



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Prospección Geoquímica Minera
de la zona
"San Elías" Zimapán, Hidalgo**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Carlos Peña Gaspar

ASESOR DE INFORME

ING. JUAN CARLOS CRUZ OCAMPO



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

“El hombre sabio no establece su propio tesoro. Cuanto más da a los demás, más él tiene para sí mismo.”
(Lao Tse)

Agradecimientos

A mi familia mil gracias por todo su amor y comprensión para lograr este y otros proyectos más, en especial a mi esposa Elsa por creer en mí, aun en los momentos difíciles que ha estado apoyándome, brindándome su comprensión, cariño y amor. A mi hija Sara Elena por ser mi alegría y motor en la vida.

A mi padre José Isabel (†), a mi madre María Elena, a mis hermanos Virginia, Héctor, Isaí y Valeria por todo el cariño, la paciencia y el apoyo que me han brindado en la vida.

A mis amigos y compañeros Iván, Mauro, Armando, Juan, Ricardo, Adrián, David, Gustavo, Josué, Zuly, Isidro, Antonio, Rosario y Darío por su amistad y apoyo en todo momento; y en general, a todos los que han sido parte de mi vida y me han brindado su amistad y cariño.

A la empresa Petroanálisis por ser parte de su equipo de trabajo y adquirir conocimientos y experiencia en área de la ingeniería geológica.

A mi comité sinodal, al Dr. Enrique Alejandro González Torres, al Dr. Gilberto Silva Romo, a la Dra. Claudia Cristina Mendoza Rosales, al M. C. Emiliano Campos Madrigal y principalmente a mi amigo y maestro (“Sensei”) el Ing. Juan Carlos Cruz Ocampo, por todo el apoyo, ayuda y aporte a este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Ingeniería, como mi alma mater, en la que he tenido la fortuna de formar parte de ellas por la formación profesional y personal.

Índice general

Agradecimientos	II
Lista de Figuras	v
Lista de Tablas	v
Resumen	VIII
1. Introducción	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos particulares	3
2. Marco teórico de Prospección Geoquímica	4
2.1. Definiciones	4
2.1.1. Geoquímica	4
2.1.2. Prospección Geoquímica	5
2.1.3. Anomalía Geoquímica	5
2.1.4. Valor de Fondo o <i>Background</i>	5
2.1.5. Valor de Umbral o <i>Threshold</i>	5
2.1.6. Geoestadística	6
2.1.7. Estimación estadística o <i>Kriging</i>	6
2.1.8. Terminología Básica	6
2.2. Metodología para la Prospección Geoquímica	8
2.2.1. Diseño de la malla	8
2.2.2. Muestreo	8
2.2.3. Preparación de muestras	9
2.2.4. Técnicas analíticas	10
2.2.5. Tratamiento de datos geoquímicos	10

3. Generalidades del área de Estudio	12
3.1. Localización y vías de acceso	12
3.2. Fisiografía	13
3.3. Geología	14
3.4. Estratigrafía	15
3.5. Tectónica Regional y Geología Estructural	15
3.6. Yacimientos Minerales	17
4. Metodología utilizada en caso Estudio	18
4.1. Trabajo previo en gabinete	19
4.1.1. Diseño de malla de muestreo	20
4.2. Trabajo en campo	21
4.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo	21
4.2.2. Muestreo	24
4.2.3. Observaciones a reportar en cada punto de muestreo	25
4.3. Preparación de muestras para análisis químicos	28
4.4. Técnicas analíticas	28
4.5. Procesamiento e interpretación de datos geoquímicos	31
4.6. Generación de mapas de anomalías geoquímicas	31
5. Resultados	32
5.1. Mapas de anomalías geoquímicas	40
6. Conclusiones	43
A. Mapas de anomalía	48

Índice de figuras

3.1.	<i>Vía de acceso al Municipio de Zimapán, Edo Hidalgo. Ubicación Zona de Estudio para prospección geoquímica de suelos.</i>	12
3.2.	<i>La zona de estudio se ubica dentro de la Provincia Sierra Madre Oriental. (Mapa modificado de Provincias Fisiográficas de la República Mexicana (Alvarez Jr., 1961)).</i>	13
3.3.	<i>La zona de estudio se ubica dentro de la Provincia Geológica Cinturon Mexicano de Pliegues y Fallas. (Mapa modificado de Provincias Geológicas de la República Mexicana (Ortega, 1991)).</i>	14
3.4.	<i>Mapa Geológico. Se puede observar la zona de estudio en el flanco suroeste del Anticlinal El Piñón en la Formación Tamaulipas. También se observan anticlinales y sinclinales con orientación NE-SW. (Mapa modificado de Hoja Zimapán 14Q-E (7), resumen de la geología de la hoja Zimapán, estados de Hidalgo y Querétaro: Carta Geológica de México. Serie de, 1(100,000)) (Carrillo, 1997).</i>	16
4.1.	<i>Área para estudio de prospección geoquímica de suelo. Tambien se observa línea y zona de Trend de mineralización.</i>	19
4.2.	<i>Malla de muestreo.</i>	20
4.3.	<i>Obtención de coordenadas de punto de muestreo con receptor GPS, en este caso se utiliza una antena con extensión para tener mejor recepción del equipo y la medición sea más precisa.</i>	22
4.4.	<i>Estaca con la clave del punto de muestreo.</i>	23
4.5.	<i>Señalización con cinta en puntos altos para facilitar la localización de los puntos de muestreo.</i>	23
4.6.	<i>Puntos de muestreo.</i>	24
4.7.	<i>Toma de muestra en horizonte B de suelo.</i>	26
4.8.	<i>Tablas de Munsell para suelos.</i>	28
5.1.	<i>Rocas calizas mudstone a wackestone en la cual se observan claramente las bandas de pedernal y la potencia de los estratos.</i>	32
5.2.	<i>Rocas calizas mudstone wackestone en la cual se observan claramente las bandas de pedernal deformadas por los procesos tectónicos.</i>	33

5.3. <i>Distribución de puntos marcados y ubicados en campo para muestreo de suelo, además de estos puntos también se tienen ubicados los puntos de muestreo de zonas de oxidación y obras mineras antiguas.</i>	34
5.4. <i>Ubicación de los puntos donde se muestreo esquivra de roca, zonas de oxidación y obras mineras antiguas.</i>	35
5.5. <i>Mapa de anomalía geoquímica para Ag.</i>	40
5.6. <i>Mapa de anomalía geoquímica para Au.</i>	41
5.7. <i>Mapa de anomalía geoquímica para Cu.</i>	41
5.8. <i>Mapa de anomalía geoquímica para Pb.</i>	42
5.9. <i>Mapa de anomalía geoquímica para Zn.</i>	42
A.1. Mapa de anomalía geoquímica para As.	48
A.2. Mapa de anomalía geoquímica para Bi.	48
A.3. Mapa de anomalía geoquímica para Ca.	49
A.4. Mapa de anomalía geoquímica para Cd.	49
A.5. Mapa de anomalía geoquímica para Cr.	49
A.6. Mapa de anomalía geoquímica para Cs.	49
A.7. Mapa de anomalía geoquímica para Ga.	49
A.8. Mapa de anomalía geoquímica para Hg.	49
A.9. Mapa de anomalía geoquímica para K.	50
A.10. Mapa de anomalía geoquímica para Li.	50
A.11. Mapa de anomalía geoquímica para Mg.	50
A.12. Mapa de anomalía geoquímica para P.	50
A.13. Mapa de anomalía geoquímica para S.	50
A.14. Mapa de anomalía geoquímica para Sb.	50
A.15. Mapa de anomalía geoquímica para Se.	51
A.16. Mapa de anomalía geoquímica para Sn.	51
A.17. Mapa de anomalía geoquímica para Sr.	51
A.18. Mapa de anomalía geoquímica para Te.	51
A.19. Mapa de anomalía geoquímica para Th.	51
A.20. Mapa de anomalía geoquímica para Ti.	51
A.21. Mapa de anomalía geoquímica para Tl.	52
A.22. Mapa de anomalía geoquímica para U.	52
A.23. Mapa de anomalía geoquímica para V.	52
A.24. Mapa de anomalía geoquímica para W.	52
A.25. Mapa de anomalía geoquímica para Zr.	52

Índice de tablas

4.1.	<i>Claves para la Descripción Geológica del Entorno.</i>	26
4.2.	<i>Claves de color utilizadas en campo.</i>	27
4.3.	<i>Claves para indicar presencia de mineralización.</i>	27
4.4.	<i>Claves para indicar descripción Geomorfológica del Entorno.</i>	27
4.5.	<i>Elementos y límites de detección con el método ME-MS51 (ICP-MS/ICP-AES).</i>	30
4.6.	<i>Límites de detección para reanálisis de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.</i>	30
5.1.	<i>Valores estadísticos, valor de umbral y valores para anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden para Ag, Au, Cu, Pb y Zn.</i>	35
5.2.	<i>Valores estadísticos, valor de moda o umbral y valores para anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden de Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.</i>	37
5.3.	<i>Cantidad de muestras en las que se observan anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden de para los elementos Ag, Au, Cu, Pb y Zn.</i>	37
5.4.	<i>Cantidad de muestras en las que se observan anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden de para los elementos Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.</i>	39

Resumen

El estudio consistió en realizar prospección geoquímica en suelos con el objetivo de identificar y delimitar áreas donde se presentan concentraciones anómalas de elementos químicos; principalmente de Au, Ag, Pb, Cu y Zn, para la zona denominada “San Elías” en el Distrito Minero de Zimapán en el Estado de Hidalgo.

Se diseñó una malla de muestreo la cual se conformó de 14 líneas con rumbo de 60° en Azimut con una longitud de 1,300 m. longitud en planta y con separación entre cada línea de 100 m., en la parte central de la malla se define una franja denominada “trend” la cual se ubica 200 m al SW y 200 m al NE de la línea central con rumbo 330° en azimut.

En la malla se marcaron puntos de muestreo cada 50 m fuera del trend y cada 25 m dentro de la franja del trend; midiéndose estas distancias sobre terreno. Se marcaron 551 puntos para muestreo de suelo. Fueron colectadas 607 muestras que se analizaron para 51 elementos químicos (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr) en el laboratorio ALS CHEMEX LAB con las técnicas analíticas: ICP/MS (Inductively Coupled Plasma & Mass Spectroscopy) y/o AAS (Atomic Absorption).

Con los resultados obtenidos se realizó un tratamiento estadístico y geoestadístico para determinar los valores de umbral y presencia de anomalía. Encontrándose valores anómalos para casi todos los elementos.

Se elaboraron mapas de distribución geoquímica para cada elemento en los cuales se observa claramente un patrón anómalo con dirección NW-SE y con mayor concentración en las primeras líneas que se encuentran al noroeste de la malla; lo cual, permite inferir la presencia de un cuerpo o cuerpos mineralizados a profundidad.

Capítulo 1

Introducción

El motivo de este trabajo es el de obtener el título de Ingeniero Geólogo para lo cual se presenta esta adaptación de informe técnico. En la presente adaptación se realiza con permiso previo expreso por parte de la compañía Petroanálisis; pero, no se presentan los datos respetando las cláusulas de confidencialidad que la empresa mantiene con la minera. Sin embargo los datos existen y pueden ser proporcionados para su revisión.

En este proyecto tuve participación en todas las etapas del estudio, trabajo en gabinete y trabajo en campo, colaborando con la Ing. Rosario Peralta Salazar, con José Antonio Hernández Godoy y con Darío Peña García. En el trabajo previo en gabinete colabore en el dibujo de la malla y en la logística para el trabajo; en campo, participe en la ubicación de puntos de muestreo, en el muestreo y registrando las observaciones en campo; posteriormente en trabajo de gabinete participe en el procesamiento, la interpretación y la generación de mapas de anomalías geoquímicas.

En la prospección de yacimientos minerales, y en exploración geoquímica minera, para incrementar las reservas minerales de un yacimiento ya conocido, se puede confirmar con información de referencia histórica, que no es tan fácil como lo fue en el pasado, cuando en un origen se localizaron, reconocieron y caracterizaron visualmente debido a que estos yacimientos se encontraban aflorando en la superficie. En la actualidad se han desarrollado métodos geoestadísticos apoyados en análisis geoquímicos, que son prácticos y de bajo costo, los cuales aportan información que contribuye a definir a un yacimiento mineral que no aflora en superficie. La prospección geoquímica es un método directo que mide la concentración de un elemento o de elementos químicos presentes en materiales como roca, suelo, sedimentos de arroyo, agua, etc. Es un método ideal para contribuir a definir un cuerpo mineralizado que no es tan obvio a simple vista o del que se tienen pocos indicios.

El presente trabajo se realiza como parte de un programa de exploración de la compañía minera ubicada en el distrito minero de Zimapán.

El método a emplear es Prospección Geoquímica en Suelos con la finalidad de detectar y/o delimitar zonas que presenten valores anómalos en las concentraciones de elementos químicos de interés económico, llamadas anomalías geoquímicas.

Con la información generada se podrán tomar decisiones para seguir con la exploración a detalle, hacer perforación con recuperación de núcleos (pétreos), hasta llegar a la delimitación del cuerpo mineral y llegar a la etapa de extracción del mineral; o en su caso de no ser satisfactorios los resultados, buscar otra/s área o áreas que puedan ser de interés económico para su prospección. La ventaja de hacer una prospección geoquímica, es que representa un bajo costo en la exploración con relación a otro tipo de método exploratorio aplicado en la minería.

En el capítulo II, se proporciona un marco de referencia de conceptos de geoquímica, prospección geoquímica, anomalía geoquímica, valor de fondo, valor de umbral, geoestadística y otros. De la misma forma, la metodología que se emplea en un estudio geoquímico. En el capítulo III se presentan los datos generales del área de estudio, El capítulo IV indica la metodología utilizada en este estudio. El diseño de malla, ubicación y marcado de los puntos de muestreo, como se realiza el muestreo y de las observaciones reportadas en bitácora, la preparación de muestras para su envío a laboratorio. En el capítulo V, se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio.

1.1. Objetivo general

El trabajo busca detectar y delimitar zonas que presenten concentraciones anómalas de elementos químicos utilizando prospección geoquímica, generar mapas de anomalías de 51 elementos químicos; principalmente de Au, Ag, Pb, Cu y Zn, de la zona denominada “San Elías” ubicada en el municipio de Zimapán, Hidalgo.

1.2. Objetivos particulares

- Obtener la máxima información geológica y del entorno en campo.
- Realizar análisis estadísticos de los resultados químicos para determinar el valor de umbral y si es el caso presencia de anomalía geoquímica para los elementos químicos: Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.
- Efectuar análisis geoestadísticos y generar mapas de anomalías geoquímicas para los elementos químicos: Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.
- Delimitar zonas con anomalía geoquímica con potencial de interés.

Capítulo 2

Marco teórico de Prospección Geoquímica

2.1. Definiciones

2.1.1. Geoquímica

La Geoquímica es la ciencia que estudia la composición química de la Tierra en su conjunto y de las partes que la componen. Se ocupa de la distribución y la migración de los elementos químicos dentro de la Tierra en espacio y tiempo (Mason, 1966).

Goldschmidt (1954) señala que “el propósito principal de la geoquímica es por una parte, determinar cuantitativamente la composición de la Tierra y sus partes; y por el otro, descubrir las leyes de control de la distribución de los elementos”. Para resolver estos problemas la geoquímica requiere una amplia colección de datos sobre materiales terrestres, como agua, rocas, suelos, etc.

Las principales tareas de la geoquímica pueden resumirse así.

- La determinación de las abundancias relativas y absolutas de los elementos y de las especies atómicas (isótopos) en la Tierra.
- El estudio de los principios que rigen la distribución y la migración de los elementos individuales en las distintas partes de la Tierra (la atmósfera, la hidrosfera, corteza, etc.) y en minerales y rocas.

2.1.2. Prospección Geoquímica

La prospección geoquímica es la aplicación práctica de los principios de la geoquímica teórica, para encontrar depósitos de metales y no metales, petróleo y gas natural, delimitando sus extensiones empleando métodos químicos y geoestadísticos. Así mismo, la prospección geoquímica emplea métodos en los que incluyen la medición sistemática de concentraciones de uno o más elementos o compuestos químicos, que usualmente se encuentran en pequeñas concentraciones. Las mediciones se hacen en uno o varios materiales de origen natural; de fácil muestreo como rocas, sedimentos de arroyo, suelos, agua, vegetación, detritos glaciales o aire (Levinson, 1974).

Y tiene por objetivo la prospección geoquímica: detectar de patrones químicos anormales o anomalía geoquímica, relacionada a la mineralización.

2.1.3. Anomalía Geoquímica

El concepto de la anomalía, es una medición o una abundancia que se desvía de la norma. Por lo tanto, anomalía geoquímica es una medición o valor atípico de un elemento o elementos químicos en un área que indica en este caso una mineralización. Y estas se determinan por medio de la interpretación de los datos analíticos. Se considera anomalía un valor anormal de 2.5 veces el valor de umbral (Levinson, 1974).

2.1.4. Valor de Fondo o *Background*

El valor de fondo o *Background* se define como el rango normal de concentración para un elemento o elementos químicos en un área determinada. El valor modal de los análisis químicos es considerado el valor de abundancia normal de un elemento o valor de fondo (Levinson, 1974). Para determinar los valores de fondo de cada elemento, si la distribución de los valores de análisis químicos no es normal, se le aplica el logaritmo y se obtiene una distribución log normal. En la distribución log normal la moda de estos valores nos define el valor de fondo. Sin embargo, en algunas ocasiones también se toma el valor de la mediana como valor de fondo.

2.1.5. Valor de Umbral o *Threshold*

Es el valor de fondo local. Si este valor de fondo es alto; generalmente está en las inmediaciones de un yacimiento (Levinson, 1974). Se toma como valor de umbral la media más dos veces la desviación estándar. En algunas ocasiones puede ser considerado como la media más dos veces la desviación estándar de los resultados de los valores químicos, pero si no se tiene la media y la distribución es irregular, se toma el valor de

la mediana. (Hawkes y Webb, 1962).

2.1.6. Geoestadística

La geoestadística es la metodología para el análisis estadístico de datos espacialmente correlacionados. Un análisis característico es el uso de variogramas de técnicas relacionadas para cuantificar y modelar la correlación espacial de la estructura. También incluye diferentes técnicas como *Kriging*, la cual utiliza modelos de correlación espacial. Los métodos geoestadísticos son aplicables en todas las ciencias de la Tierra. Pueden aplicarse para explorar los procesos responsables de la variación espacial. También pueden aplicarse donde existe una información completa obtenida por percepción remota u otra fuente, para determinar un muestreo eficiente, así como también para estimar el valor de propiedades en localidades no muestreadas (Díaz, 2002).

2.1.7. Estimación estadística o *Kriging*

Método de interpolación del valor medio ponderado donde los pesos asignados a las muestras minimizan la varianza del error, la que se calcula como una función del modelo de variograma y localizaciones de las muestras relacionadas unas con las otras, y del punto o bloque que está siendo estimado (Díaz, 2002).

2.1.8. Terminología Básica

Moda

Se define el valor que aparece más frecuentemente positiva o como el intervalo que contiene el mayor número de valores. Para fines prácticos utilizar el punto medio de la clase intervalo correspondiente a la moda o clase modal (Hernández, 1978).

Mediana

Si se considera que los valores de una muestra están arreglados en orden de magnitud, la mediana de esa muestra se define como el valor central si el número de valores de la muestra es impar o como promedio de los dos números centrales si el número de valores de la muestra es par (Hernández, 1978).

Media

También llamada media aritmética, promedio o valor medio. Es la medida de centralización más común. Se define como la suma de los valores de la muestra dividida entre el tamaño de la muestra (Hernández, 1978).

Varianza

Es una medida de dispersión también llamada desviación cuadrada media ó momento de segundo orden. Es la relación que existe entre de las diferencias cuadráticas de la media con respecto a cada valor de la muestra y el tamaño de la muestra (Hernández, 1978).

Desviación estándar

Es una medida de dispersión y nos indica cuanto tienden a alejarse los valores de la media. Es la raíz cuadrada no negativa de la varianza (Hernández, 1978).

2.2. Metodología para la Prospección Geoquímica

2.2.1. Diseño de la malla

Para el diseño de la malla se toman en cuenta dos factores importantes. Primero que se empleó un sistema óptimo de muestreo; el segundo el espaciamiento que definirá la malla. El tamaño de la malla lo determina el área a prospectar o el tamaño del cuerpo mineralizado.

Levinson (1974), hace las siguientes consideraciones para el diseño de malla:

- Que sea preferiblemente de forma cuadrada.
- Las líneas de muestreo deben cruzar el rumbo de un cuerpo mineralizado.

2.2.2. Muestreo

El muestreo se puede realizar en rocas, sedimentos de arroyo, suelos, agua, vegetales (Levinson, 1974). La técnica empleada dependerá del material a muestrear. Para realizar el muestreo se hace énfasis en la importancia de un buen muestreo para no generar datos equívocos.

Levinson (1974) propone dos puntos a considerar para el muestreo:

- Los intervalos de muestreo deben ser diseñados para que varios puntos de cada línea estén dentro de la anomalía.
- Distancia entre muestras de 15 m a 60 m y en su caso hacer un muestreo más cerrado.

Para la prospección geoquímica en suelos. La muestra se toma preferiblemente del horizonte B del suelo. En este horizonte es donde se tiene el máximo contenido de metales, es la zona de acumulación de arcillas, óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, los cuales tienden a adsorber a los metales. Hay variaciones significativas en el contenido de metales de los distintos horizontes de un suelo.

Los datos que se requieren registrar por parte del muestreador son:

- Color.
- Tipo de granulometría.
- Suelo removido.
- Presencia de materia orgánica.
- Posible contaminación de otro material.
- Zona de suelo en la que se toma la muestra y el espesor (profundidad).
- Presencia de mineralización.

2.2.3. Preparación de muestras

A cada una de las muestras que se colectan se les aplica un proceso antes de su envío a su correspondiente análisis químico, este proceso consiste en:

- Secado.
- Cuarteo.
- Partido.
- Molido.
- Tamizado.
- Pesado y empaquetado de muestras.

2.2.4. Técnicas analíticas

Las técnicas analíticas más comúnmente empleadas en la prospección geoquímica son (Levinson, 1974):

- Absorción Atómica.
- Colorimetría.
- Espectrografía de Emisión.
- Fluorescencia de Rayos X.

Sin embargo, la absorción atómica es el método más utilizado por la facilidad del método y la sensibilidad que tiene, la rapidez, capacidad multielemental y la exactitud de los datos (Siegel, 1992).

2.2.5. Tratamiento de datos geoquímicos

A groso modo un análisis geoestadístico consta de tres etapas (Jimenez, 2003), que son:

- Análisis exploratorio de los datos.
- El análisis estructural o variográfico.
- Estimación geoestadística o también llamado *kriging*.

Análisis de datos

Los valores se organizan para obtener la mayor información posible. Se obtienen los parámetros: valor máximo, valor mínimo y se comienza con el cálculo de los parámetros estadísticos de tendencia central: media, moda, mediana.

Análisis estructural o variográfico

En contraposición con la estadística clásica o convencional, tales valores no se consideran independientes, por el contrario se suponen de manera implícita que están correlacionados unos con otros, es decir que existe una relación espacial. Intuitivamente esto indica que mientras más cercanos estén situados dos puntos están más correlacionados y mientras más separados hay menos relación entre estos. El proceso de estimación y

modelación de la función que describe la correlación espacial es conocido como “análisis estructural” (Díaz, 2002).

El variograma es una herramienta básica que informa las características espaciales del fenómeno, que están estrechamente relacionadas con las características geológicas y geoquímicas de la variable. Se calculan los variogramas experimentales que después se ajustan a un modelo válido para el área de estudio seleccionada (Jimenez, 2003).

Estimación geoestadística o *kriging*

Es un objetivo básico de la geoestadística. Son métodos basados en la interpretación por medio de combinaciones lineales ponderadas de los datos experimentales, para lo cual el *kriging* utiliza la información precedente del análisis estructural o variográfico y como resultado obtenemos los mapas geoquímicos (Jimenez, 2003).

Capítulo 3

Generalidades del área de Estudio

3.1. Localización y vías de acceso

La zona de estudio se encuentra localizada aproximadamente a 6.5 km al norte del Municipio de Zimapán, en el estado de Hidalgo. El cual limita al norte con los municipios de Pacula y Jacala; al sur con los de Tecozautla y Tasquillo; al este con los de Nicolás Flores e Ixmiquilpan y al oeste con el Estado de Querétaro. El acceso al municipio de Zimapán es por la carretera federal No.85 también conocida como carretera Panamericana; a la altura del km. 205. Como se observa en la *Figura 3.1*.

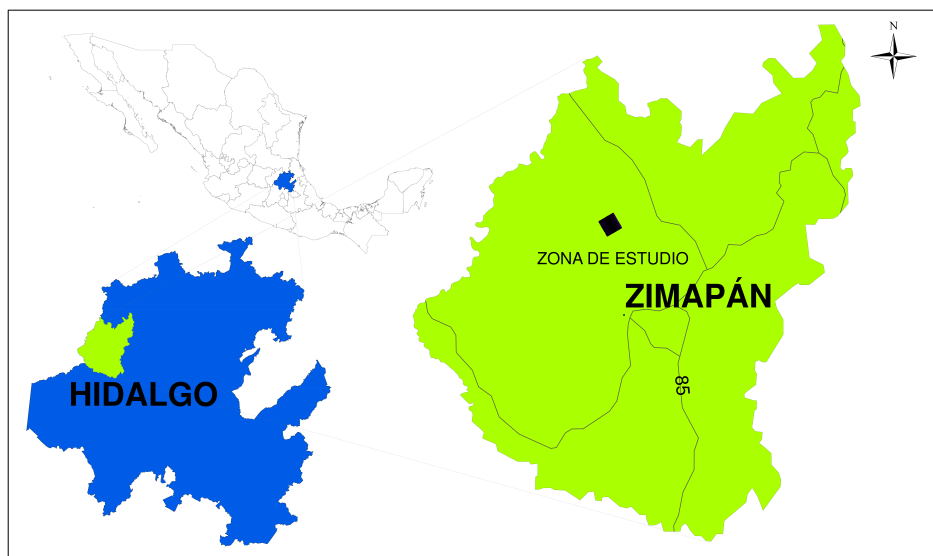


Figura 3.1. Vía de acceso al Municipio de Zimapán, Edo Hidalgo. Ubicación Zona de Estudio para prospección geoquímica de suelos.

3.2. Fisiografía

La zona de estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental en la subprovincia Karst Huasteco. Como se muestra en la *Figura 3.2*. En el límite occidental colinda con la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana. Sus principales rasgos son estructurales; valles en los sinclinales y serranías en los anticlinales, cuando las formaciones son resistentes a la erosión. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles aserrados (Alvarez Jr., 1961).

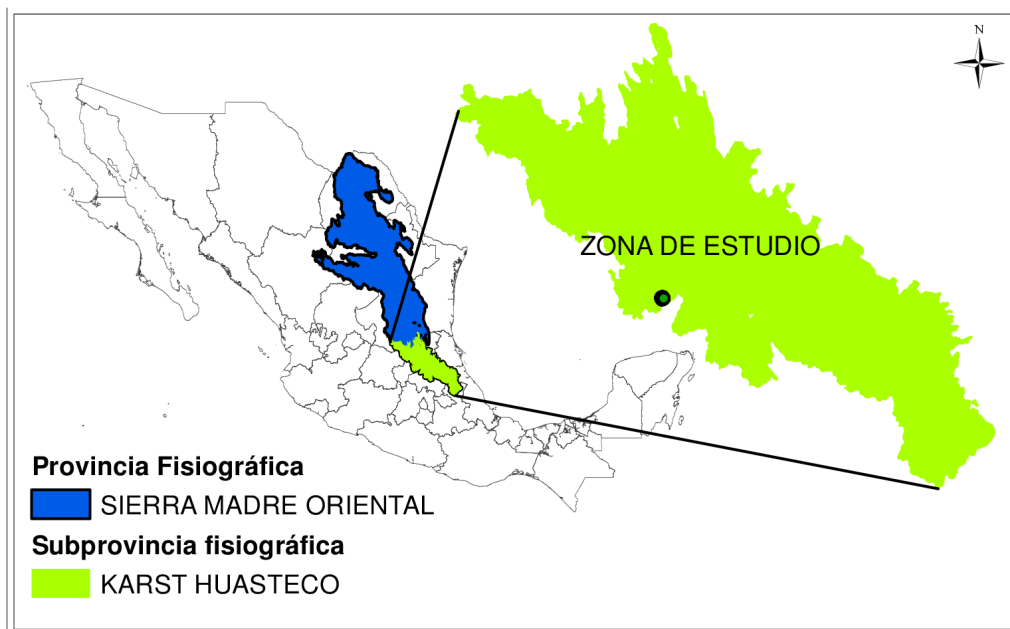


Figura 3.2. La zona de estudio se ubica dentro de la Provincia Sierra Madre Oriental. (Mapa modificado de *Provincias Fisiográficas de la República Mexicana* (Alvarez Jr., 1961)).

3.3. Geología

El área de estudio se ubica en la Provincia Geológica Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (M, sm, or) con edad Mesozoica, de origen sedimentario marino y su ambiente geotectónico corresponde a un orógeno. (Ortega *et al.*, 1992). Como se muestra en la *Figura 3.3*. Las rocas presentes son de origen marino de edades cretácicas; teniendo tres grandes divisiones litológicas: una inferior de carácter clástico; una intermedia carbonatada y una superior de origen clástico (Ortega *et al.*, 1992)

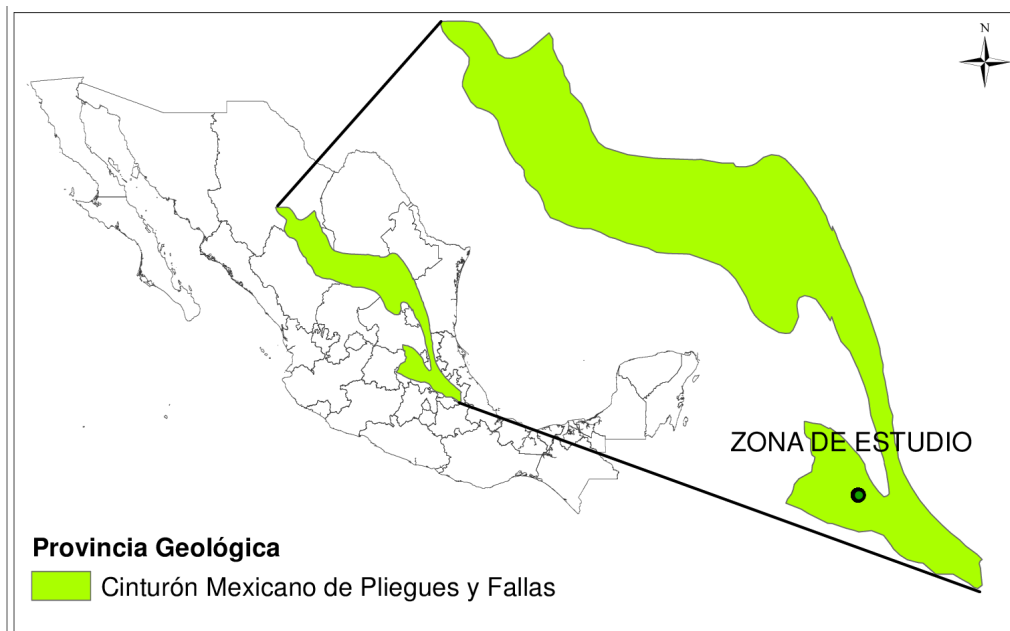


Figura 3.3. La zona de estudio se ubica dentro de la Provincia Geológica Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas. (Mapa modificado de Provincias Geológicas de la República Mexicana (Ortega, 1991)).

“Esta composición sedimentológica corresponde primeramente a la naturaleza transgresiva de los mares del Atlántico en formación Oxfordiano-Aptiano, luego a la máxima invasión marina al continente durante el Albiano-Cenomaniano y, por último, a la regresión marina ocurrida durante el Turoniano-Maastrichtiano” (Ortega *et al.*, 1992).

3.4. Estratigrafía

Las formaciones que se encuentran presentes en la región son:

Del Jurásico Superior la Formación Las Trancas (Kimeridgiano-Barremiano), calizas micríticas, margas y lutitas calcáreas ligeramente apizarradas. Del Cretácico son: Formación Tamaulipas (Aptiano –Cenomaniano), facies de cuenca con un espesor de 300 m. a 1200 m. las rocas son caliza tipo mudstone- wackestone (Dunham, 1962), con lentes y nódulos de pedernal y estratos finos de lutita. (Carrillo y Suter, 1982), aflorando en las vertientes occidental y oriental de la Sierra del Pinal (Carrillo, 1990); Formación Soyatal – Méndez (Turoniano Tardío-Campaniano), la cual es una sucesión marina de tipo flysch. Del Paleógeno, la Formación El Morro, conglomerado fluvio-lacustre de calizas, margas y rocas volcánicas. Del Neógeno, la Formación Las Espinas, rocas volcánicas (latita-andesita-basalto). Las formaciones antes mencionadas se encuentran cortadas por cuerpos intrusivos de composición monzonítica con textura porfídica del Paleógeno. (Carrillo y Suter, 1982).

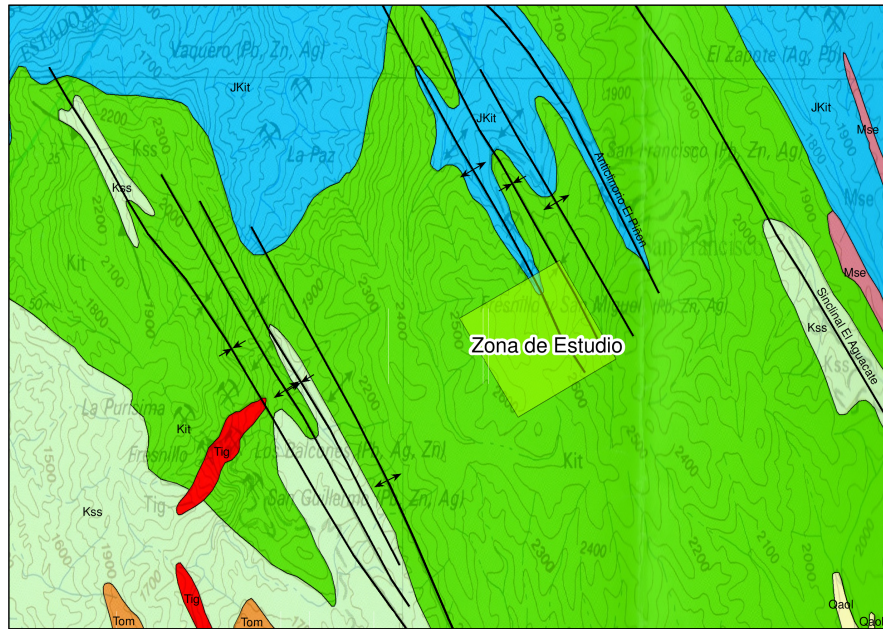
3.5. Tectónica Regional y Geología Estructural

La zona de estudio se encuentra en la provincia geológica Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas que contiene innumerables fallas inversas y grandes cabalgamientos con edad entre el Paleoceno y el Eoceno (Ortega *et al.*, 1992).

La región está marcada por pliegues (sinclinales y anticlinales) y cabalgaduras de trazas axiales paralelas, de dirección NNW – SSE (Segerstrom, 1961), producido por la Orogenia Laramide, la cual consistió mayoritariamente en plegamientos y en menor proporción fallamiento por compresión (Carrillo, 1981). Estas estructuras laramídicas tienen un rumbo regional ENE-WSW (Carrillo y Suter, 1982).

El área de estudio se ubica en la estructura Laramídica Anticlinal El Piñon o Anticlinal Pingüical (Segerstrom, 1961) como se muestra en la *Figura 3.4*; Delimitado por los sinclinales Maconí y El Aguacate (Carrillo y Suter, 1982). El cual en su núcleo se encuentra la Formación Las Trancas y en contacto tectónico en el techo como en los flancos la Formación Tamaulipas (Carrillo, 1990). Formando un anticlinal con una gran zona de charnela y flancos bastante inclinados buzando el flanco oriental casi 90° mostrando una gran cantidad de pliegues de segundo orden. La Formación Las Trancas por su competencia mecánica mayor no parece plegarse tan apretadamente; lo que implica deslizamiento a lo largo del contacto de las formaciones.

En el flanco suroccidental está formado por una serie de pliegues de tipo chevron con ejes subhorizontales; tanto el techo como el flanco nororiental se componen de varios anticlinales y sinclinales internos (Carrillo y Suter, 1982).



Simbología











 zona estudio	 Aluvi3n, coluvi3n y dep3sitos fluviolacustres	 Formaci3n Tamaulipas
 Anticlinal	 Formaci3n Las Espinas	 Formaci3n Las Trancas
 Sinclinal	 Formaci3n El Morro	 Intrusivos
	 Formaci3n Soyatal	

Figura 3.4. Mapa Geol3gico. Se puede observar la zona de estudio en el flanco suroeste del Anticlinal El Pi3n3n en la Formaci3n Tamaulipas. Tambi3n se observan anticlinales y sinclinales con orientaci3n NE-SW. (Mapa modificado de Hoja Zimap3n 14Q-E (7), resumen de la geol3gia de la hoja Zimap3n, estados de Hidalgo y Quer3taro: Carta Geol3gica de M3xico. Serie de, 1(100,000)) (Carrillo, 1997).

3.6. Yacimientos Minerales

La mayoría de los cuerpos mineralizados se encuentran en o cerca de los contactos entre los intrusivos del Terciario inferior y rocas carbonatadas de la Formación Tamaulipas del Cretácico inferior (Villaseñor *et al.*, 2000) de tipo skarns de los que se han extraído principalmente minerales de Pb, Zn, Ag y Cu. Estas mineralizaciones se encuentran en tres estructuras principales que son: chimeneas, mantos y vetas. En las chimeneas, la mineralización se presenta de forma masiva con leyes altas; en los mantos, la mineralización se presenta de forma diseminada con leyes bajas; en las vetas, la mineralización es irregular y anómala.

Capítulo 4

Metodología utilizada en caso Estudio

Para la realización del presente estudio se cubrieron las etapas siguientes:

- Trabajo previo en gabinete.
- Trabajo en campo.
- Preparación de muestras para análisis químicos.
- Técnicas analíticas.
- Procesamiento e interpretación de datos geoquímicos.
- Generación de mapas de anomalías geoquímicas.

A continuación se describirá cada una de estas etapas.

4.1. Trabajo previo en gabinete

En esta etapa consiste en realizar investigación y recopilación de información disponible de la zona en estudio, localización, vías de comunicación y accesos.

El área para la prospección geoquímica se encuentra definida por cuatro vértices, como se muestra en la Figura 5. Todas las coordenadas se encuentran expresadas en el sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) de la Zona 14 Norte con Datum WGS84 (World Geodetic System 1984).

Como requerimiento de la compañía minera se define primero una línea con dirección NE-SW que divide en dos partes iguales al área de estudio llamada trend de mineralización. Así también se define la zona llamada trend de mineralización la cual comprende 200 m al sureste de la línea trend y 200 m al lado noroeste de la línea trend de mineralización, como se muestra en la *Figura 4.1*.

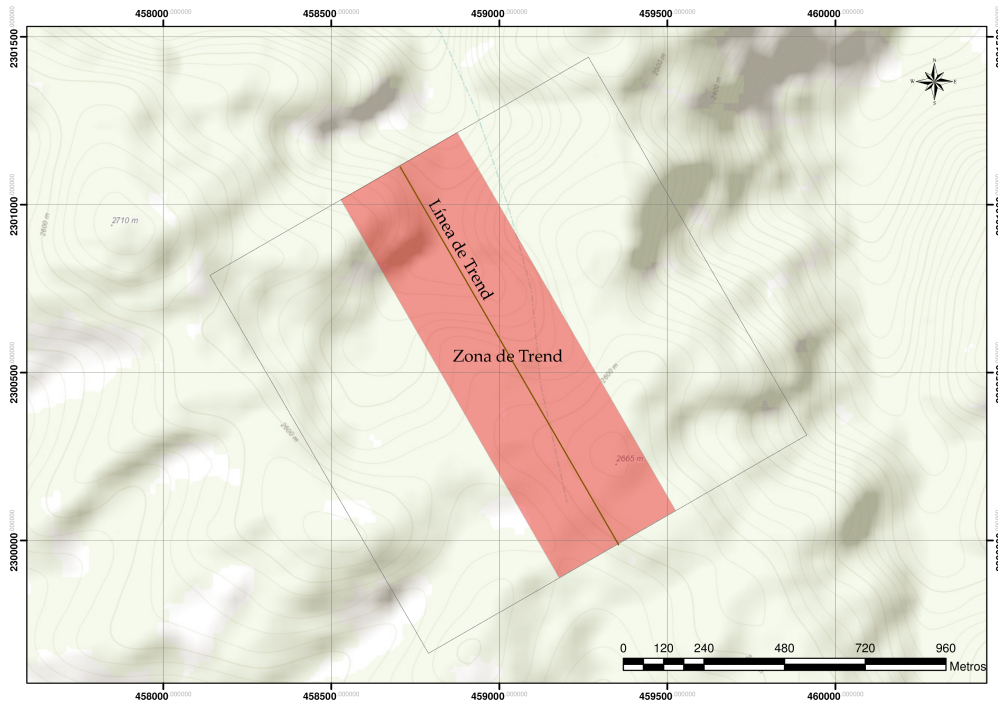


Figura 4.1. Área para estudio de prospección geoquímica de suelo. También se observa línea y zona de Trend de mineralización.

4.1.1. Diseño de malla de muestreo

Habiendo localizado y delimitado el área de estudio se procede a diseñar la malla de muestreo con base en los requerimientos propuestos por el jefe de geología de la compañía minera. Para la construcción de la malla de muestreo se proyectan líneas de muestreo con rumbo de 60° en azimut, con longitud de 1,300 m cada una y un espaciado entre ellas de 100 m. A cada línea de muestreo se nombró asignándole una de las siguientes letras M, N, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z y Zz; después de la letra asignada a cada línea de muestreo se agregó la distancia en metros, para quedar en cada inicio de línea en 00 y al final de cada línea en 1,300. Como se muestra en la *Figura 4.2*.

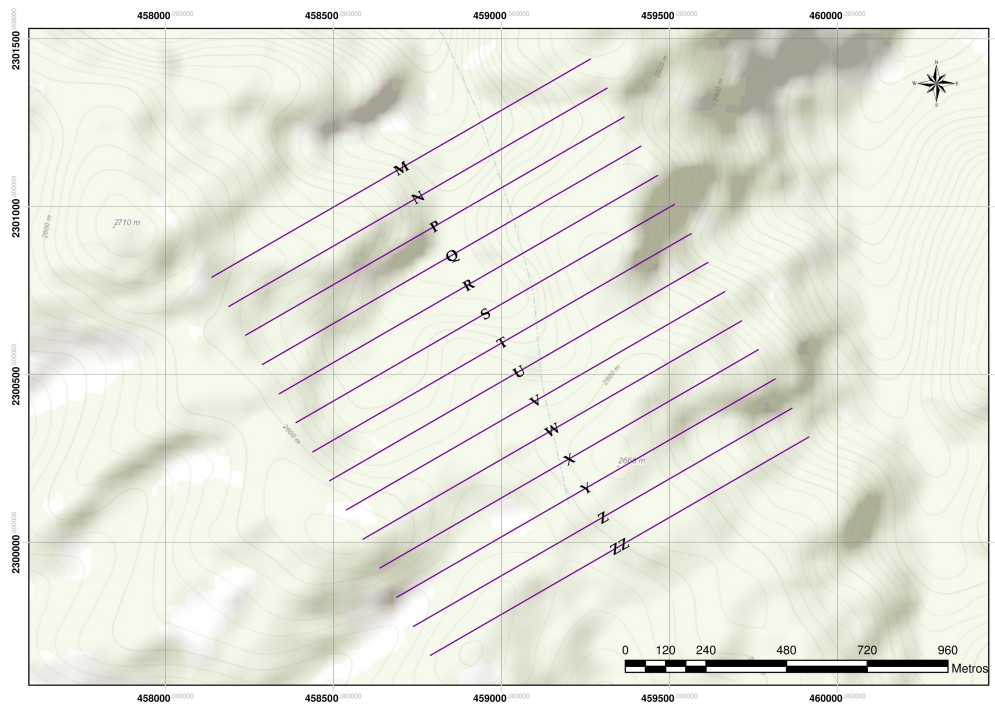


Figura 4.2. Malla de muestreo.

4.2. Trabajo en campo

4.2.1. Ubicación de los puntos de muestreo

Teniendo la malla de muestreo, el siguiente paso ya en la zona de estudio consistió en ubicar los puntos para muestreo señalizando para su posterior localización y muestreo propiamente. La señalización se hace con cinta y estaca rotulada con su clave. La clave que se asigna a cada punto de muestreo se integra de la letra asignada a cada línea de muestreo seguida de dos a cuatro dígitos que señalan la distancia aproximada del punto ubicado para muestreo al punto de inicio de cada línea por ejemplo M00, M1,300.

Las líneas de muestreo, los puntos iniciales y finales se cargaron al GPS para apoyo en la ubicación de cada punto de muestreo. Se ubican los puntos de muestreo a cada 50 m. fuera del trend de mineralización y cada 25 m. dentro del trend de mineralización. Cabe señalar que estas mediciones se hacen sobre terreno y no en planta.

A continuación se describe paso a paso la metodología para la ubicación de cada punto de muestreo.

En el punto inicial de cada línea de muestreo se lanza una visual con rumbo de 60° , que es el rumbo que tienen las líneas de muestreo, paso seguido se hacia la medición con distanciómetros láser (DISTOpro de LEICA GEOSYSTEMS, GMBH, con alcance de 200 m) o con cinta; dependiendo de las condiciones del terreno (peñas o vegetación) y/o ambientales (neblina). Después se realiza una lectura con el receptor GPS para verificar que nos encontramos en la línea de muestreo; habiendo verificado lo anterior se obtienen las coordenadas con receptor GPS del punto a muestrear. Como se muestra en la *Figura 4.3*. Las coordenadas obtenidas se registran en la memoria del navegador GPS y en bitácora.

En las *figuras 4.4 y 4.5* se muestra la señalización que se realizó con estacas y cinta en campo.

Todo este procedimiento se repite en cada uno de los puntos levantados.

El levantamiento topográfico de los puntos de muestreo se hizo utilizando como base la información geográfica raster y vectorial del INEGI que corresponde al modelo digital de elevación continuo a nivel nacional en el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum ITRF92, Elipsoide GRS 80. Los equipos utilizados fueron dos Navegadores Autónomos GPS V Deluxe GARMIN también en sistema de coordenadas UTM, Zona 14Q Norte, Datum Geodésico WGS84.



Figura 4.3. Obtención de coordenadas de punto de muestreo con receptor GPS, en este caso se utiliza una antena con extensión para tener mejor recepción del equipo y la medición sea más precisa.



Figura 4.4. Estaca con la clave del punto de muestreo.



Figura 4.5. Señalización con cinta en puntos altos para facilitar la localización de los puntos de muestreo.

4.2.2. Muestreo

La recolección de muestras para el análisis geoquímico se realizó de forma ordenada y sistematizada a lo largo de cada una de las 14 líneas de muestreo. Comenzando en la línea M en el punto M00 concluyendo en el Punto Zz 1,300. *Figura 4.6.*

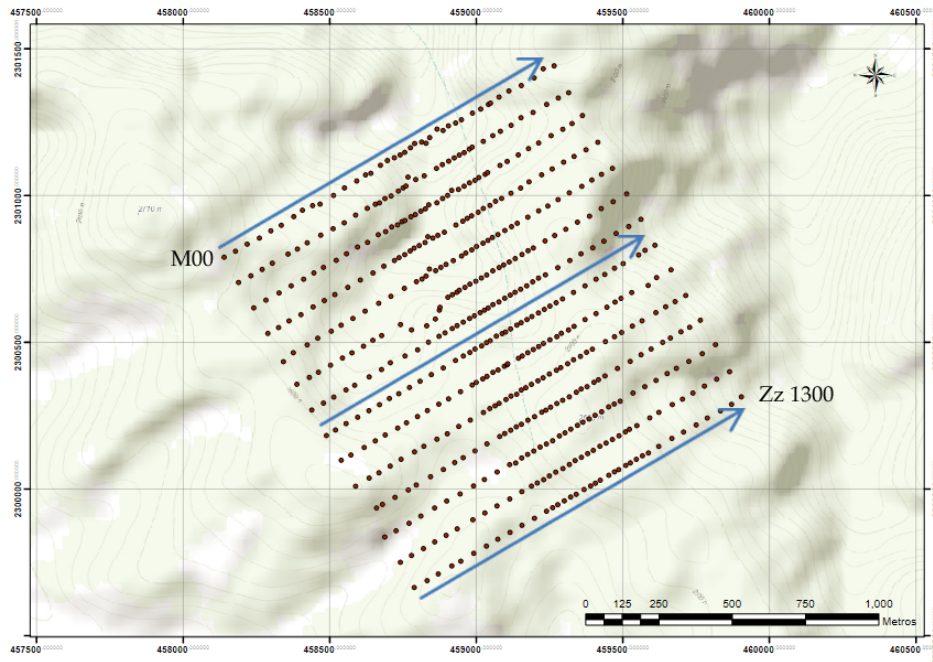


Figura 4.6. Puntos de muestreo.

Las muestras de suelo se tomaron del horizonte B, colectando como mínimo 1.0 kg. a 1.5 kg. de suelo, inmediatamente se colocó la muestra en bolsa de plástico debidamente etiquetada y sellada. Cada treinta muestras se tomará un duplicado de la muestra (inmediatamente vecina) para análisis químico. Como se muestra en la *Figura 4.7.*

4.2.3. Observaciones a reportar en cada punto de muestreo

En cada punto de muestreo se reportaron las observaciones siguientes:

- Clave.
- Coordenadas del punto de muestreo.
- Tipo de suelo con base a granulometría.
- Color de suelo.
- Descripción geomorfológica del entorno de la muestra (lugar plano, fuerte pendiente, vegetación).
- Descripción geológica del entorno de la muestra, tipo de roca cercana aflorando, intrusivo, gossan, dirección de estructuras).
- Indicar presencia de mineralización, obras mineras antiguas (catas), zonas de oxidación, cercanas al punto de muestro, si los hay se tomará una muestra para análisis químicos.
- También se reportaban litología y datos estructurales, si fuera el caso.

La nomenclatura que se utilizó para reportar las observaciones de campo se muestran en las *Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4*.

Para la descripción del color en gabinete se utilizaron las tablas de color de Munsell para suelos (Munsell, 1991).

En la cual se describe todos los posibles colores en términos de tres parámetros: matiz (Hue) que mide la composición cromática de la luz que alcanza el ojo; claridad (Value), el cual indica la luminosidad o oscuridad de un color con relación a una escala de gris neutro; y pureza (Chroma), que indica el grado de saturación del gris neutro por el color del espectro visible. Como se muestra en la *Figura 4.8*.



Figura 4.7. Toma de muestra en horizonte B de suelo.

Clave	Descripción
Cz	Caliza
P	Pedernal
In	Intrusivo
m	masiva
V	vetas
b	bandas
n	nódulos
a	arcillas
H	horizonte
NOE	No se observan estructuras

Tabla 4.1. Claves para la Descripción Geológica del Entorno.

Clave	Color
Ro	Rojo
P	Pardo
G	Gris
CC	Café claro
CO	Café oscuro
PR	Pardo rojizo
GO	Gris Oscuro
GC	Gris claro
GOP	Gris oscuro pardo

Tabla 4.2. *Claves de color utilizadas en campo.*

Clave	Descripción
o	Óxidos
r	Recristalización
v	Vetilleo

Tabla 4.3. *Claves para indicar presencia de mineralización.*

Clave	Descripción
F	Pendiente fuerte
M	Pendiente media
S	Pendiente suave
E	Espesores (cm)
AV	Abundante vegetación
MD	Muestra doble

Tabla 4.4. *Claves para indicar descripción Geomorfológica del Entorno.*

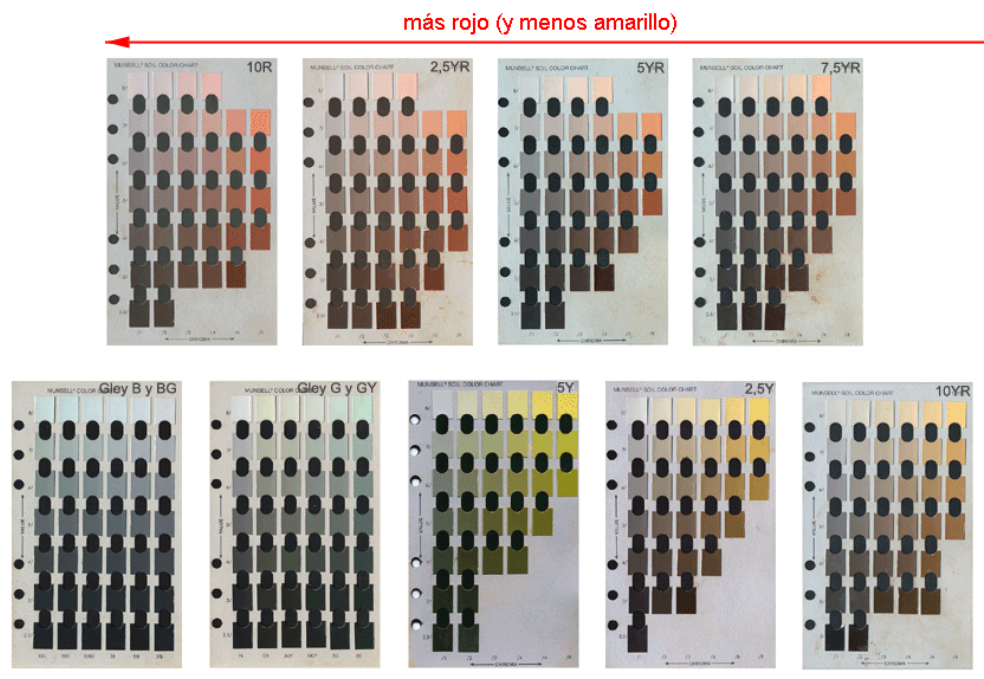


Figura 4.8. Tablas de Munsell para suelos.

4.3. Preparación de muestras para análisis químicos

La preparación de muestras se realizó en las instalaciones de la compañía Petroanálisis S.A. de C.V. Consistió en secado de la muestra, tamizado a malla #80 (2.0 mm) y cuarteo para obtener muestras de aproximadamente 300 gr, las se enviaron para análisis químico al laboratorio ALS CHEMEX LAB en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco.

4.4. Técnicas analíticas

Las técnicas analíticas empleadas para este estudio fueron Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente y la técnica de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción.

El procesado de muestras en los laboratorios ALS CHEMEX LAB consistió en los siguientes puntos (información proporcionada por el laboratorio):

1. Recepción, peso y registro mediante código de barras a cada muestra.
2. Secado de las muestras de suelo.

3. Pulverizado de las muestras de roca.
4. Tamizado a malla #80 (ASTM), 180 micras.
5. Digestión en agua regia.
6. Análisis por ICP-MS (Inductive Coupled Plasma with Mass Spectroscopy) e ICP-AES (Inductive Coupled Plasma with Atomic Emission Spectroscopy) con diferentes rangos de detección.

La digestión de suelos en agua regia y los análisis por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma & Mass Spectroscopy) y/o AAS (Atomic Absorption) fueron realizados en los laboratorios de ALS CHEMEX LAB en Vancouver, Canadá.

La clave del análisis inicial aplicado a las muestras en el laboratorio ALS CHEMEX LAB es ME-MS51 y sus límites de detección por elemento se presentan en la *Tabla 4.5*.

Si los elementos de mayor importancia económica (Au, Ag, Pb, Zn y Cu) registraron valores fuera de los rangos de detección del análisis inicial, fueron reanalizados con nuevos rangos de detección. La *Tabla 4.6* presenta los métodos utilizados para los elementos mencionados con sus rangos de detección.

Elemento	Rango (ppm)	Elemento	Rango (ppm)
Ag	0.01-100	Mo	0.05-10,000
Al	0.01 %-25 %	Na	0.01 %-10 %
As	0.1-10,000	Nb	0.05-500
Au	0.2-25	Ni	0.2-10,000
B	10-10,000	P	10-10,000
Ba	10-10,000	Pb	0.2-10,000
Be	0.5-1,000	Rb	0.1-10,000
Bi	0.01-10,000	Re	0.001-50
Ca	0.01 %-25 %	S	0.01 %-10 %
Cd	0.01-1,000	Sb	0.05-10,000
Ce	0.02-500	Sc	0.1-10,000
Co	0.1-10,000	Se	0.2-1,000
Cr	1-10,000	Sn	0.2-500
Cs	0.05-500	Sr	0.2-10,000
Cu	0.2-10,000	Ta	0.01-500
Fe	0.01 %-50 %	Te	0.01-500
Ga	0.05-10,000	Th	0.2-10,000
Ge	0.05-500	Ti	0.005 %-10 %
Hf	0.02-500	Tl	0.02-10,000
Hg	0.01-10,000	U	0.05-10,000
In	0.005-500	V	1-10,000
K	0.01 %-10 %	W	0.05-10,000
La	0.2-10,000	Y	0.05-500
Li	0.1-10,000	Zn	2-10,000
Mg	0.01 %-25 %	Zr	0.5-500
Mn	5-50,000		

Tabla 4.5. Elementos y límites de detección con el método ME-MS51 (ICP-MS/ICP-AES).

ELEMENTO	CLAVE DEL MÉTODO	RANGO
Ag	Ag-AA46	1-1,500 ppm
Au	Au-TL43 / Au-OG43	0.001-1 ppm / 0.01-100 ppm
Pb	Pb-AA46	0.01 %-20 %
Zn	Zn-AA46	0.01 %-60 %
Cu	Cu-AA46	0.01 %-40 %

Tabla 4.6. Límites de detección para reanálisis de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.

4.5. Procesamiento e interpretación de datos geoquímicos

Los resultados de los análisis químicos se homogenizaron para que todos se procesaran en partes por millón (ppm). Se ordenan todos los registros y se obtienen los parámetros estadísticos de tendencia central (moda, media y mediana).

Para el valor de umbral la compañía ha decidió tomar como tal, el valor de la moda (Mo) y se ha definido como anomalía de primer orden, tres veces el valor de la moda (3 Mo), anomalía de segundo orden seis veces el valor de la moda (6 Mo), anomalía de tercer orden doce veces el valor de la moda (12 Mo) y anomalía de cuarto orden veinticuatro veces el valor de la moda.

Con los rangos establecidos por orden de anomalía para cada elemento, se realizó un filtrado de datos de los análisis químicos por cada orden de anomalía, para así determinar presencia o ausencia de anomalía; si hay presencia de anomalía se hace un conteo para revisar cuantas muestras se encuentran en cada orden de anomalía. Este punto también es de importancia ya que determina si se procesan en el software GS+ para la obtención de mapas geoquímicos.

4.6. Generación de mapas de anomalías geoquímicas

Con los datos geoquímicos ordenados se alimenta al software GS+. Para realizar el análisis variográfico, la estimación geoestadística o *kriging* para cada uno de los elementos químicos, configurándolo con los valores para cada orden de anomalía, mostrando así líneas de isovalores que delimitan el valor de umbral, anomalía de 1er orden hasta la anomalía de 4to según sea el caso.

Capítulo 5

Resultados

En la zona de estudio se ha observado roca caliza de textura mudstone a wackestone según Dunham (1962), con presencia de bandas de pedernal y vetillas de calcita. Como se muestra en la *Figura 5.1* y *Figura 5.2*.



Figura 5.1. Rocas calizas mudstone a wackestone en la cual se observan claramente las bandas de pedernal y la potencia de los estratos.

En las 14 líneas de la malla se ubicaron y marcaron 551 puntos para muestreo. Sin embargo se colectaron 607 muestras quedando de la siguiente manera:



Figura 5.2. Rocas calizas mudstone wackestone en la cual se observan claramente las bandas de pedernal deformadas por los procesos tectónicos.

- 526 muestras de suelo,
- 60 muestras de esquila de roca,
- 9 muestras de zonas de oxidación y
- 10 muestras se obtuvieron en obras mineras antiguas.

En la *Figura 5.3* se muestran los puntos marcados para muestreo de suelos. Y en la *Figura 5.4* se muestran los puntos donde se obtuvieron las muestras de esquila de roca, zonas de oxidación y obras mineras antiguas.

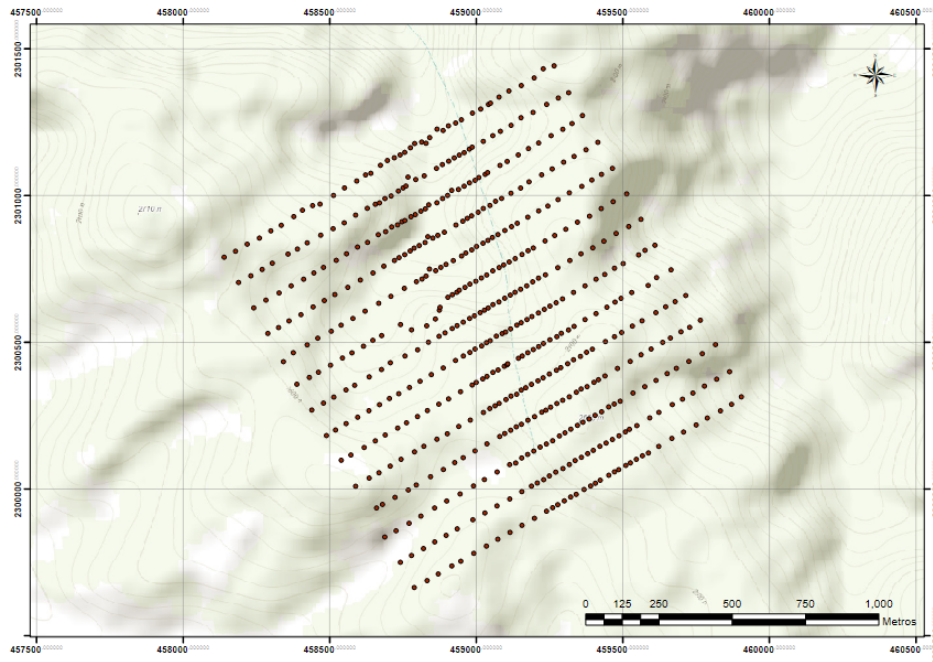


Figura 5.3. Distribución de puntos marcados y ubicados en campo para muestreo de suelo, además de estos puntos también se tienen ubicados los puntos de muestreo de zonas de oxidación y obras mineras antiguas.

De las observaciones de campo reportadas podemos decir de manera general que:

- Las muestras de suelo presentan principalmente tres coloraciones los pardos oscuros, los rojos y los grises claros.
- La granulometría observada en campo es de limo-arcillosa, en algunas ocasiones presencia de material de tamaño de arena fina a media y fragmentos de roca caliza.

De los resultados de los análisis químicos se obtuvieron los parámetros estadísticos para cada elemento. En la *Tabla 5.1* se muestran los valores de media, mediana y moda; así también, los valores correspondientes a las anomalías de primer orden, segundo orden, tercer orden y cuarto orden para Au, Ag, Cu, Pb y Zn. En la *Tabla 5.2* se muestran los mismos parámetros para los elementos Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.

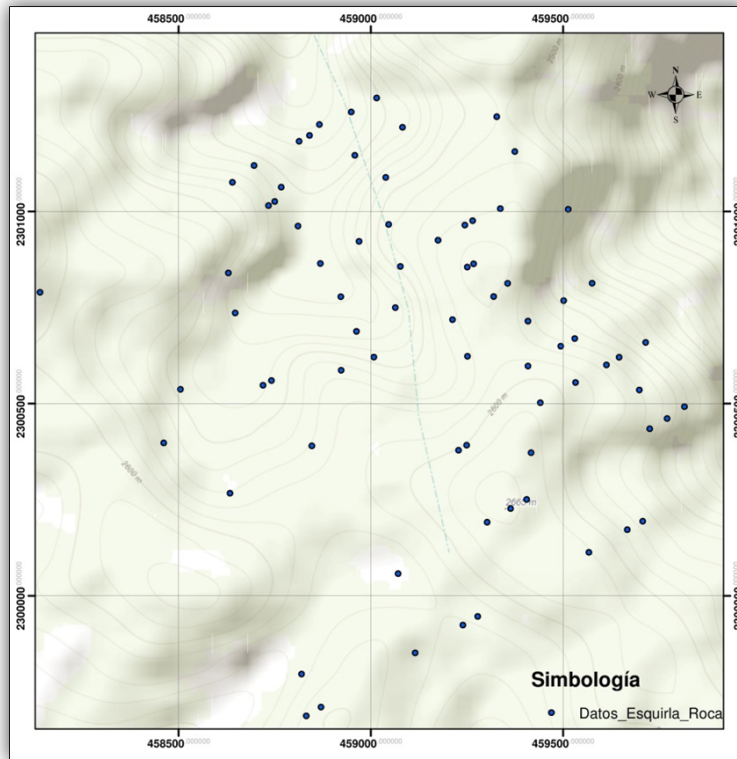


Figura 5.4. Ubicación de los puntos donde se muestreo esqirla de roca, zonas de oxidación y obras mineras antiguas.

Elemento	Media o Promedio	Mediana	Moda (Mo) Umbral	Anomalía de 1er Orden (3Mo)	Anomalía de 2do Orden (6Mo)	Anomalía de 3er Orden (12Mo)	Anomalía de 4to Orden (24Mo)
Ag	8.99828897	3.235	0.56	1.68	3.36	6.72	13.44
Au	0.02551538	0.012	0.002	0.006	0.012	0.024	0.048
Cu	92.4306084	53.05	42.4	127.2	254.4	508.8	1017.6
Pb	1247.62643	335.5	211	633	1266	2532	5064
Zn	771.711027	278	121	363	726	1452	2904

Tabla 5.1. Valores estadísticos, valor de umbral y valores para anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden para Ag, Au, Cu, Pb y Zn.

Elemento	Media o Promedio	Mediana	Moda (Mo) Umbral	Anomalía de 1er Orden (3Mo)	Anomalía de 2do Orden (6Mo)	Anomalía de 3er Orden (12Mo)	Anomalía de 4to Orden (24Mo)
Al	23745.2471	22750	22300	66900	133800	267600	535200
As	245.818426	112	105.5	316.5	633	1266	2532
B	10.6818182	10	10	30	60	120	240
Ba	329.676806	295	230	690	1380	2760	5520
Be	1.3787931	1.31	1.23	3.69	7.38	14.76	29.52
Bi	0.61255238	0.37	0.35	1.05	2.1	4.2	8.4
Ca	20769.8638	7300	1200	3600	7200	14400	28800
Cd	13.9195627	6.23	15.1	45.3	90.6	181.2	362.4
Ce	50.4445627	52.9	47.5	142.5	285	570	1140
Co	14.7758555	14.35	12	36	72	144	288
Cr	28.3935361	26	25	75	150	300	600
Cs	1.94179389	1.535	1.21	3.63	7.26	14.52	29.04
Fe	32676.616	31850	35300	105900	211800	423600	847200
Ga	6.57638783	6.32	3.14	9.42	18.84	37.68	75.36
Ge	0.09934183	0.09	0.09	0.27	0.54	1.08	2.16
Hf	0.22026871	0.2	0.21	0.63	1.26	2.52	5.04
Hg	0.29872624	0.22	0.14	0.42	0.84	1.68	3.36
In	0.05865703	0.059	0.059	0.177	0.354	0.708	1.416
K	797.89675	700	500	1500	3000	6000	12000
La	29.9853612	30.3	29.3	87.9	175.8	351.6	703.2
Li	16.4146388	13.5	13.6	40.8	81.6	163.2	326.4
Mg	2108.93536	1450	800	2400	4800	9600	19200
Mn	2710.0076	1862.5	3460	10380	20760	41520	83040
Mo	12.0055894	9.895	13.8	41.4	82.8	165.6	331.2
Na	105.135952	100	100	300	600	1200	2400
Nb	0.88808795	0.79	0.82	2.46	4.92	9.84	19.68
Ni	66.1461977	57.75	78	234	468	936	1872
P	929.714829	610	350	1050	2100	4200	8400
Rb	19.2673004	18.1	14	42	84	168	336
Re	0.00107874	0.001	0.001	0.003	0.006	0.012	0.024
S	319.444444	200	100	300	600	1200	2400
Sb	80.8902471	31.7	20.1	60.3	120.6	241.2	482.4
Sc	6.50209125	6.35	5.4	16.2	32.4	64.8	129.6
Se	3.02133333	2	2.1	6.3	12.6	25.2	50.4
Sn	3.69904215	1.8	1.3	3.9	7.8	15.6	31.2

Continúa en la página siguiente.

Elemento	Media o Promedio	Mediana	Moda (Mo) Umbral	Anomalía de 1er Orden (3Mo)	Anomalía de 2do Orden (6Mo)	Anomalía de 3er Orden (12Mo)	Anomalía de 4to Orden (24Mo)
Sr	31.9779468	17.3	13.1	39.3	78.6	157.2	314.4
Ta	0.01080519	0.01	0.01	0.03	0.06	0.12	0.24
Te	0.20756654	0.19	0.2	0.6	1.2	2.4	4.8
Th	1.85465116	1.5	0.6	1.8	3.6	7.2	14.4
Ti	207.560976	170	130	390	780	1560	3120
Tl	1.81456274	1.205	1.31	3.93	7.86	15.72	31.44
U	1.33750951	1.155	0.84	2.52	5.04	10.08	20.16
V	208.756654	187.5	185	555	1110	2220	4440
W	1.73074713	0.69	0.69	2.07	4.14	8.28	16.56
Y	36.2311787	35.1	36.5	109.5	219	438	876
Zr	7.14145873	5.8	3.9	11.7	23.4	46.8	93.6

Tabla 5.2. Valores estadísticos, valor de moda o umbral y valores para anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden de Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.

Se hace un comparativo de los valores del análisis químico de cada elemento por si se presentan valores anómalos; y de ser así, se hace un conteo de las muestras presentes en cada orden o rango de anomalía. En la *Tabla 5.3* se muestran los conteos de valores anómalos dentro de cada orden o rango, para los elementos Au, Ag, Cu, Pb y Zn. En la *Tabla 5.4* se muestran conteos para los elementos Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.

Elemento	Anomalía 1er Orden	Anomalía 2do Orden	Anomalía 3er Orden	Anomalía 4to Orden
Ag	95	111	77	70
Au	112	133	80	63
Cu	12	5	6	7
Pb	85	41	10	20
Zn	125	44	18	15

Tabla 5.3. Cantidad de muestras en las que se observan anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden de para los elementos Ag, Au, Cu, Pb y Zn.

Elemento	Anomalía de 1er Orden (3Mo)	Anomalía de 2do Orden (6Mo)	Anomalía de 3er Orden (12Mo)	Anomalía de 4to Orden (24Mo)
Al	1	0	0	0
As	41	12	7	7
B	0	0	0	0
Ba	19	1	0	0
Be	0	0	0	0
Bi	10	3	2	6
Ca	102	99	72	88
Cd	10	8	3	1
Ce	0	0	0	0
Co	4	1	0	0
Cr	9	1	0	0
Cs	33	8	1	0
Fe	2	0	0	0
Ga	85	1	0	0
Ge	4	1	0	0
Hf	11	0	0	0
Hg	72	18	0	2
In	2	0	0	0
K	44	1	0	0
La	4	0	0	0
Li	26	2	0	0
Mg	84	38	8	0
Mn	10	0	0	0
Mo	7	0	0	0
Na	0	0	0	0
Nb	13	0	0	0
Ni	4	0	0	0
P	87	41	7	0
Rb	13	1	0	0
Re	2	0	0	0
S	140	54	4	1
Sb	66	34	11	13
Sc	2	0	0	0
Se	10	2	2	3
Sn	30	12	3	5
Sr	75	19	9	5

Continúa en la página siguiente.

Elemento	Anomalía de 1er Orden (3Mo)	Anomalía de 2do Orden (6Mo)	Anomalía de 3er Orden (12Mo)	Anomalía de 4to Orden (24Mo)
Ta	5	0	0	0
Te	4	3	0	0
Th	156	55	1	0
Ti	50	2	0	0
Tl	15	5	5	1
U	26	6	0	0
V	4	4	1	0
W	15	16	2	12
Y	4	0	0	0
Zr	54	14	0	0

Tabla 5.4. Cantidad de muestras en las que se observan anomalías de 1er, 2do, 3er y 4to orden de para los elementos Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr.

5.1. Mapas de anomalías geoquímicas

Habiendo definido los valores para cada rango de anomalía por elemento, y conociendo los valores mínimo y máximo por elemento, se procede a calcular con software el análisis variográfico y krigging para los elementos Ag, Au, Cu, Pb, Zn, Al, As, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y y Zr. Los elementos B, Be, Ce, y Na no presentan anomalía alguna en los resultados químicos de suelos. A continuación se presentan los mapas de anomalía de los elementos Ag, Au, Cu, Pb y Zn y en el Anexo A los mapas para los elementos As, Bi, Ca, Cd, Cr, Cs, Ga, Hg, K, Li, Mg, P, Re, S, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, y Zr

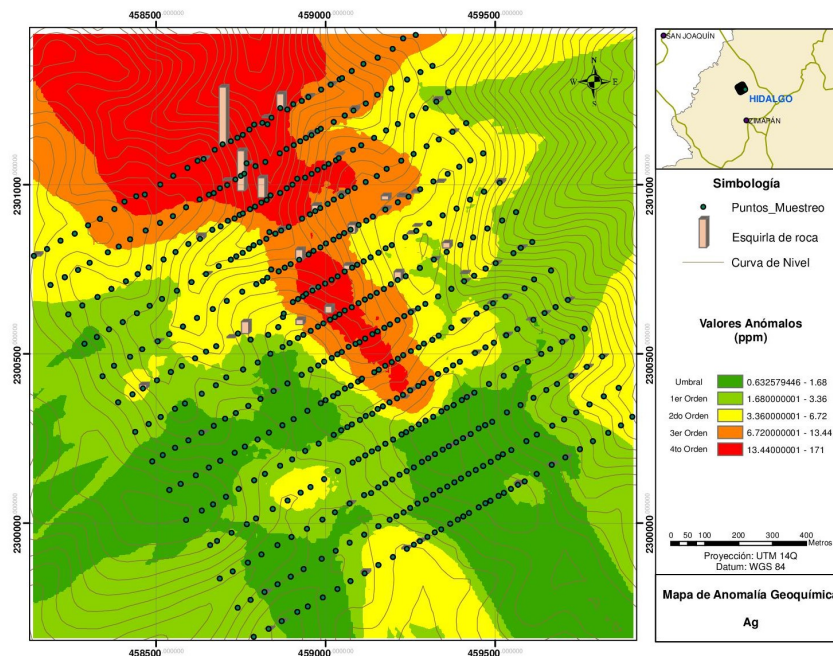


Figura 5.5. Mapa de anomalía geoquímica para Ag.

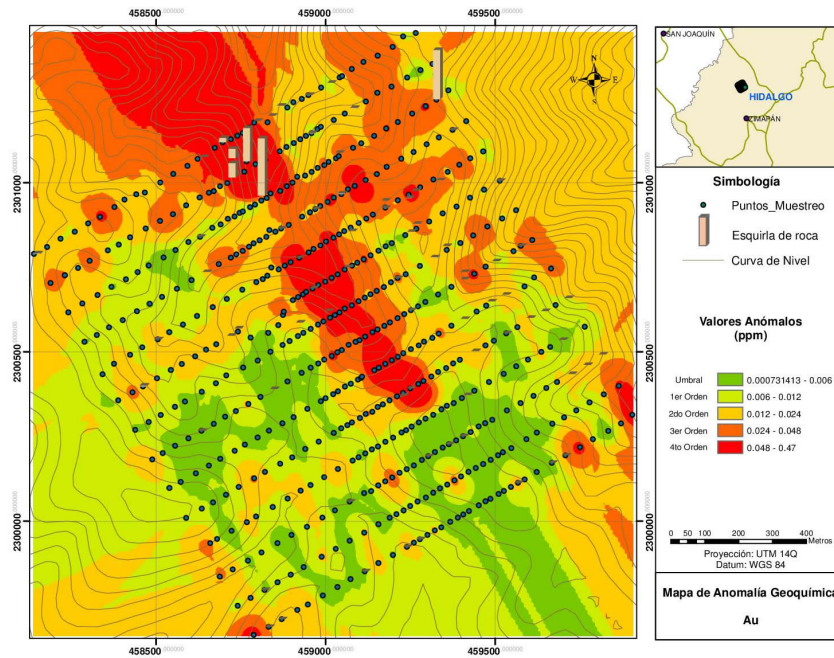


Figura 5.6. Mapa de anomalía geoquímica para Au.

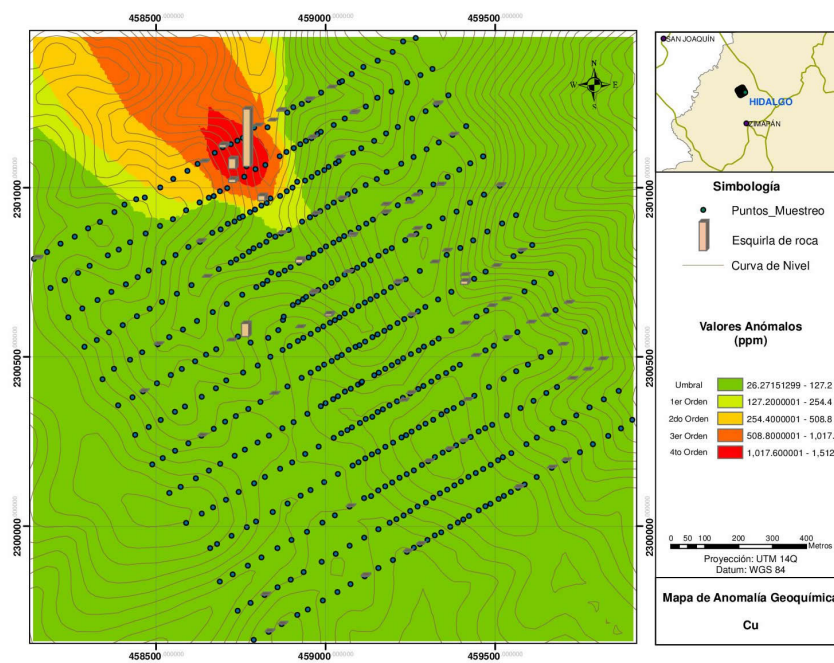


Figura 5.7. Mapa de anomalía geoquímica para Cu.

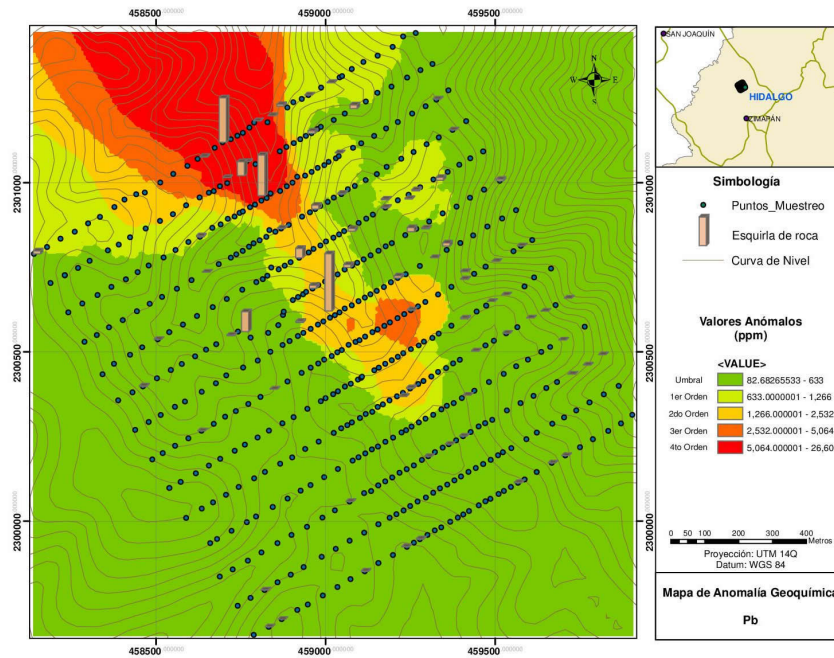


Figura 5.8. Mapa de anomalía geoquímica para Pb.

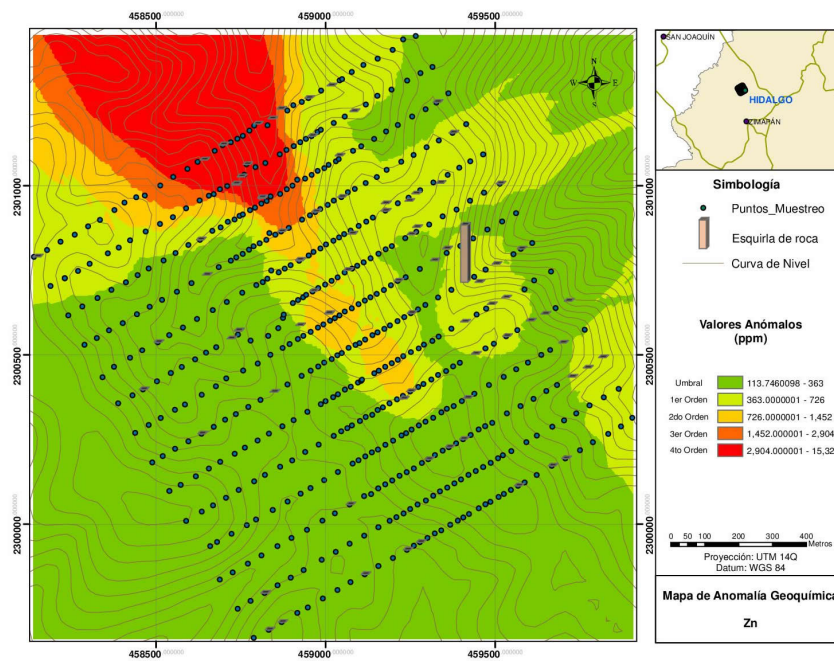


Figura 5.9. Mapa de anomalía geoquímica para Zn.

Capítulo 6

Conclusiones

Mi participación en este proyecto, me ha permitido adquirir conocimientos, técnicas y experiencia para integrarme y trabajar en equipo tanto en campo como en gabinete, lo que me ha permitido aprender y mejorar a través de estos años experiencia profesional. El estar a cargo de personal, toma de decisiones, participar en la planeación, organización, ejecución de proyectos de prospección geológica, me ha hecho crecer tanto personal como profesionalmente entregandome con dedicación para dar solución a los problemas y así al final la satisfacción de haber cumplido con los objetivos del proyecto.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental. La litología presente corresponde a roca caliza de textura mudstone a wackestone según Dunham (1962) con presencia de bandas y nódulos de pedernal.

Dentro de la zona de estudio la coloración que se observa en las muestras de suelo colectadas principalmente es rojo - rojizo, lo cual denota presencia de óxidos de hierro; también muestras de suelo presentan coloraciones pardas esto es por la presencia de hidróxidos de Fe.

Los mapas generados con los datos de las muestras de suelo para los elementos Ag, Au, Cu, Pb, Zn, As, Bi, Ca, Cd, Cr, Cs, Ga, Hg, K, Li, Mg, P, Re, S, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W y Zr muestran claramente una zona con presencia anómala de dichos elementos. Esta anomalía tiene una dirección noroeste – sureste, que se delimita perfectamente en la parte central de la malla, y que concuerdan con los valores que se presentan de las muestras de roca y de obras mineras antiguas; este patrón anómalo tiene la misma dirección que las estructuras geológicas presentes en la región.

Las anomalías de mayor orden o rango se encuentran mayormente ubicadas hacia la parte noroeste, mientras que para el sureste se observan anomalías de orden bajo o sin en su caso sin anomalía.

En algunos mapas se observa que en el renglón X de la malla, en la parte suroeste de la zona, se observa un rasgo lineal con dirección noreste- suroeste que al parecer trunca y desplaza las anomalías.

Estos mapas de anomalía muestran claramente que hacia el noroeste sigue la anomalía, por lo tanto, se debe realizar una nueva campaña de exploración para estudiar la zona aledaña con lo cual se pueda delimitar el cuerpo mineralizado.

También se recomienda realizar un estudio de geofísica para conocer cómo se comporta en profundidad el cuerpo mineralizado y así definir blancos para una perforación. Para después dar seguimiento si los resultados son favorables con la cubicación, estudio de viabilidad y explotación.

Bibliografía

- [1] Alvarez Jr., M. (1961). Provincias Fisiográficas de la República Mexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 24(2), 5-20.

- [2] Carrasco-Velázquez, B., Martínez-Hernández, E., Ramírez-Arriaga, E. (2009). Estratigrafía de la Formación El Morro del Paleoceno- Eoceno en Zimapan, Hidalgo. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 61(3), 403-417.

- [3] Carrillo-Martínez, M. (1981). Contribución al Estudio Geológico del Macizo Calcáreo El Doctor, Querétaro. Revista mexicana de ciencias geológicas, 5(1), 25-29.

- [4] Carrillo-Martínez, M. (1990). Geometría Estructural de la Sierra Madre Oriental entre Peñamiller y Jalpan, Estado de Querétaro. Universidad Nacional Autónoma de México: Centro de Geociencias, 9(1), 62-70.

- [5] Carrillo-Martínez, M., Suter, M. (1982). Tectónica de los alrededores de Zimapan, Hidalgo y Querétaro, En: in Alcayde, Magdalena, y de Cserna, Zoltan, eds., Libro guía de la excursión geológica a la región de Zimapan y áreas circundantes, estados de Hidalgo y Querétaro. Sociedad Geológica Mexicana, Sexta Convención Geológica Nacional, 1-20.

- [6] Carrillo-Martínez, M. (1997). Hoja Zimapan 14Q-E (7) Hoja Zimapan 14Q-E (7), resumen de la geología de la hoja Zimapan, estados de Hidalgo y Querétaro: Carta Geológica de México. México, D.F.

- [7] Davalos-Alvarez, O. G. (2006). Evolución Tectónica Cenozoica en la porción norte de la falla de Oaxaca. Master's degree thesis) Universidad

Nacional Autónoma de México, 132.

- [8] Díaz-Viera, M. A. (2002). *Geoestadística Aplicada*. Notas de curso. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Instituto de Geofísica, UNAM, 144.
- [9] Enos, P., Moore, C. H. (1983). Fore-reef slope environment. in Scholle, P. A., Bebout, D. G., y Moore, C. H., eds., *Carbonate depositional environments*. *Am. Assoc. Petroleum Geologist*, 33, 508-537.
- [10] Goldschmidt, V. M. (1954). *Geochemistry*. Oxford: Clarendon Press, 730.
- [11] Hawkes, H. E., Webb, J. S. (1962). *Geochemistry In Mineral Exploration*. Harper & Row. *Soil Science*, 95(4), 283.
- [12] Heim, A. (1926). Notes on the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental, México). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 20(1), 84-87.
- [13] Hernández-Lerma, O. (1978). *Elementos de Probabilidad y Estadística* (1a ed.). México: Fondo de Cultura Económica.
- [14] Jimenez-Espinosa, R. (2003). Casos Reales de Estudio y Ejemplos de Utilización de Técnicas Estadísticas y Geoestadísticas en Hidrogeología. En J. Mateu, & I. Morell, *Geoestadística y Modelos Matemáticos en Hidrogeología* (págs. 33-111). Castelló de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [15] Levinson, A. A. (1974). *Introduction to Exploration Geochemistry*. Calgary: Applied Publishing Ltd.
- [16] Mason, B. (1966). *Principles of Geochemistry*. Washington D.C.: Wiley International Edition.
- [17] Muir, M. J. (1936). Geology of the Tampico Region México. *The American Association of petroleum Geologists Bulletin*, 20(11), 1-280.

- [18] Munsell. (1991). Munsell soil colour charts. *Geoderma*, 48(199), 199.
- [19] Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar , L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D., Alaniz-Álvarez , S. A., Nieto-Samaniego, A. F. (1992). Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la Republica Mexicana esc. 1:2,000,000. Mexico.
- [20] Segerstrom, K. (1961). Geología del suroeste del estado de Hidalgo y del noroeste del Estado de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 13(3-4), 147-168.
- [21] Siegel, F. R. (1992). *Geoquímica Aplicada*. Washington D.C.: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- [22] Villaseñor-Cabral, M. G., Gómez-Caballero, J. A., Condliffe, E., Medina de la Paz, J. L. (2000). Origen de la zonación en granates de la chimenea Las Ánimas, Zimapán, Hidalgo, México. *Geos*, 20(2), 89-97.

Apéndice A

Mapas de anomalía

..

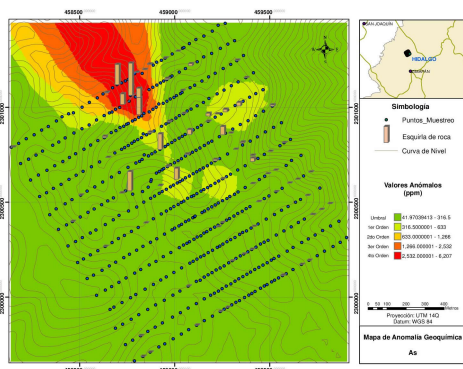


Figura A.1. Mapa de anomalía geoquímica para As.

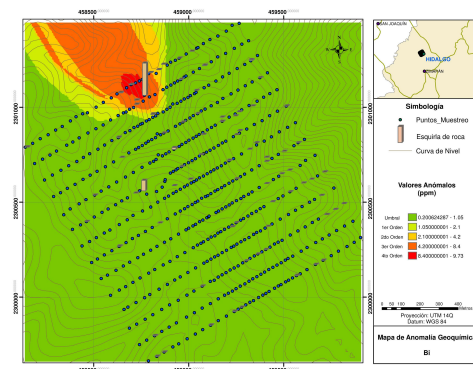


Figura A.2. Mapa de anomalía geoquímica para Bi.

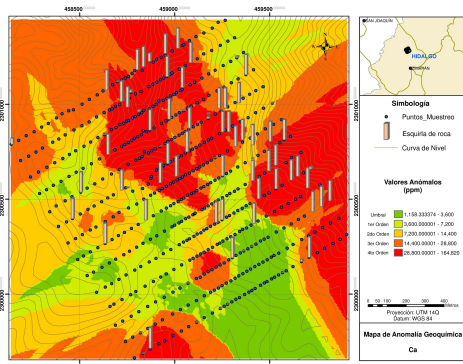


Figura A.3. Mapa de anomalía geoquímica para Ca.

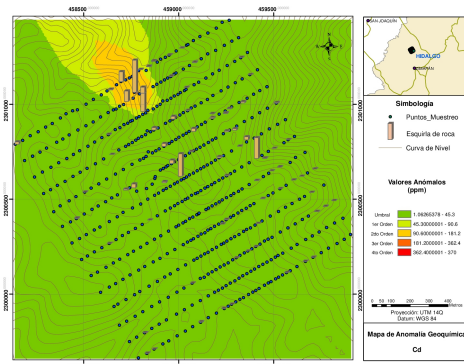


Figura A.4. Mapa de anomalía geoquímica para Cd.

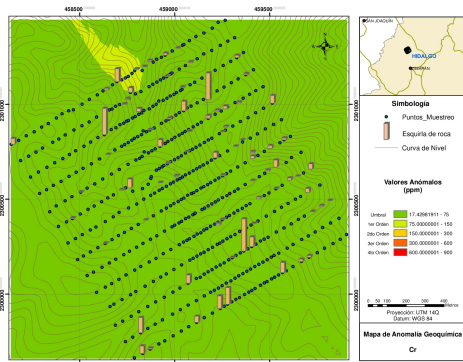


Figura A.5. Mapa de anomalía geoquímica para Cr.

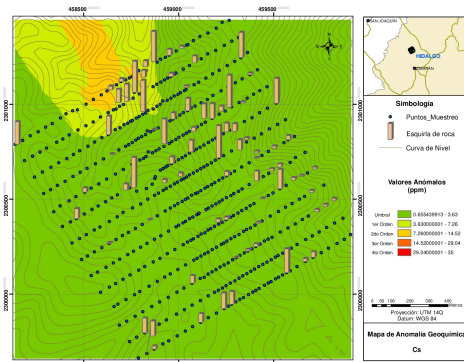


Figura A.6. Mapa de anomalía geoquímica para Cs.

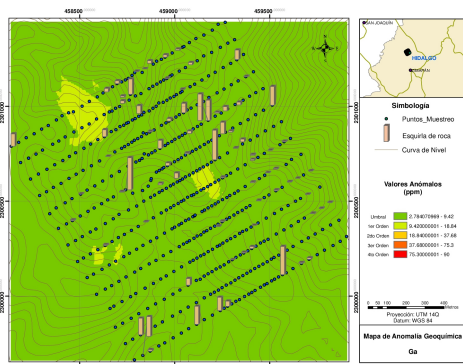


Figura A.7. Mapa de anomalía geoquímica para Ga.

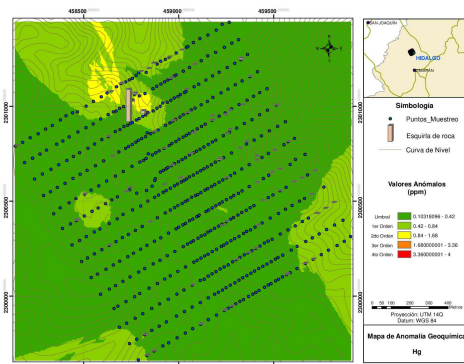


Figura A.8. Mapa de anomalía geoquímica para Hg.

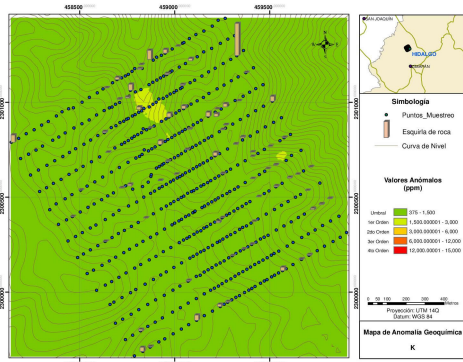


Figura A.9. Mapa de anomalía geoquímica para K.

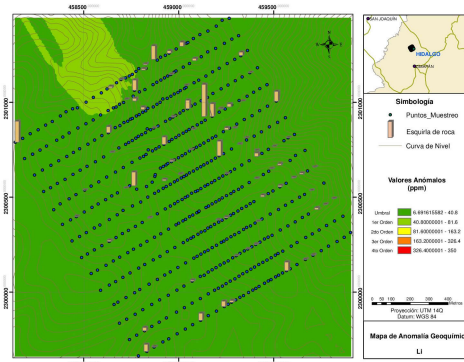


Figura A.10. Mapa de anomalía geoquímica para Li.

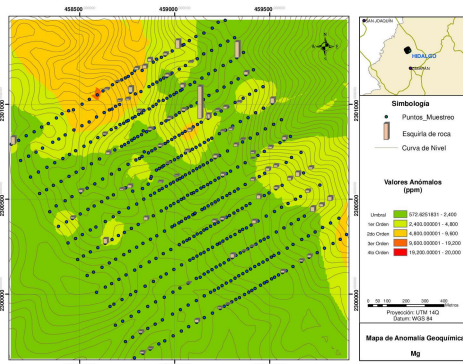


Figura A.11. Mapa de anomalía geoquímica para Mg.

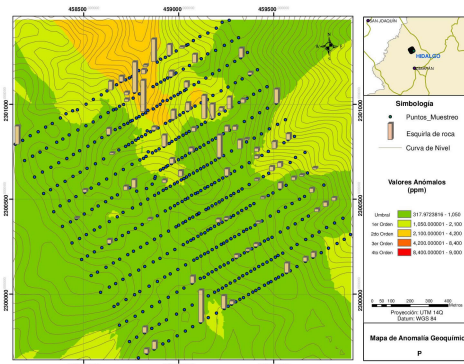


Figura A.12. Mapa de anomalía geoquímica para P.

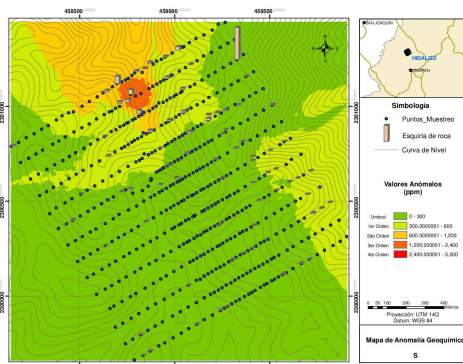


Figura A.13. Mapa de anomalía geoquímica para S.

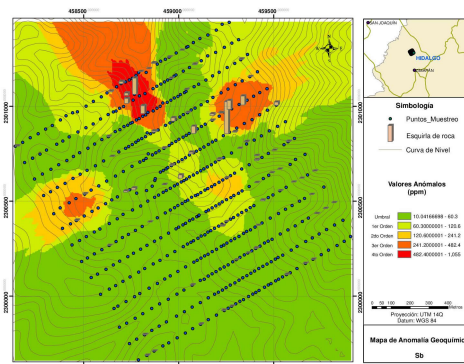


Figura A.14. Mapa de anomalía geoquímica para Sb.

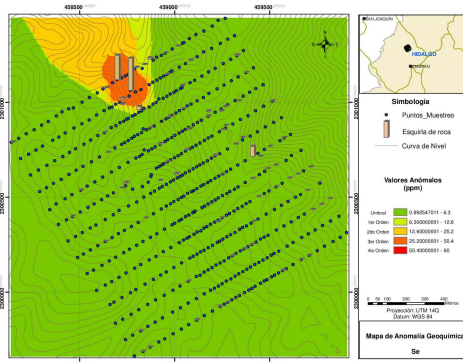


Figura A.15. Mapa de anomalía geoquímica para Se.

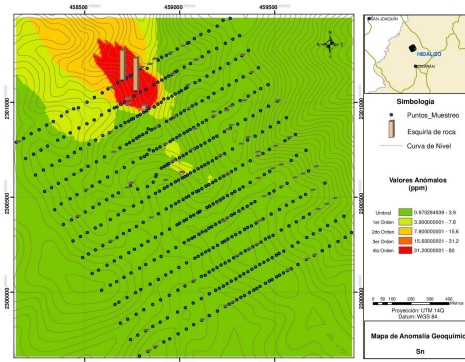


Figura A.16. Mapa de anomalía geoquímica para Sn.

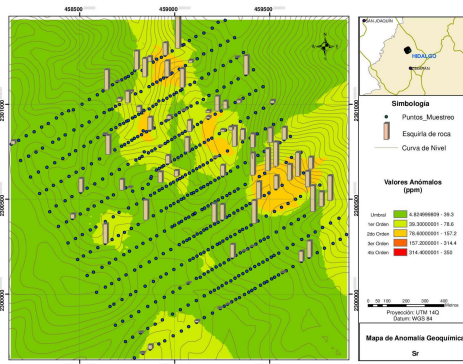


Figura A.17. Mapa de anomalía geoquímica para Sr.

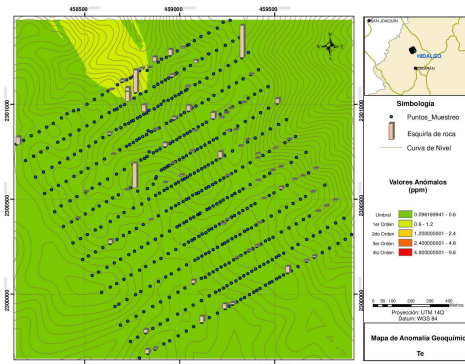


Figura A.18. Mapa de anomalía geoquímica para Te.

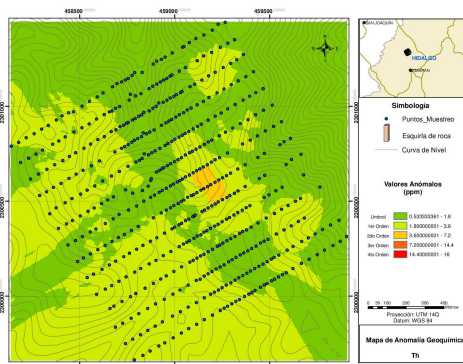


Figura A.19. Mapa de anomalía geoquímica para Th.

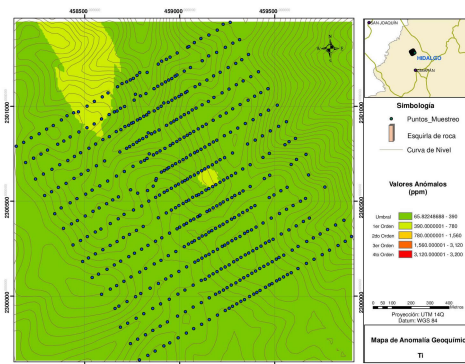


Figura A.20. Mapa de anomalía geoquímica para Ti.

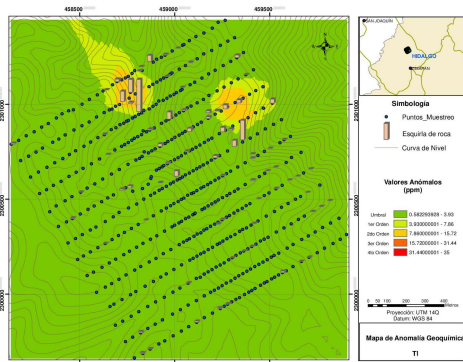


Figura A.21. Mapa de anomalía geoquímica para Tl.

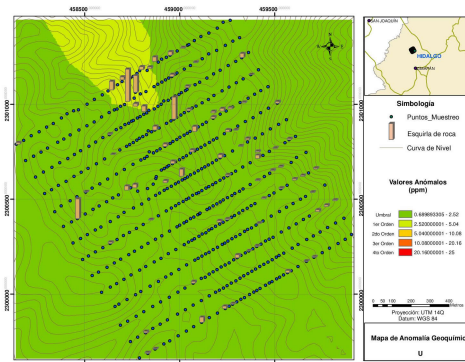


Figura A.22. Mapa de anomalía geoquímica para U.

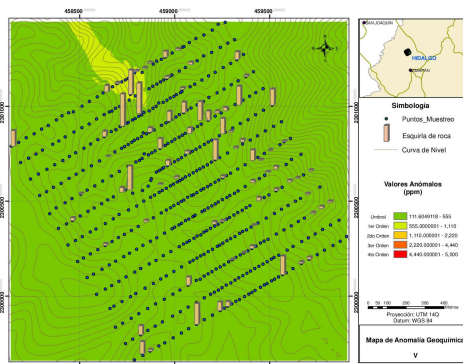


Figura A.23. Mapa de anomalía geoquímica para V.

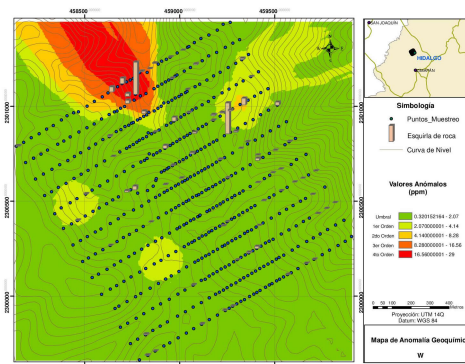


Figura A.24. Mapa de anomalía geoquímica para W.

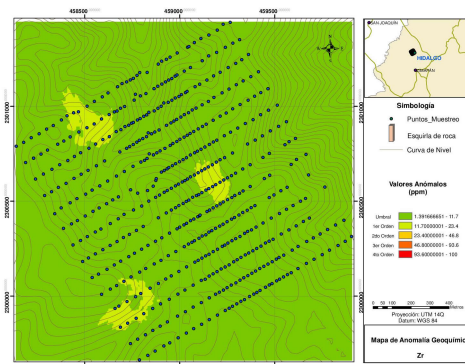


Figura A.25. Mapa de anomalía geoquímica para Zr.