

UNA PROPUESTA DE DETERMINACIÓN DEL FONDO GEOQUÍMICO POR PLOMO Y ZINC EN LOS SUELOS DE ORURO

Msc.Ing Willy Camargo¹, Hugo Capuma Caceres Ing.²
Tatiana Del Carmen Vega Mardones^{*} N. Patricia Siles Zenteno^{*}

¹Catedrático de geoquímica y petrología. Universidad Técnica de Oruro

²Universidad Técnica De Oruro, Facultad Nacional de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Geológica

^{*}Maestranter Módulo de Tecnologías de Protección Ambiental.

I. INTRODUCCIÓN

La determinación del grado y extensión de la contaminación ha pasado a ser una de las tareas casi rutinarias de la actividad de geoquímica aplicada. Durante décadas los métodos de *prospección geoquímica* se utilizaron para detectar yacimientos minerales. Hoy, paradójicamente, estos mismos métodos se empiezan a emplear para determinar el alcance de la contaminación inducida por la actividad minera relacionada con esos mismos yacimientos minerales. La actividad minera genera residuos que se derivan de cuatro fuentes principales:

- 1) los gases expulsados por las chimeneas de las fundiciones, cuyos compuestos tarde o temprano precipitan en los suelos, a mayor o menor distancia de la fuente de emisión.
- 2) Las pilas de desmontes y escombreras, con materiales supuestamente estériles pero ricos en minerales altamente reactivos en condiciones atmosféricas, como sulfuros de hierro, cobre, **zinc**, **plomo**, cobalto, mercurio y otros.
- 3) Los estanques de colas que similarmente a los desmontes contienen sulfuros, rechazados por el proceso concentrador.
- 4) los estanques de soluciones preñadas y estériles que contienen especies como el cianuro, el ácido sulfúrico, y especies metálica tales como cobre o hierro.

Esta actividad no es la única que genera residuos solubles, susceptibles de ser movilizados, ya que prácticamente cualquier industria genera un rastro de residuos metálicos u orgánicos que solo en ocasiones son tratados previamente, y en general suelen ir a parar a suelos y aguas que tributan a los ríos, lagos, o al mar.

Este estudio propone una alternativa de construcción de una base de datos confiable y de fácil acceso para cualquier ministerio o agencia gubernamental interesada en problemas de control ambiental. Este tipo de información es prácticamente inexistente en Bolivia debido a la falta de profesionalismo en el abordamiento de problemas ambientales de tal manera que los estudios en este campo no tienen valores contra los cuales contrastar. Las recomendaciones de remediación no tienen datos hacia los cuales dirigir sus esfuerzos, de tal manera que los estudios sobre problemas ambientales en materiales de superficie, carecen de rigor científico y de utilidad práctica.

Este estudio determina la concentración natural de plomo y zinc en suelos no perturbados, en el horizonte B, conocido como fondo geoquímico.

EL PROBLEMA

Partiendo de la realidad constatada de que no existe información de fondo geoquímico en materiales naturales de superficie, tampoco de rocas ni aguas superficiales y subterráneas, no es posible planificar ninguna acción futura de planificación ambiental.

El presente estudio se limita a dos elementos químicos: Plomo y Zinc, que debido a la peculiar geología del altiplano, fuertemente afectada por el movimiento de las placas tectónicas, son relativamente abundantes en las rocas primarias, especialmente ígneas, que a su vez, junto a las rocas sedimentarias, son la fuente primaria para la formación de la fase sólida de los suelos. En vista de ser una propuesta de determinación del fondo geoquímico en suelos, es suficiente partir de dos elementos químicos.

La ausencia de esta información plantea una problemática en el sentido que de continuar esta base de datos pendiente y sin esfuerzos de construcción, los futuros planes ambientales carecerán de rigor científico y de aplicación práctica.

Adicionalmente se plantea que la utilización de contenidos medios de fondo geoquímico de carácter mundial, no pueden aplicarse a estudios ambientales en los suelos del altiplano boliviano ya que no toman en cuenta la concentración de los elementos traza en las rocas y minerales que componen su geología. Su aplicación directa en la toma de decisiones a problemas ambientales de la provincia geoquímica del altiplano puede ocasionar serios problemas a los involucrados.

Por consiguiente se responde hipotéticamente que una base de datos como la planteada otorgará rigor científico a futuros trabajos, planes y programas ambientales.

Una segunda respuesta hipotética que va a ser comprobada en este estudio es que la concentración normal o de fondo geoquímico de plomo y zinc en el altiplano boliviano es mayor a los valores medios de carácter mundial en suelos.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

Para la ejecución de este trabajo, se ha llevado a cabo un muestreo sistemático con una distribución razonablemente homogénea de la totalidad de la Comunidad Autónoma, de forma que estén representados los diferentes suelos. Se establecieron 40 puntos de muestreo, excluyéndose aquellos lugares con indicios aparentes de afección por actividades antrópicas potencialmente contaminantes.

En cada punto se procuró tomar 2 muestras a una profundidad de 30 cm. Ocasionalmente, el tipo de suelo arenoso imposibilitó la recogida de la muestra en mayor cantidad.

Sobre las poblaciones de datos de análisis químicos correspondientes a las muestras obtenidas, se han llevado a cabo tratamientos estadísticos conducentes a determinar el fondo geoquímico natural para dos elementos: Plomo y Zinc. Se han considerado análisis estadísticos; para determinar la población global de datos obtenidos, tanto del Plomo como del Zinc en el tramo comprendido Oruro – Pasña. Posteriormente, los resultados obtenidos se han volcado sobre mapas del tramo Oruro - Pasña.

Cuando se ha realizado el análisis estadístico de los datos según dominios geotectónicos, se ha adoptado una representación en un mapa de la zona, en los cuales los colores del tramado de fondo indican las diferentes concentraciones de los dos elementos de estudio: Plomo y Zinc. La escala del mapa en los dos casos es 1: 2.500.

Además de lo anterior, el texto del Estudio incluye una descripción geológica de la zona de estudio, la tipología de suelos desarrollados sobre la misma, así como una exposición de los resultados obtenidos y referencias bibliográficas.

2.1. MATERIALES

Los materiales usados para este estudio, son los siguientes:

- 2 Taladros manual de $\frac{3}{4}$ de diámetro
- 40 Bolsas de papel kraft
- 2 Marcadores indelebles
- 4 GPS
- Dos libretas de campo de papel resistente al agua
- Lápices indelebles

2.2. MÉTODO

2.2.1. Descripción del trabajo

El trabajo se basa en el estudio geoquímico de suelos comprendido en el tramo Oruro –Pasña, para lo cual se realizó la toma de 40 muestras, haciendo uso de un taladro manual de $\frac{3}{4}$ de diámetro que realiza huecos de una pulgada a una profundidad de 30 cm (establecimiento la toma de muestra en el horizonte B), en una cantidad aproximada de 60gr a 100gr, depositado en bolsas de papel kraft.

Dichas muestras se realizaron en dos grupos de trabajo de forma paralela a ambos lados de la carretera a una distancia de 300m de esta, se determinó como zona de muestreo cada 3 km aproximadamente, recorriendo una distancia total de 45 km. a lo largo del tramo Oruro-Pasña.

El análisis instrumental se realizó por medio del método de espectrofotometría de absorción atómica (EAA).

Se determinó como zona de estudio el tramo Oruro.-Pasña, (aproximadamente 45km) en dicha zona existe poca o casi ningún tipo de perturbación de suelos.

Según el mapa geológico de la ciudad de Oruro los suelos de esta zona se clasifican en:

QFL = Depósito fluvio – lacustre: grava, arena, limos, arcilla.

QCF = Depósito coluvio – fluvial: gravas, arenas, limos, arcilla.

QL = Depósito lacustre: limos, arcillas, arenas, calizas algares, detriticas.

QAA = Depósito abanico aluvial: cantos, gravas, arenas y limos.

SL = Salino.

QC = Depósito coluvial: bloques y gravas.

LS = Presencia de caliza.

Se caracterizó los puntos de muestreo según la siguiente tabla:

Tabla 1. Caracterización de puntos de muestreo

PUNTO DE MUESTREO	CARACTERIZACION
PTA - 01	QFL
PTA - 02	QFL
PTA - 03	QCF
PTA - 04	QFL
PTA - 05	QFL
PTA - 06	QFL
PTA - 07	QCF
PTA - 08	QFL
PTA - 09	QFL
PTA - 10	QCF
PTA - 11	QCF
PTA - 12	QL
PTA - 13	QFL
PTA - 14	QL
PTA - 15	QL
PTA - 16	QL
PTA - 17	QL
PTA - 18	QL
PTA - 19	QL
PTA - 20	QAA
PTA - 21	QAA
PTA - 22	QAA
PTA - 23	QAA
PTA - 24	QL y SL
PTA - 25	QL
PTA - 26	QFL
PTA - 27	QFL

PTA - 28	QFL
PTA - 29	QFL
PTA - 30	QL
PTA - 31	QFL
PTA - 32	QAA
PTA - 33	QAA y QC
PTA - 34	¿anomalía?
PTA - 35	QC
PTA - 36	QL
PTA - 37	QC y LS
PTA - 38	QL
PTA - 39	QAA
PTA - 40	QL y QFL

2.3. ANÁLISIS QUÍMICO

La siguiente tabla señala las coordenadas y concentraciones determinadas en los puntos de muestreo del tramo Oruro-Pasña, según informe de Spectrolab:

Tabla 2. Registro de datos

Nº DE MUESTRA	COORDENADAS (UTM)		ALTURA (m.s.n.m)	Pb	Zn
	ESTE	NORTE		g/t	g/t
FQ-PTA-01	708870	8005491	3718	974	57
FQ-PTA-02	710378	8002807	3722	43	61
FQ-PTA-03	711065	8003102	3735	32	47
FQ-PTA-04	710646	7999984	3729	86	54
FQ-PTA-05	711445	7999862	3741	21	49
FQ-PTA-06	710403	7997190	3727	48	59
FQ-PTA-07	711133	7997521	3730	31	51
FQ-PTA-08	711274	7994485	3740	32	68
FQ-PTA-09	711760	7994765	3742	26	61
FQ-PTA-10	712522	7991662	3760	21	57
FQ-PTA-11	713073	7992092	3752	37	59
FQ-PTA-12	709947	7991245	3748	21	83
FQ-PTA-13	710849	7990221	3751	48	107
FQ-PTA-14	709986	7986271	3721	48	83
FQ-PTA-15	710707	7986326	3710	89	80
FQ-PTA-16	710353	7984194	3718	37	103
FQ-PTA-17	711030	7984137	3707	64	88
FQ-PTA-18	710908	7981082	3717	70	100
FQ-PTA-19	711561	7981217	3713	64	98
FQ-PTA-20	711533	7977943	3721	48	102
FQ-PTA-21	712160	7978071	3719	43	86
FQ-PTA-22	711831	7975649	3722	37	69
FQ-PTA-23	712563	7975552	3730	42	87
FQ-PTA-24	712390	7971862	3715	37	47
FQ-PTA-25	712991	7971805	3732	21	40
FQ-PTA-26	713048	7968527	3720	59	86
FQ-PTA-27	713504	7968650	3744	65	76
FQ-PTA-28	713310	7965426	3727	21	71
FQ-PTA-29	713853	7965550	3740	70	156

FQ-PTA-30	713490	7962454	3715	37	75
FQ-PTA-31	714152	7962581	3732	10	52
FQ-PTA-32	714083	7958116	3721	48	78
FQ-PTA-33	714604	7958172	3732	64	83
FQ-PTA-34	714650	7984762	3726	10	45
FQ-PTA-35	715124	7954885	3747	21	57
FQ-PTA-36	715339	7951669	3716	10	49
FQ-PTA-37	715857	7951578	3730	10	47
FQ-PTA-38	716061	7948162	3709	26	56
FQ-PTA-39	716440	7948254	3722	10	57
FQ-PTA-40	716837	7945749	3708	26	457

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

2.4.1. Datos y gráficos estadísticos del Plomo

Tabla 3. Datos estadísticos

DATOS ESTADÍSTICOS	RESULTADOS
Media	62,67
Mediana	37
Moda	21
Desviación estándar	149,24
Varianza de la muestra	22273,60
Rango	96
Mínimo	10
Máximo	974

En conclusión estas Medidas de tendencia central, nos permiten identificar los valores más representativos de los datos, de acuerdo a la manera como se tienden a concentrar. En nuestro caso: la Media nos indica que el promedio de los datos es 62.67; es decir, nos informa el valor que obtendría cada una de las muestras, si se distribuyeran los valores en partes iguales. Los datos obtenidos tienen como Mediana el valor de 37, lo que nos indica que este valor separa los datos en dos partes iguales, cada una de las cuales cuenta con el cincuenta por ciento de los datos. Por último el valor de la Moda que es 21, nos indica el valor que más se repite dentro de los datos.

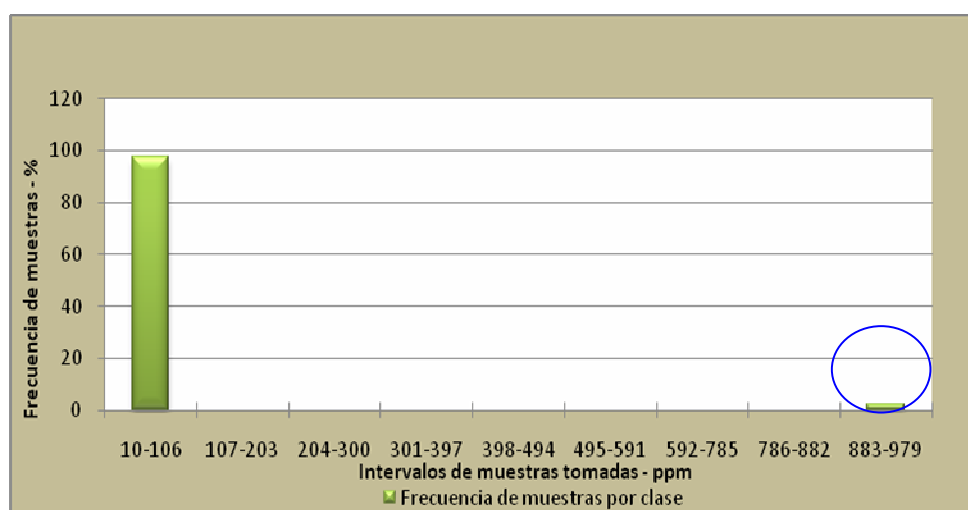


Gráfico 1 Distribución de la concentración de plomo Tramo Oruro-Pasña

El gráfico 1 muestra que la mayoría de los datos de concentración de Plomo, se encuentran en el rango de 10 – 106, esto significa que el 97.5% de las muestras de muestreo forman parte de una población, y por ende el 2.5% restantes se encuentra en el intervalo 883 – 979 de lo que podemos deducir, que como existe una dispersión de elementos químicos nos lleva a la formación de una zona geoquímicamente anómala, que se denomina anomalía geoquímica. Este fenómeno se pudo haber dado por una mala manipulación en la toma de muestra, un error en el análisis de laboratorio o realmente una concentración real que debe estudiarse con profundidad. Es muy importante resaltar que el rango de valores del fondo geoquímico alcanza un valor máximo de 106 ppm, excluyendo la muestra anómala, es decir muy por encima de la media mundial para suelos de 36 ppm.

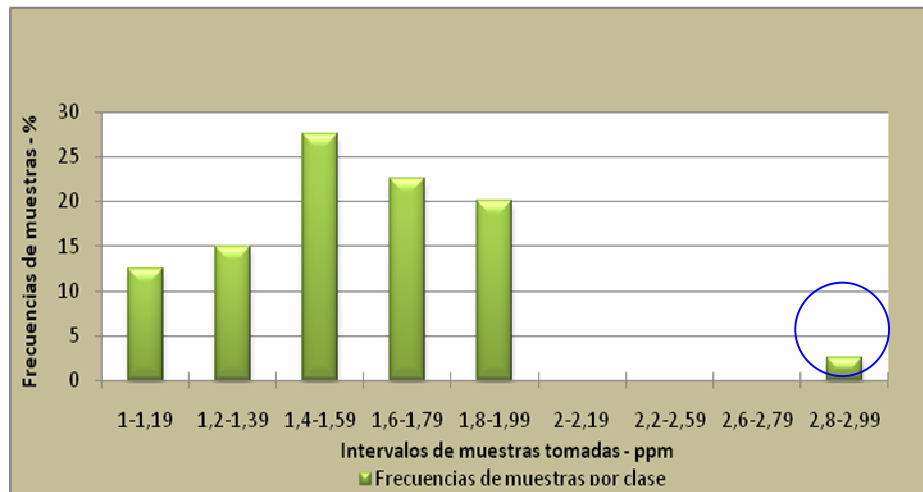


Gráfico 2 Distribución de concentración de plomo Tramo Oruro- Pasña

En el gráfico 2, se muestra una distribución log normal, lo que significa que la dispersión de elementos químicos que forman una anomalía geoquímica en el gráfico 1, fue ajustado para aproximarse a una distribución normal.

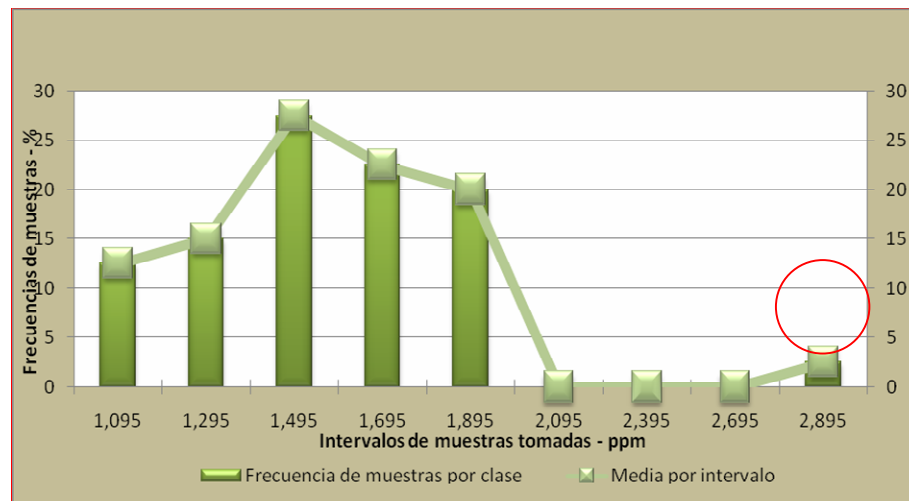


Gráfico 3 Distribución de concentración de plomo Tramo Oruro-Pasña

En el gráfico 3 se muestra un gráfico log-probabilístico del Plomo, donde se aprecian dos poblaciones, fondo (verde) y anómala (círculo rojo).

La muestra anómala es una, la que puede estar en relación con un indicio de contaminación antrópica o se presume que sea por un error humano en el análisis del dato en laboratorio, o en la toma de la muestra.

2.4.2. Datos y gráficos estadísticos del Zinc

Tabla 4. Datos estadísticos

DATOS ESTADÍSTICOS	RESULTADOS
Media	81,025
Mediana	68,5
Moda	57
Desviación estándar	65,1512983
Varianza de la muestra	4244,69167
Rango	417
Mínimo	40
Máximo	457

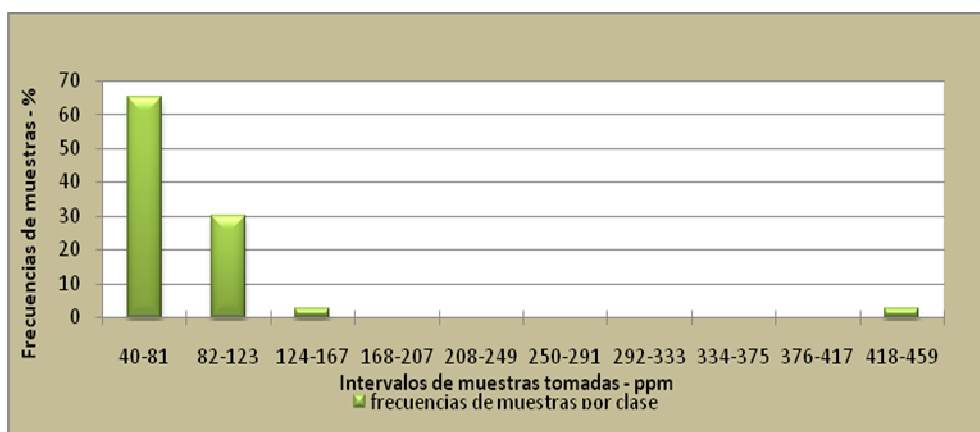


Gráfico 4 Distribución concentración de zinc Tramo Oruro-Pasña

El gráfico 4: muestra que la mayoría de los datos de concentración de Zinc, se encuentran en el rango de 40 – 81, representa el 65% de la muestra total, el siguiente grupo de datos se encuentra entre los rangos de 82 – 123, esto significa el 30% y los dos posteriores entre los rangos de 124 – 167 y 418 - 459 esto significa cada uno con el 2,5% del total de las muestras, de lo que podemos deducir, que como existe una dispersión de elementos químicos nos lleva a la formación de una zona geoquímicamente anómala, que se denomina anomalía geoquímica. Este fenómeno se pudo haber dado por una mala manipulación en la toma de muestra, o un error en el análisis de laboratorio.

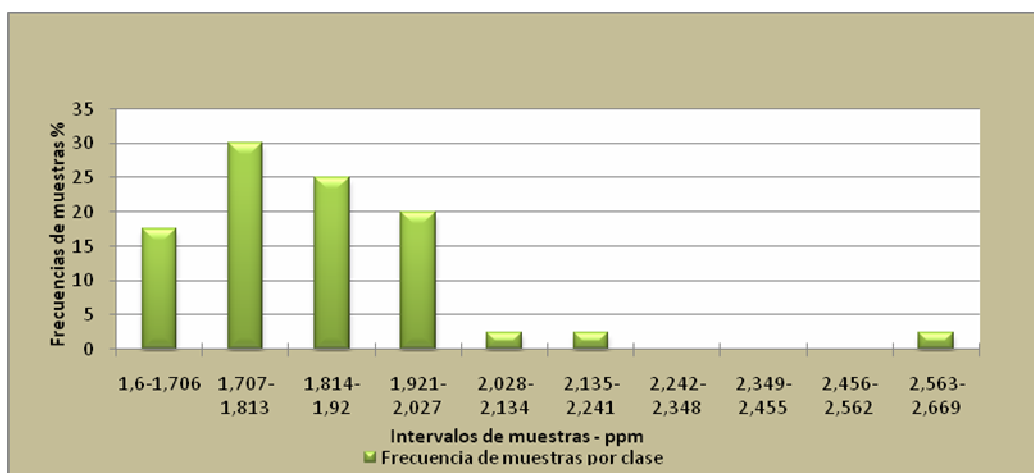


Gráfico 5 Distribución concentración de zinc Tramo Oruro-Pasña

En el gráfico 5, se muestra una distribución log normal, lo que significa que la dispersión de elementos químicos que forman una anomalía geoquímica en el gráfico N° 4, fue ajustado para aproximarse a una distribución normal.

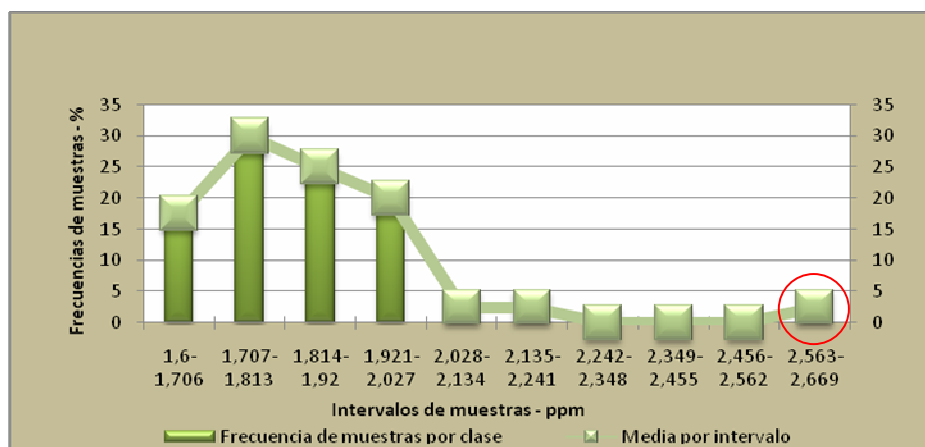


Gráfico 6 Distribución de concentración de zinc Tramo Oruro-Pasña

En el gráfico 6 se muestra un gráfico log-probabilístico del Zinc, donde se aprecian una población mejor conformada, fondo (verde) y una anómala (círculo rojo). La muestra anómala es una, la que puede estar en relación con un indicio de contaminación antrópica o se presume que sea por un error humano en el análisis del dato en laboratorio, o en la toma de la muestra.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ISOLÍNEAS DE CONCENTRACIÓN DEL PLOMO

Los resultados del trabajo han sido trasladados bajo la forma de isolíneas de concentración. La muestra N° 1 presenta un valor alto, fuera del rango o del fondo geoquímico, es posible que este valor se deba a un error en el muestreo o en el análisis, pero es también posible que sea real, aunque no tiene correlación con el valor de zinc en el mismo punto. Situación poco probable.

El fondo geoquímico es elevado, tal como se esperaba al principio del trabajo por las razones argumentadas. Sus valores oscilan en un rango de 10 hasta 89 ppm de plomo. La media calculada

está por encima de la media mundial (según Hawkes & Webb). Esto se explica por el enriquecimiento natural de las rocas que originaron los suelos bajo estudio.

Estos valores pueden ser ratificados utilizando, ya sea la metodología propuesta u otros métodos, para su incorporación a una base de datos confiable. Esto permitirá una planificación ambiental sólida en el futuro.

3.2. ISOLÍNEAS DE CONCENTRACIÓN DEL ZINC

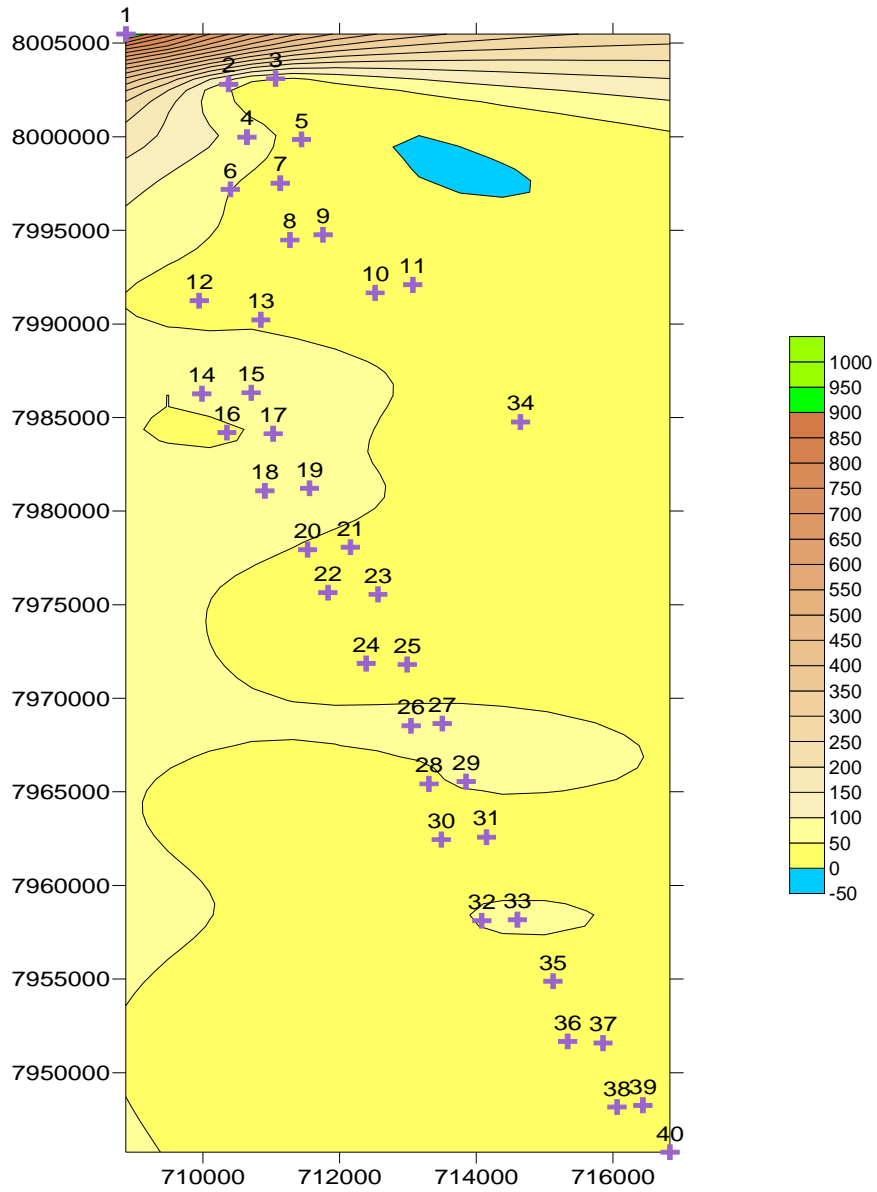
Los datos obtenidos han sido trasladados a un mapa de isolíneas de concentración.

La muestra N° 40 presenta un valor alto es posible que este resultado haya sido producto de un error en la toma de muestra o un error en el análisis de laboratorio, sin embargo es posible que sea un valor real aunque no guarda una correlación con el valor de plomo. En este punto no existe actividad agrícola, ni indicios de ganado ovino, tampoco ningún tipo de actividad industrial, existe presencia de vías férreas, lo que nos lleva a pensar que no existe un medio que pudiese contaminar la zona con la presencia de este elemento. Según el mapa geológico de Oruro, el suelo de la zona se caracteriza por la presencia de grava, arena, limos y arcilla (QFL) y (QL).

El procesamiento de datos ha determinado un rango del fondo geoquímico elevado. La media por Zn en el sector de estudio está por encima de la media mundial, según Hawkes & Webb. Esto se explica y se esperaba por la geología de la región.

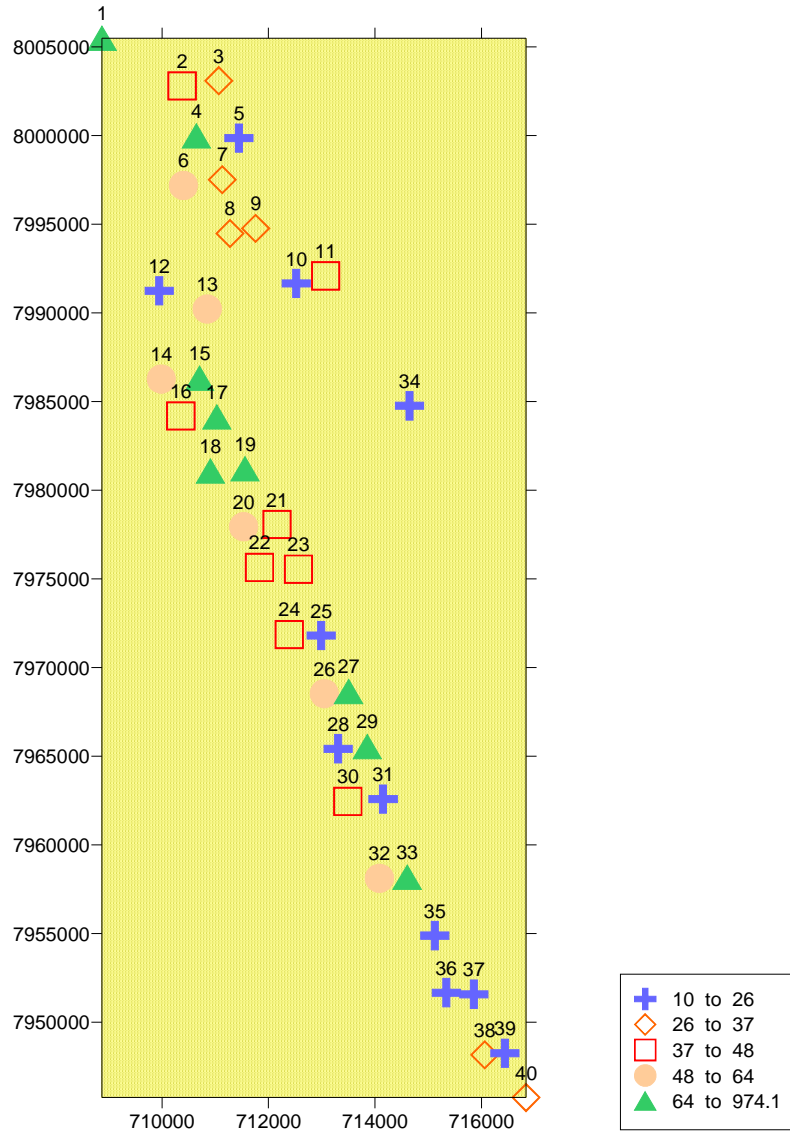
Estos resultados debidamente corroborados por otros estudios similares pueden ser incorporados a una base de datos de carácter nacional. Con esta base se podrán construir recién planes futuros sólidos y serios de carácter ambiental.

CONCENTRACION DE Pb TRAMO OROURO - PASÑA



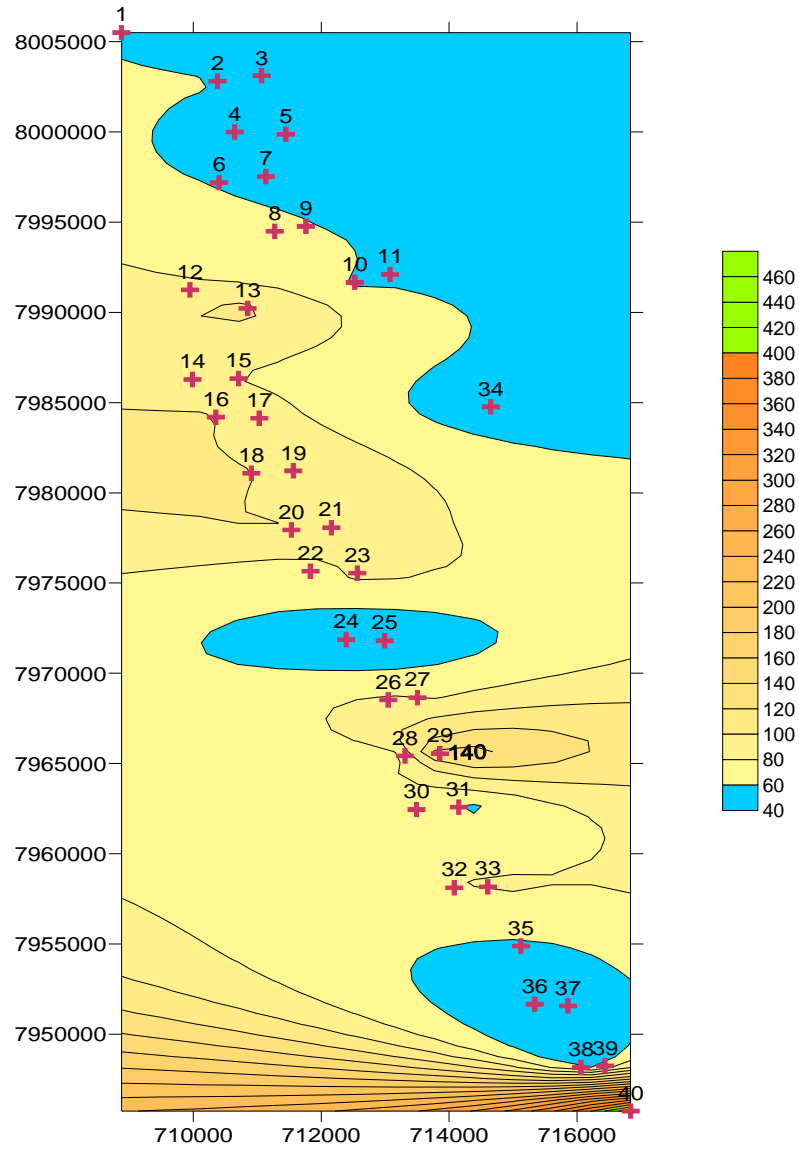
UNIVERSIDAD TECNICA DE OROURO TECNOLOGIAS DE PROTECCION AMBIENTAL	
ESTUDIO GEOQUIMICO DE SUELOS DOCENTE: ING. WILLY CAMARGO DOCENTE DE TRABAJO DE CAMPO: ING. HUGO CAPUMA	MAESTRANTES: TATIANA VEGA MARDONES N. PATRICIA SILES ZENTENO
FECHA: 24 -10 -08	ESCALA: 1:2500

CONCENTRACION DE Pb TRAMO ORURO - PASÑA



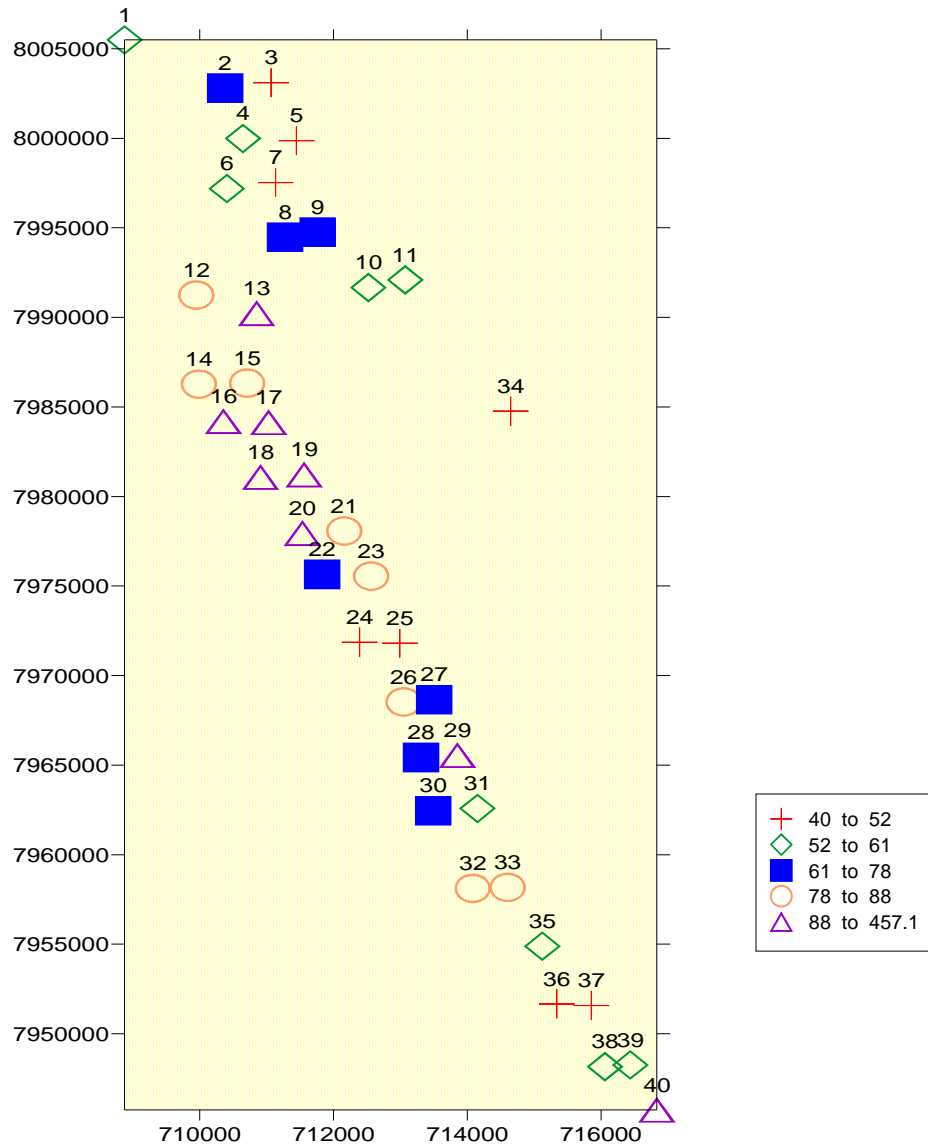
UNIVERSIDAD TECNICA DE ORURO TECNOLOGIAS DE PROTECCION AMBIENTAL	
ESTUDIO GEOQUIMICO DE SUELOS DOCENTE: ING. WILLY CAMARGO DOCENTE DE TRABAJO DE CAMPO: ING. HUGO CAPUMA	MAESTRANTES: TATIANA VEGA MARDONES N. PATRICIA SILES ZENTENO <hr/> FECHA: 24 -10 -08 ESCALA: 1:2500

CONCENTRACION DE ZN TRAMO ORURO - PASÑA



UNIVERSIDAD TECNICA DE ORURO TECNOLOGIAS DE PROTECCION AMBIENTAL	
ESTUDIO GEOQUIMICO DE SUELOS DOCENTE: ING. WILLY CAMARGO DOCENTE DE TRABAJO DE CAMPO: ING. HUGO CAPUMA	MAESTRANTES: TATIANA VEGA MARDONES N. PATRICIA SILES ZENTENO <hr/> FECHA: 24 -10 -08 ESCALA: 1:2500

CONCENTRACION DE ZN TRAMO ORURO - PASÑA



UNIVERSIDAD TECNICA DE ORURO TECNOLOGIAS DE PROTECCION AMBIENTAL	
ESTUDIO GEOQUIMICO DE SUELOS DOCENTE: ING. WILLY CAMARGO DOCENTE DE TRABAJO DE CAMPO: ING. HUGO CAPUMA	MAESTRANTES: TATIANA VEGA MARDONES N. PATRICIA SILES ZENTENO
FECHA: 24 -10 -08	ESCALA: 1:2500

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Como se indicó en la introducción de este estudio, se esperaba registrar niveles altos de concentración natural de plomo y zinc, en comparación con los valores de la media mundial de concentración en suelos de estos elementos (Hawkes & Webb). Es decir el fondo geoquímico de plomo y zinc e los suelos de este sector son altos.

2.- Estos valores altos son una consecuencia directa de las concentraciones de elementos traza de las rocas preexistentes en la zona. Estos elementos se liberaron y migraron junto a los otros materiales de las rocas hacia la cuenca de sedimentación durante el proceso de intemperismo de las mismas. Este proceso continúa y continuará hasta el agotamiento de la roca madre. Los datos crudos aun no procesados muestran valores altos de concentración de Plomo y Zinc en la zona de estudio comprendido en el tramo Oruro – Pasña.

3.- El procesamiento matemático de los datos de concentración ha dado como resultado valores altos de la media para ambos elementos químicos. Es así que la media para el plomo es de 33ppm. Este valor que es la media de la concentración natural de plomo en el tramo Oruro – Pasña es mayor que la media mundial para suelos establecida por Wedepohl y citada por Hawkes & Webb y que es de 16 ppm.

4.- La media establecida en este trabajo para los suelos naturales en el tramo Oruro Pasña, es de 68 ppm. Este valor que ilustra la media de concentración natural de zinc en los suelos del área mencionada, es mucho mayor que la media mundial establecida por Wedepohl y citada por Hawkes & Webb que es de 36 ppm.

5.- Cualquier comparación de valores encontrados en este sitio con los límites permisibles a objeto de establecer los niveles de contaminación es inconsistente y carece de fundamento científico.

Recomendación 1. Para validar estos datos se deben realizar estudios similares tanto por los elementos indicados como para otros elementos, especialmente aquellos que pueden despertar preocupación ambiental como As, Sb, Cu, Cd, Hg, respetando el método propuesto.

Recomendación 2. El Servicio Geológico de Bolivia debe ser la entidad encargada de elaborar toda la información geoquímica ambiental que incluya valores de fondo y de línea base para diferentes propósitos de las agencias y ministerios de gobierno, o de cualquier otra institución interesada en estos tópicos. Esto se recomienda por analogía del trabajo de otros servicios geológicos del mundo.

Recomendación 3. Los estudios posteriores deben encarar las diferentes provincias geoquímicas del país, seleccionando los elementos de interés en función a la geología de la región y de la actividad industrial y doméstica de cada zona.

V. REFERENCIAS

- (1) <http://oliva.ulima.edu.pe/pbguerra/Paginas/Contaminacion%20Plumbica.htm>
- (2) www.estudiodeelementostrazaensuelosbolivianos.hppt
- (3) geochemical baseline Darnley, 1997 salmineru Gregoraus kiene 2000
- (4) Willy Camargo Gallegos. Apuntes de Geoquímica Ambiental. Et. Al. 2000. Oruro, Bolivia. Maestría en tecnología de protección Ambiental.
- (5) Arthur Rose, Herbert E. Haekes, John S. Webb. Geochemistry in Mineral Exploration. Second Edition. Academia Press London Ltd. 1979
- (6) Wedepohl. Handbook of geochemistry 1969. Springer-Verlag.