

“Elementos Químicos traza como Indicadores Geoquímicos en Veta Madre, Distrito Minero Guanajuato.”

Federico Vogel González¹., Juan José Martínez Reyes¹., Diana Laura Mogica Hernández¹, José Juan Vázquez Olvera¹, Rodrigo Morán Vázquez¹, Alan Fernando Márquez Barrera¹.
fvogel@ugto.mx ¹. Universidad de Guanajuato.

RESUMEN

Mediante el estudio de la geoquímica realizado en tres zonas de Veta Madre del Distrito Guanajuato, con un análisis de 379 muestras por los elementos As, Cu, Hg y Sb y un análisis multielemental de 51 elementos a partir de 39 muestras, todas tomadas a lo largo de la estructura principal, se espera con el trabajo contribuir con nuevos datos geoquímicos, mineralógicos y de asociación mineral en Veta Madre, mediante los estudios geoquímicos de elementos traza que se pueden considerar como indicadores de mineralización. La mineralización en el distrito y las características de esta se ha estudiado extensamente, a tal grado que se generó un modelo de mineralización (Modelo Cuarzo-Adularia) para el distrito, típico de un depósito epitermal de baja sulfuración.

Se realizaron dos análisis geoquímicos VM zona norte (Cebada), VM zona sur (Torres) por A.A. analizando cuatro elementos: As, Cu, Hg y Sb tablas 5-6 respectivamente; el tercer análisis fue multielemental VM sur por ICP (51 elementos) de los cuales se consideraron para el análisis diez elementos (Au, Ag, As, Cd, Cu, Hg, K, Sb, Se, Zn) contando los elementos blanco (Au, Ag).

Los estudios geoquímicos y análisis mostraron similitud en los límites de Threshold para el As en las tres áreas con 60, 45, 48 ppm; el Cu 48, 7, 10.5 ppm, muy similar en la zona sur; Hg 62, 150, 1.5 ppm, quedó muy bajo en la parte de VM sur; el Sb 4.5, 5, 11 ppm, coincidiendo en la parte de VM norte y VM sur. En lo que respecta a las asociaciones (Análisis multielemental, Tabla 7), se muestra una relación Cu-As y Sb-Hg; también es muy característica la asociación Au-Ag-Cu-Hg-Se, y de igual forma la relación Cd-Zn.

***Palabras clave:** Distrito Minero de Guanajuato, Elementos Indicadores, Indicadores Geoquímicos, Veta Madre, Yacimientos Epitermales.

Introducción

Los inicios de las extracciones del Distrito Minero de Guanajuato (DMG) data desde hace varios siglos, de acuerdo con lo expuesto por (Antúnez Echagaray, 1964) en el año de 1548 se descubre en lo que hoy es el Poblado de La Luz, cercana al cerro del Cubilete, las primeras mineralizaciones de plata y pocos años después para 1550 es descubierto en Guanajuato un importante afloramiento de mineral, que en la actualidad se conoce como Veta Madre y sobre el que se construyó la mina, conocida como “Mina de Rayas”, una de las principales minas que conjuntamente con “Mina la Valenciana”, llegaron a ser las mayores minas productoras de oro-plata a nivel mundial.

Llegó a ser tan grande la producción de metales preciosos que se generaron a partir de estas minas que oficialmente en el año de 1554 se funda por el Sr. Lic. Antonio de Lara y Mogrovejo, Oidor de la Real Audiencia de México, el Real de Santa Fe de las Minas de Guanajuato, quien recibió para ello expresa comisión del Gobierno Virreinal, constituyéndose desde entonces el actual Estado de Guanajuato.

La ciudad de Guanajuato, está situada casi en el centro del distrito minero, ubicada en un angosto valle donde fluyen los arroyos de El Tepozan, El Monte y San Renovato. Las coordenadas geográficas de la ciudad de Guanajuato, en la torre del Templo de la Compañía son 21° 01' 01" de latitud Norte y 101 ° 15' 20" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich.

Dentro del distrito minero se cuenta con un aeropuerto en la carretera Silao-Irapuato para aviones ligeros y comerciales; está comunicado por vía férrea México-Ciudad Juárez-Chihuahua, por medio del ramal Guanajuato-Silao; teniendo también en la población de Silao un Puerto Interior con varios tipos de industrias.

El distrito de Guanajuato, es uno de los principales distritos mineros de la República en producción de metales preciosos, de acuerdo con datos del INEGI (1995a, 2002b, 2021c) de una participación del (34%) respecto a la producción nacional de oro en 1989, se vio disminuida en el 2004 (4.8%) y a (2.88%) en el 2020, similar descenso se notó con respecto a la plata; estos cambios en la producción se han debido a algunos cierres de empresas mineras en el Estado. Sin embargo a pesar de esos altibajos a lo largo de varios períodos, se ha visto que con nuevas exploraciones geológicas se han encontrado nuevas áreas de mineralización.

Tradicionalmente la mineralización en el distrito ha sido en estructuras vetiformes con leyes altas (valores elevados de Au-Ag) denominadas bonanzas o conocidas localmente como clavos minerales, sin embargo en los '70 se encontraron mineralizaciones en vetillas angostas denominadas (stockworks) al alto de las vetas principales con valores bajos, pero con grandes volúmenes.

Con las áreas de propagación de las formaciones volcánicas y sistemas hidrotermales (Cunningham et al., 1991; Halsor et al., 1988; Nelson, 2000; Volfson y Yákovlev 1982), se han relacionado numerosos tipos de yacimientos metálicos (Au, Au-Ag, U, Sn y otros); haciendo énfasis en este artículo únicamente en aquellas mineralizaciones relaciones con metales preciosos (Au-Ag).

El trabajo se enfoca en la parte centro del DMG, dentro del cual se encuentran las principales estructuras mineralizadas, mostrando algunos de los resultados geoquímicos realizados a lo largo del principal sistema conocido como Veta Madre, sobre el extremo norte y sur de la estructura.

Objetivos

El principal objetivo del trabajo es contribuir, con nuevos datos geoquímicos, mineralógicos y de asociación mineral en Veta Madre, mediante los estudios geoquímicos de elementos traza que se pueden considerar como indicadores de mineralización. Para ello se plantearon los siguientes puntos de interés.

- Parámetros para selección de elementos geoquímicos
- Selección de elementos indicadores
- Re-planteamiento del modelo de exploración geoquímica
- Tratamiento Geoquímico de Muestras y elementos indicadores.

Material y Metodología de Estudio

Se efectuó un trabajo de gabinete en el cual se realizó una recopilación bibliográfica referida al tema y se investigaron los antecedentes del área de estudio.

El muestreo realizado se efectuó sobre roca (litogeoquímica), tomando esquirlas de rocas con tamaños no mayor a dos pulgadas, en todas las muestras se obtuvo un kilo de muestra, que se entregó a los laboratorios particulares de **Als Minerals** para el tratamiento de la muestra y análisis. El Muestreo de la zona norte (Cebada) y de la zona sur (Torres), se realizó con el método de Absorción Atómica (AA) y fueron analizados para la zona norte (203 muestras) y para la zona sur (176 muestras), cada una por cuatro elementos traza: As, Cu, Sb y Hg; para la parte sur (VM sur) se analizaron (39 muestras) cada una de las muestras por el método de nivel ultra traza con ICP (ME-MS41) analizando 51 elementos.

Fueron considerados también estudios sobre yacimientos epitermales e investigaciones previas realizadas por diversos autores sobre depósitos minerales similares a los de Tipo Guanajuato, para la selección de los elementos indicadores.

Dentro de los modelos de exploración considerados para las asociaciones geoquímicas se consideró la investigación realizada por White y Hedenquist (1995), para yacimientos epitermales de baja sulfuración (LS) y el estudio realizado por Robert, Poulsen y Dube (1997).

Para el tratamiento de datos, en un posterior trabajo de gabinete, se les realizó un tratamiento geoquímico partiendo de la estadística convencional mediante el software libre de "Análisis de Datos de Excel", con el software fueron analizados dos grupos de elementos y se compararon para cotejar los resultados:

Grupo 1.- Análisis de elementos individuales (As, Sb, Hg, Cu) a partir de líneas de muestreo separada 100 metros cada una y muestreo cada 25 metros, de manera perpendicular a la estructura, extremo norte (Cebada), analizando 203 muestras en siete líneas y la parte sur (Torres), cinco líneas de muestreo analizando 176 muestras.

Grupo 2.- Análisis multielemental (51 elementos) extremo sur de Veta Madre. El muestreo sobre esta zona se realizó a lo largo de la traza de la estructura, con separaciones entre muestras de 25 metros.

Antecedentes y Contexto Geológico del Área de Estudio

El Distrito Minero de Guanajuato (DMG) está situado en la porción central del Estado de Guanajuato que forma parte de la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central de México. Este Distrito cuenta con una diversidad considerable de relieve, ya que las cimas de las montañas de las sierras cuya orientación es hacia el noroeste, la Sierra de Guanajuato y la Sierra Gorda, se elevan de 600 a 1,200 metros sobre el nivel promedio de las cuencas que encierran éstas sierras.

El distrito Minero de Guanajuato, el cual tiene en el centro a la capital del Estado, se enlaza con la carretera de la Constitución por medio de las rutas a Dolores Hidalgo y San Felipe, o bien Dolores Hidalgo-San Luis de la Paz. Asimismo se encuentra unido a la carretera número 45 por las rutas a Silao e Irapuato, Guanajuato. También se une con la carretera Panamericana a la altura de Celaya por la ruta Juventino Rosas-Celaya Guanajuato.

La Sierra de Guanajuato, estructuralmente conforma un pliegue largo, de forma anticlinal fallado en bloque, en el cual se encuentran los depósitos minerales de este distrito, presenta una orientación NW-SE a través de la parte central del Estado (Figura 1).

En la parte inferior se muestra la relación que presenta la Sierra de Guanajuato que constituye una subprovincia de la Mesa Central, nótese también la tendencia en orientación (NW) de la misma. Este control estructural y la dirección predominante de la Sierra de Guanajuato, la reflejan también las principales estructuras vetiformes.

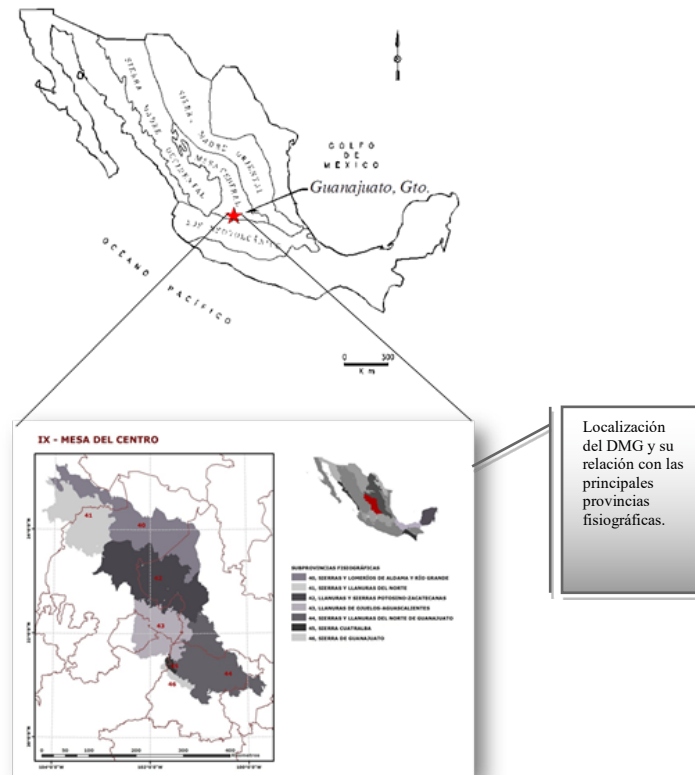


Figura 1.- Localización del Distrito Minero Guanajuato (DMG).

Resultados

Mineralización

El ambiente geológico en el Distrito Minero de Guanajuato está representado por rocas de edad Mesozoica que constituyen la parte basal, se conforma por dos unidades litológicas, Formación La Luz que contiene derrames de lavas basálticas a basalto andesíticas, lavas almohadilladas características de pisos oceánico y un complejo de diques y rocas intrusivas; la otra unidad Formación Esperanza se constituye por pizarras de color gris a café y por pizarras carbonosas. Sobreyaciendo las unidades del basamento, se presenta una secuencia sedimentaria continental de color rojo Edwards (1956), con areniscas bien estratificadas de color rojo oscuro con alternancias de capas delgadas de conglomerado rojo con alternancia de bancos gruesos de conglomerado, le asigna una edad del Oligoceno y se le define como Formación Guanajuato por presentar afloramientos tipo cercanos y en los alrededores de la Ciudad.

Sobreyaciendo estas unidades se presenta la secuencia volcánica calcoalcalina, que marca el inicio del vulcanismo Eoceno tardío-Oligoceno y se extiende en la parte norte, sur y oriente del distrito, esta secuencia está compuesta de diversos materiales iniciando con piroclásticos finos de ceniza y tobas líticas de la Formación Loseros, para continuar con derrames de carácter riolítico de la Formación Bufo; sobreyaciendo la unidad se presentan derrames y piroclastos de andesitas de la Formación Calderones de tonalidad verde claro; sobre esta unidad se encuentran lavas y tobas finas de carácter andesítico de la Formación Cedros; sobreyaciendo la unidad descansan rocas piroclásticas, lavas, y rocas subvolcánicas de la Formación Chichindaro.

La mineralización en el DMG, se localiza en una serie de estructuras de forma tabular alargadas denominadas vetas, estas se encuentran rellenas con mineralización económica auroargentífera y otros minerales sin valor denominados minerales de ganga compuesto principalmente por cuarzo y calcita o su combinación. La mineralización se presenta principalmente en vetas, se han definido tres principales sistemas de vetas (Figura 2), El principal sistema ha sido del de Veta Madre, y está representado por estructuras tabulares bien definidas, con texturas bandeadas y de tipo peine, con fuertes zonas de alteración sericitica y ocasionalmente potásica.

Una de las características principales que presenta Veta Madre (VM) es la de contener zonas de stockworks tanto al alto como al bajo de la misma; se presentan encajonados en el conglomerado de la Formación Guanajuato y Formación Bufo. El stockwork (Antúnez, 1964; Buchanan, 1980), está compuesto de una serie de vetas y vetillas en forma enrejada con mineralización auroargentífera dentro de las estructuras y en forma diseminada en la roca de caja, formando cuerpos mineralizados con dimensiones de 70 metros de largo por 50 metros de ancho, hasta de 120 por 80 metros.

El distrito Guanajuato desde hace varios años se ha dividido tradicionalmente en tres zonas, las cuales también muestran diferencias mineralógicas, estructurales y de emplazamiento:

- La parte central o en la que se emplaza Veta Madre, presenta en su mayoría afloramientos de rocas sedimentarias y las minas antiguas de Rayas, Valenciana, Cata y Sirena.
- Vetas de La Luz, que se localizan en la parte oeste y se presentan emplazadas en rocas metasedimentarias y rocas plutónicas, se encuentran al alto de Veta Madre.
- Vetas de La Sierra, se sitúan al noreste del distrito, al bajo de Veta Madre emplazadas en rocas volcánicas y sedimentarias.

Los minerales de mena principales se muestran a continuación:

Tabla 1.-

Asociaciones minerales de mena en Veta Madre (VM).

<i>Tipo de Anomalía</i>	<i>Elementos Asociados</i>
VM sur	Argentita (Ag_2S)-acantita, polibasita ($\text{Ag}_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$), naumanita (Ag_2Se), electrum (Au-Ag), calcopirita (CuFeS_2), oro, galena.
VM Centro	Argentita-acantita, galena (PbS), esfalerita (ZnS), calcopirita (CuFeS_2), oro.
VM Norte	Argentita, polibasita, plata nativa, platas rojas: pirargirita: (Ag_3SbS_3), proustita (Ag_3AsS_3), oro.

En la parte inferior (Figura 2), se muestran las unidades geológicas y la posición de los tres sistemas de vetas principales en el distrito, son varias las unidades mineras que se localizan sobre estas estructuras, siendo VM el sistema principal en lo que se refiere a la morfología, mayores zonas (clavos) minerales, longitud de la mineralización, los mayores volúmenes de producción mineral.

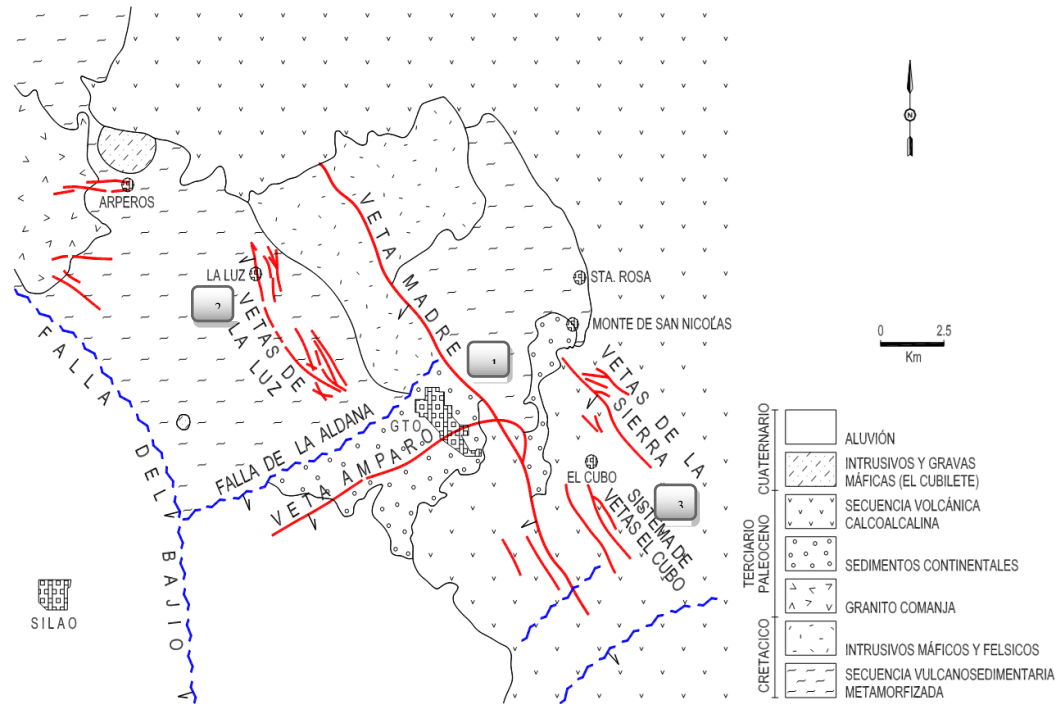


Figura 2.- Geología del Distrito Guanajuato mostrando los principales sistemas de vetas. 1) Veta Madre, el más importante; 2) Sistema de Vetos de la Luz; 3) Sistema de Vetos de la Sierra- Sistema de Vetos del Cubo.

Características Mineralógicas, Estructurales y Geoquímicas

La mineralización en el distrito y las características de esta de acuerdo con Buchanan (1980) en la parte sur y centro del sistema de Veta Madre se ha estudiado muy extensamente a tal grado que se generó un modelo de mineralización (Modelo Cuarzo-Adularia) para el distrito, típico de un depósito epitermal, en el cual se definen temperaturas de formación, salinidad, controles geoquímicos, alteraciones, minerales de mena, ganga y otros parámetros que caracterizan un modelo de mineralización. Este modelo establecido por Buchanan relaciona la mineralización económica con vetas y stockworks, con minerales de ganga de cuarzo y calcita; de igual modo Antúnez (1964) considera que los depósitos de minerales de carácter económico del distrito se presentan en dos tipos de depósitos: vetas bien definidas y stockworks.

Tabla 2.-
Sistemas de vetas principales del distrito Guanajuato.

Sistema de Vetos	Direcciones Principales	Echados
Sistema de Veta Madre Norte	N40-55°W	50-70 SW
Sistema de Veta Madre Sur	N20-40°W	45-75 SW

La mineralización en el distrito y principalmente sobre Veta Madre, se ha caracterizado por asociaciones ricas en Ag-Au, otra característica de los principales sistemas de vetas es su tendencia (Tabla 2) al NW, asociada a la tendencia morfoestructural que presentan los sistemas de vetas con la Mesa del Centro (Figuras 1, 2, 3).

En la figura 3, se presentan las zonas de ubicación de los estudios geoquímicos: a. zona norte (cebada); b. zona sur (Torres) y Veta Madre sur.

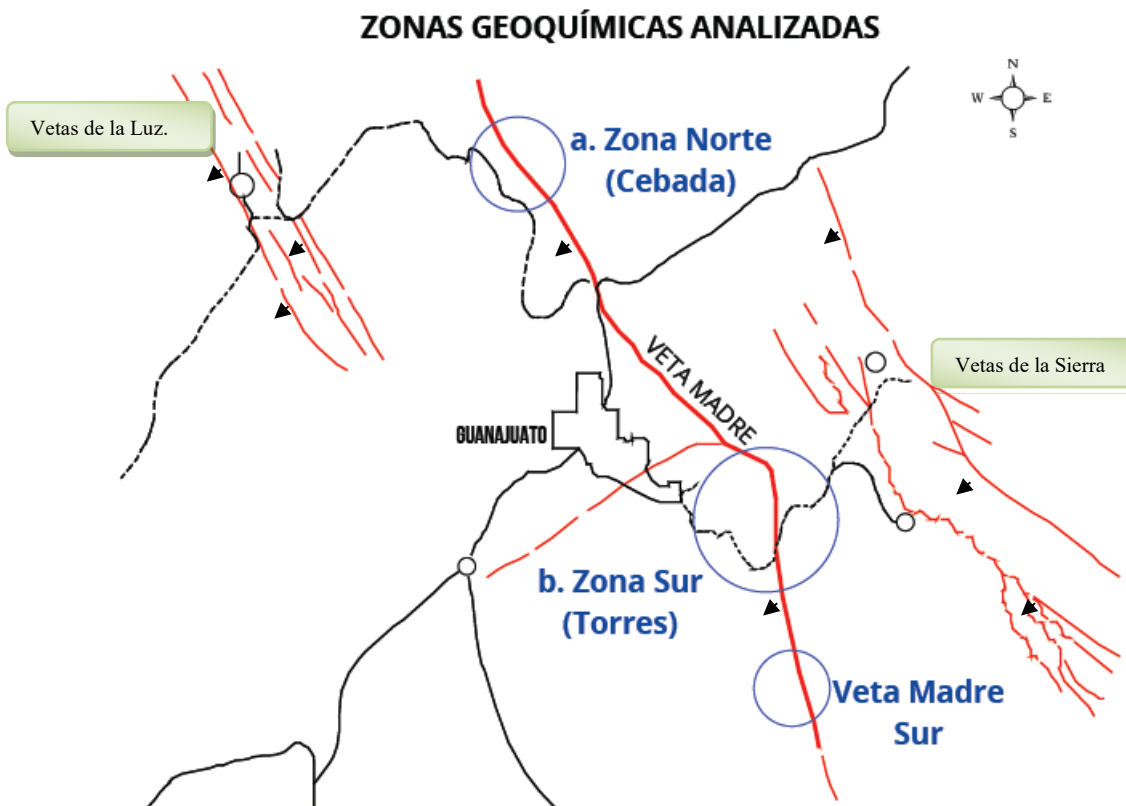


Figura 3.- Área de estudio y distribución de las zonas de análisis geoquímico a lo largo de Veta Madre. Se analizaron tres zonas a lo largo de Veta Madre (VM), cubriendo la parte norte y sur.

Fundamentos Teóricos Geoquímicos

Los estudios de exploración geoquímica han observado un gran avance en cuanto al entendimiento de los procesos que generan anomalías geoquímicas superficiales en zonas de depósitos minerales cubiertos y en las técnicas que permiten detectar estos patrones, ampliando el conjunto de herramientas a ser utilizadas en los programas de exploración que se trabajaron para generar la información del estudio. Los elementos indicadores y asociaciones mineralógicas se muestran resumidos en las siguientes tablas.

Uno de los modelos referente a la asociación geoquímica de elementos (White y Hedenquist, 1995), que se propone para un yacimiento epitermal de baja sulfuración (LS) presenta los siguientes elementos que han mostrado anomalías (Tabla 3).

Tabla 3.-

Asociación geoquímica de elementos (Fuente: White-Hedenquist).

<i>Tipo de Anomalía</i>	<i>Elementos Asociados</i>
Anomalía Alta	Au, As, Sb, Hg, Zn, Pb, Se, K, Ag/Au
Anomalía Baja	Cu, Te/Se

De igual forma, otro modelo de asociación geoquímica de elementos y la relación Au:Ag que guarda la mineralización se presenta de acuerdo con Henley, 1991.

Tabla 4.-

Asociación geoquímica de elementos y relación Au:Ag. (Fuente: Henley).

<i>Tipo de Anomalía</i>	<i>Elementos Asociados</i>
Anomalía	Au, Ag, As, Sb, Hg, ($\pm$) Zn, Pb, Te.
Relación Au:Ag.	1:10 – 1:25. Leyes de 2-70 g/t Au.
Combinación de elementos	Cu-Pb-Zn., As, Sb, Hg., Bi, Te, W.

Dentro de los parámetros que se consideraron para seleccionar los elementos indicadores se consideraron:

- Selección de elementos indicadores a partir de modelos geoquímicos previos (Tabla 3-4).
- Asociación mineralógica con elementos indicadores. Minerales de Au, asociados a seleniuros y telururos.
- Afinidad química de acuerdo a su posición en la tabla periódica de elementos. Elementos asociados en grupos con los elementos blanco (Au-Ag), elementos en los grupos IB, IIB de la Tabla Periódica de elementos químicos.
- Elementos semivolátiles (As, Se, Sb, Te) que pudieran asociarse.
- Semejanzas químicas entre las familias de cada grupo, reacciones parecidas.

Resumen de Resultados Geoquímicos de Zona Norte (Cebada)

En la parte inferior se aprecian los resultados de la geoquímica por los elementos: Cu, As, Sb y Hg.

Tabla 5.-

Anomalías de Elementos indicadores y resultados geoquímicos VM zona norte (Cebada).

Resultados de anomalías de los elementos (área Cebada)								
	Cu		As		Sb		Hg	
Valor-Anomalía	>47.81 ppm		>59.15 ppm		>4.32 ppm		>61.88 ppm	
	M. Anómalas	Valores-A	M. Anómalas	Valores-A	M. Anómalas	Valores-A	M. Anómalas	Valores-A
	35905	57	35913	221	35911	6	21422	75
	35908	50	35923	78	35912	6	21423	78
	35913	161	35972	71	35913	12	21424	149
	35917	49	21423	201	35914	12	21443	85
	35922	103	21424	312	35917	7	21444	161
	35935	49	21426	263	35936	6	21445	68
	35953	86	21456	75	35941	5	21447	63
	35954	57	21488	197	35942	15	21456	194
	35958	48	21489	94	35946	7	21461	68
	35972	57	21497	161	35964	6	21463	63
	35985	247	21498	94	35968	5	21468	63
	35988	115			35972	9	21469	63
	35995	243			35988	8	21470	68
	35996	189			35992	11	21474	96
	35999	51			21423	6	21475	327
					21456	5	21479	80
					21474	8	21485	134
					21489	7	21488	85
							21489	85
							21491	63
							21494	68
							21702	91
	Nota:	M:	Muestra	A:	Anomalia			

En la parte inferior se aprecian los resultados de la geoquímica por los elementos: Cu, As, Sb y Hg.

Tabla 5a.-

Anomalías de Elementos indicadores. VM zona norte.

Elemento	Anomalia
As	> 60ppm
Cu	> 48ppm
Hg	> 62 ppm
Sb	> 4.5 ppm

Resumen de Resultados Geoquímicos de Zona Sur (Area Torres).

En la parte inferior se aprecian los resultados de la geoquímica por los elementos: Cu, As, Sb y Hg.

Tabla 6.-

Anomalías Elementos indicadores y resultados geoquímicos VM zona sur (Torres).

Resultados de Anomalías de los Elementos sobre Veta Madre Sur (Torres)											
	Cu			As			Sb			Hg	
Valor	Anomalía >6.94 ppm			Anomalía >44.58 ppm			Anomalía >4.76 ppm			Anomalía >149.91 ppm	
	No. Muestra	Valores		No. Muestra	Valores		No. Muestra	Valores		No. Muestra	Valores
	31719	16		22223	62		22201	9		22200	371
	31718	10		21887	96		22203	29		22201	206
	31717	12		21890	55		22204	19		22213	151
	31716	12		21891	76		22212	6		22224	783
	31715	11		21897	58		22225	4.9		21852	161
	31714	15		21899	107		22227	5.7		21866	304
	31713	17		31706	302		22228	4.9		21813	163
	31712	12		31705	70		21853	11			
	31706	29		31736	61		21869	11			
	31705	34		31737	45		21879	5			
	31704	33		31738	51		21880	6			
	31731	12					21883	5			
	31732	12					21885	5			
	31733	7					31736	6			
	31736	12									

Tabla 6a.-

Anomalías de Elementos indicadores. VM zona sur (Torres)

Elemento	Anomalía
As	> 45ppm
Cu	> 7ppm
Hg	> 150 ppm
Sb	> 5 ppm

Resumen de Resultados Geoquímicos de a Zona Sur (Veta Madre Sur)

En la parte inferior se aprecian los resultados de la geoquímica de análisis multielemental, en la tabla inferior se muestran los elementos con afinidad geoquímica y anomalías. También son comparados los elementos comunes en las tres zonas: Cu, As, Sb y Hg.

Tabla 7.-

Anomalías de Elementos indicadores y resultados geoquímicos VM sur.

Resultados de Anomalías de los Elementos sobre Veta Madre. (Verano UG- 2024)								
	Au		Ag		As		Cd	
Valor-Anomalía	>0.90 ppm		>24 ppm		>48 ppm		> 0.60 ppm	
	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.
	376	1.7	395	76.9	374	84.6	380	1.87
	382	0.97	396	54.2	380	76.8	399	1.44
	384	1.9			385	48.4	No. 25	0.99
	395	2.2			VA-1	58.6		
	457	1.3			VA-3	75.5		
	Cu		Hg		K		Sb	
Valor-Anomalía	>10.5 ppm		>1.3 ppm		> 0.21 %		>11 ppm.	
	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.
	384	12.3	377	3.00	373	0.22	459	38.7
	N°25	34.7	384	2.65	374	0.23	460	13.15
			459	3.0	375	0.24	462	11.65
					376	0.26	VA-1	12.55
					380			
					381			
					385			
					400			
	Se		Te		Zn			
Valor-Anomalía	>2.5ppm		No presenta A.		> 77 ppm			
	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.	M- Anómalas	Valores-A.		
	373	3.1			380	83		
	380	3.7			399	96		
	381	4.4			N° 25	253		
	395	3.1						
	396	3.8						
	457	4.9						
Nota:	M:	Muestra	A:	Anomalía				

Tabla 7a.-

Anomalías de Elementos indicadores. VM sur.

Elemento	Anomalía
As	> 48ppm
Cu	> 10.5ppm
Hg	> 1.3 ppm
Sb	> 11 ppm

Conclusiones

Se realizaron dos análisis geoquímicos VM zona norte (Cebada), VM zona sur (Torres) por A.A. analizando cuatro elementos: As, Cu, Hg y Sb tablas 5-6 respectivamente; el tercer análisis fue multielemental VM sur por ICP (51 elementos) de los cuales se consideraron para el análisis diez elementos (Au, Ag, As, Cd, Cu, Hg, K, Sb, Se, Zn) contando los elementos blanco (Au, Ag, tabla 7).

Los análisis mostraron similitud en los límites de Threshold para el As en las tres áreas con 60, 45, 48 ppm; el Cu 48, 7, 10.5 ppm, muy similar en la zona sur; Hg 62, 150, 1.5 ppm, quedó muy bajo en el parte de VM sur; el Sb 4.5, 5, 11 ppm, coincidiendo en la parte de VM norte y VM sur. En lo que respecta a las asociaciones (Análisis multielemental, Tabla 7), se muestra una relación Cu-As y Sb-Hg; también es muy característica la asociación Au-Ag-Cu-Hg-Se, y de igual forma la relación Cd-Zn.

El distrito Guanajuato presenta mineralizaciones de Ag-Au de alta ley (Clavos), alojadas en vetas bien definidas y stockworks, las estructuras se agrupan en tres sistemas de vetas principales con una tendencia de las vetas en dirección Noroeste, guardando el mismo patrón estructural de la Sierra de Guanajuato.

De acuerdo a los estudios realizados y modelos determinados (Buchanan, 1980) se agrupa en el modelo de cuarzo adularia de depósitos epitermales.

Otro punto importante que se obtuvo del análisis geoquímico, fue el resultado que el elemento Teluro (Te) seleccionado como indicador, no reflejó valores anómalos, a pesar de ser escogido por su asociación mineralógica; sin embargo el otro elemento escogido por asociación mineralógica (Se), sí mostró buenas anomalías.

De igual forma, se observó que el contenido de mercurio en el extremo más al sur de VM, disminuyó significativamente pasando de las 150 ppm en la parte sur de Torres a 1.5 ppm más al sur en VM sur.

Mineralógicamente se observa un cambio fuerte en la mineralización a lo largo de VM, variando hacia las sulfosales en la parte norte. También se observó que el teluro no presenta valores elevados, siendo las concentraciones muy bajas (<0.01 ppm), de igual forma no se presentan minerales asociados al teluro.

Agradecimientos.

Nuestro agradecimiento a la Universidad de Guanajuato, muy especialmente al Departamento de Investigación y Posgrado por permitir esta oportunidad de comunicar publicar la información referente a los datos y análisis geoquímicos del proyecto; también un reconocimiento muy especial por la oportunidad de abrir el espacio para la difusión del conocimiento, mediante los Veranos de Investigación.

Referencias

- Antúñez Echagaray Francisco (1964). *Monografía Histórica y Minera Sobre el Distrito de Guanajuato* Consejo de Recursos Naturales No Renovables. Publicación 17-E. Talleres Gráficos de La Nación. México.
- Buchanan, L. J. (1980). *Ore Controls of Fossil Geothermal System: The Las Torres Mine, Guanajuato, México*. Informe Interno, Compañía Minera Las Torres. S.A de C.V. pp. 138.
- Cunningham, C.; McNamee, J.; Vásquez J., y Ericksen, G. (1991). *A Model of Volcanic Dome-Hosted metal in Bolivia*. Economic Geology. Vol. 86: pp. 415-421.
- Edwards J. D. (1956). *Studies on some Early Tertiary red conglomerates of central México*: U. S. Geological Survey Profesional Paper. 264-H, pp., 153-183.
- Henley R. W. (1991). *Epithermal Gold Deposits in Volcanic Terranes ; En: Gold Metallogeny and Exploration, R.P. Foster, Editor, Blackie and Sons Ltd, Glasgow, 133-164.*
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, (1995^a, 2002b,2021c). *La Minería en México*. Aguascalientes, Ags. México.
- Volfson F. I., y Yákovlev P.D. (1998). *Estructura de los Campos y Yacimientos Metalíferos*. Editorial Mir. Moscú. URSS.
- White Noel C. and Hedenquist Jeffrey W. (1998). *Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics an Exploration. Publishe in SEG Newsletter, No. 23, pp.1-9.*