. (1995).** Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas, se encuentra en, <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manedrenaje.pdf>
 - ✚ **Ministerio del Ambiente, Relaves de El Oro, Capítulo 4 Auditoria Ambiental para las plantas de beneficio. (2010).** Se encuentra en, www.ambiente.gob.ec
 - ✚ **Montgomery Douglas, C. y Runger George, C. (1996).** Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. Ed. McGraw Hill, Capítulo 9.
 - ✚ **Mutti, D y Bonilla. (2005).** Mapa de Geología Local de la zona de Zaruma y Portovelo.
 - ✚ **Norman, G. y Streiner, D. (2005).** Bioestadística, Versión en español de la obra en Ingles Biostatistics.
 - ✚ **Pauta, G. (1998).** Manual de Teoría y Prácticas de Análisis de aguas, 145p.
 - ✚ **Pineda, E. (2010).** Análisis de la contaminación por Cianuro, Mercurio, Plomo y Arsénico, en los Ríos Calera y Amarillo derivada de la explotación minera. (UTPL).
 - ✚ **Rangel, A. P; Sánchez, A. H. y Siabato, W.L. (2003).** Geoestadística aplicada a problemas de contaminación atmosférica.
 - ✚ **República de Ecuador.** Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI Anexo 1. Actualmente vigente.
 - ✚ **Rios, J. (2010).** Zaruma patrimonio Cultural, se encuentra en: <http://blog.espol.edu.ec/jhonrios/>
 - ✚ **Romero Vilafranca, R. y Zuñiga Ramajo, L. (2005).** Métodos Estadísticos en Ingeniería.
 - ✚ **Siabato, W. y Yudego, C. (2004).** “Geoestadística y Medio Ambiente” en Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de información Geográfica. Editado por C. Conesa y J. Martínez. Pp. 9 – 11.
 - ✚ **Skoog, D. y Leary, J. (1994).** Analisis Instrumental. Cuarta edición Mc Graw Hill.
 - ✚ **Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). (2010).** Evaluación de Impacto Ambiental, Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio. El Oro-Ecuador, (UTPL).



- # **Valarezo Sánchez, A. (2010).** Artículo “Prioridad a problemática ambiental frontera Ecuador - Perú”, se encuentra en:
<http://agenciadeprensaeloro.blogspot.com/2010/09/prioridad-problematICA-ambiental.html>
- # **Weimer, R. (2005).** STATISTICS, segunda edición en Inglés (Primera edición en español)
- # **Younger, P. (2002).** “Mine waste or mine voids: which is the most important long term source of polluted mine drainage?”