

## ALTERACIÓN HIDROTERMAL DE LAS ROCAS ENCAJONANTES DE LA PARTE CENTRAL DE LA VETA MADRE DE GUANAJUATO, ESTADO DE GUANAJUATO – CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS Y QUÍMICAS

Luis Fernando Vassallo<sup>1</sup>,  
Javier Olmos-Colunga<sup>2</sup>,  
María Guadalupe Villaseñor-Cabra<sup>3</sup>,  
Patricia Girón-García<sup>3</sup> y  
Anastasio Lozano-Cobo<sup>3</sup>

### RESUMEN

En la parte central del distrito minero de Guanajuato se estudió la alteración hidrotermal de las rocas encajonantes de la parte central de la Veta Madre. Para caracterizar a las rocas alteradas se estudió las variaciones de sus características petrofísicas como: (1) densidad, (2) porosidad efectiva, (3) saturación volumétrica rápida condicionada y (4) saturación constante, así como las variaciones de la composición química con base en análisis de roca total.

Los afloramientos de rocas encajonantes de la Veta Madre donde están ubicados a profundidad los cuerpos minerales de Las Torres y Sirena, muestran una alteración que presenta las siguientes características: la densidad tiende a disminuir, mientras que la porosidad, la saturación volumétrica rápida condicionada y la saturación constante tienden a aumentar. Los cambios químicos consisten esencialmente en un aumento de SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O, y una disminución de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Usando estos parámetros podría ser posible predecir la presencia de cuerpos minerales no descubiertos.

**Palabras clave:** yacimientos minerales, alteración hidrotermal, petrofísica, geoquímica, Veta Madre, distrito minero de Guanajuato, México.

### ABSTRACT

Wall rock alteration was studied from the Veta Madre lode in the central part of the Guanajuato mining district. Altered rocks were characterized by variations in the following petrophysical characteristics: (1) density, (2) effective porosity, (3) rapid volumetric saturation, and (4) constant saturation. Variation in chemical composition based on whole-rock analyses was also studied.

Host rocks from outcrops above known orebodies such as Las Torres and Sirena exhibit alteration with the following characteristics: the density tends to decrease, whereas the porosity, the rapid volumetric saturation and the constant saturation tend to increase. Chemical changes consist of an increase in SiO<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>O, and a decrease of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Using these parameters, it may be possible to predict the presence of undiscovered orebodies.

**Key words:** ore deposits, hydrothermal alteration, petrophysics, geochemistry, Veta Madre, Guanajuato mining district, Mexico.

### INTRODUCCION

Los depósitos argentoauríferos de Guanajuato están considerados entre los más grandes del mundo. Están ubicados en la Sierra de Guanajuato (Figura 1), encajonados en rocas del basamento mesozoico metamórfico, o en las rocas clásticas y volcánicas (andesítico-riolíticas) continentales del Cenozoico. Las estructuras que encajonan a la mineralización son fallas normales de desplazamientos de hasta 2,000 m, de orientación N45°W las principales y N45°E las de menor importancia; llegan a medir más de 20 km, como en el caso de la famosa Veta Madre, descubierta en el siglo XVI.

Las vetas con Ag-Au, en la mayoría de los casos tienen asociadas alteraciones hidrotermales, que varían de leves a muy fuertes.

El presente estudio se dedicó a la parte central de la Veta Madre (Figura 2), en donde se ha hecho levantamientos geológicos de escala apropiada (Echegoyén *et al.*, 1970; Olmos-Colunga, 1988), para estudiar los cambios hidrotermales metasomáticos en detalle y su relación espacial con las bonanzas conocidas.

Las rocas alteradas hidrotermalmente han llamado la atención de numerosos geólogos como Wandke y Martínez (1928), Gómez de la Rosa (1961), Buchanan (1979), Randall (1979), Vassallo (1981, 1984, 1986, 1987, 1988), Vassallo y colaboradores (1982), y Olmos-Colunga (1988).

Se ha identificado zonas de alteración hidrotermal ligadas espacial y temporalmente con la mineralización.

Las principales alteraciones hidrotermales son: propilitización (presencia de calcita, clorita y piritita), potasificación (presencia de adularia), sericitización (presencia de sericitita) y argilización (presencia de caolín o montmorillonita).

Se muestreó 32 secciones, perpendiculares a las estructuras (Figura 3), recogiendo 135 muestras para su estudio.

<sup>1</sup> Estación Regional del Centro, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 376, 36000 Guanajuato, Gto.

<sup>2</sup> Cía. Minera Las Torres, S. A. de C. V., Mineral El Cedro, Guanajuato, Gto.

<sup>3</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 D. F.

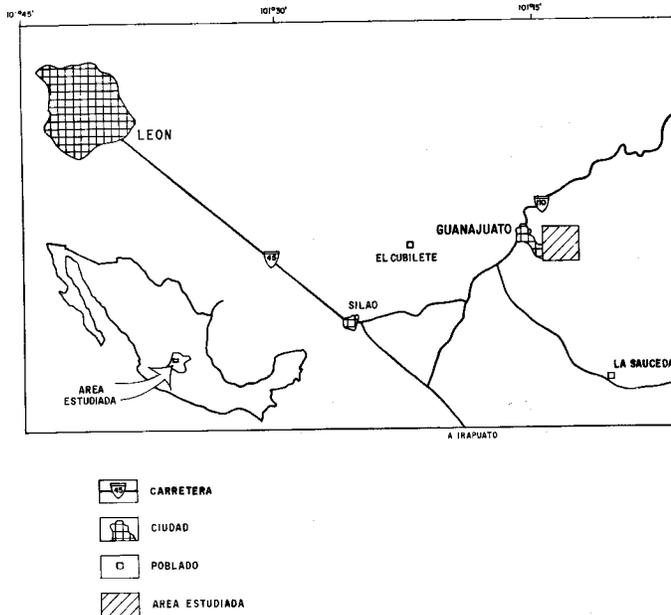


Figura 1.- Mapa de localización del área estudiada.

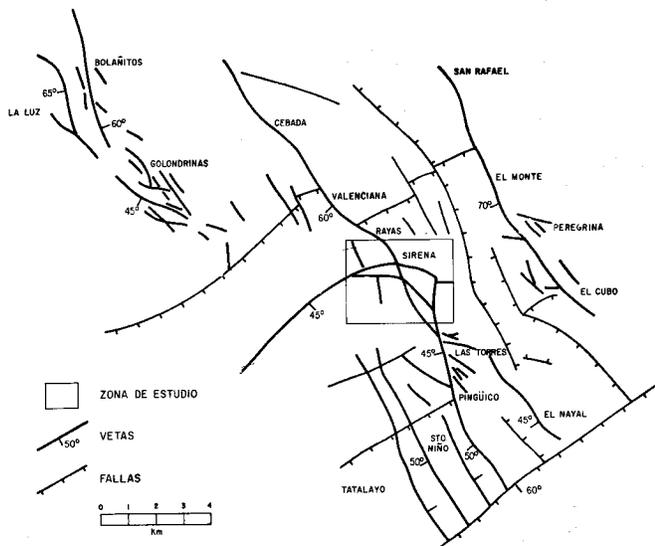


Figura 2.- Mapa de las principales vetas y fallas del distrito minero de Guanajuato.

## CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS

### CONCEPTOS TEÓRICOS Y MÉTODOS DE LABORATORIO

Las características petrofísicas medidas en este estudio fueron: densidad ( $G$ ), porosidad efectiva ( $P_{efec}$ ), saturación volumétrica rápida condicionada ( $A$ ) y saturación constante ( $B$ ).

La densidad se define como la relación que existe entre el peso de la muestra y el peso de un volumen igual de agua. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$G = P_B / (P_B \cdot P_A)$$

Donde:

$G$  = densidad

$P_A$  = peso de la muestra en el agua

$P_B$  = peso de la muestra en el aire

### Porosidad efectiva y dinámica de saturación

La porosidad efectiva es la cantidad de espacios abiertos al medio exterior por los cuales, bajo ciertas condiciones, pueden circular líquidos o gases. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$P_{efec} = (P_H - P_S) / (P_H - P_A)$$

Donde:

$P_{efec}$  = porosidad efectiva

$P_H$  = peso de la muestra ya saturada

$P_S$  = peso de la muestra seca

$P_A$  = peso de la muestra en el agua

Antes de obtener la  $P_{efec}$ , se puede ir obteniendo el peso de saturación para cada momento durante las diferentes etapas de saturación, utilizando la fórmula siguiente:

$$M_i = [(P_{Hi} - P_S) / P_S] 100 [\%]$$

Donde:

$M_i$  = peso de saturación en el momento  $i$

$P_{Hi}$  = peso de la muestra mojada en el momento  $i$

$P_S$  = peso de la muestra seca

Durante la determinación de la porosidad efectiva y la densidad de una roca por el método de libre saturación, se puede también obtener información sobre la dinámica de saturación de las rocas. Según Rozanov (1961) y Starostin (1965, 1968), hay tipos de roca que se saturan rápidamente en los primeros días (éstos son los más favorables para el metasomatismo durante la mineralización hidrotermal) y hay otros tipos de roca que se saturan pasados 5, 10 o más días (estos últimos son considerados no receptores del metasomatismo hidrotermal).

La ausencia de criterios numéricos que caractericen el proceso de saturación de las rocas condujo a Starostin y Diomin (1970), y a Sandomirskii y Schataguin (1974), a investigar el proceso de saturación, encontrándose que se rige por leyes exponenciales. Graficando los valores de peso de saturación respecto al tiempo, en escala semilogarítmica, se corrobora lo anterior (Figura 4).

Los experimentos que se llevó a cabo corroboran que todas las muestras durante su saturación con agua se rigen por leyes exponenciales. El espacio poroso de casi todas las rocas se satura en un 30-70% durante los momentos iniciales (15 seg, 6 min, 15 min, 20 min), lo cual se puede considerar un tiempo muy corto respecto a lo que dura el período de saturación completo que fluctúa de 40 a 50 días. Como consecuencia de lo anterior, se puede decir que existe una saturación volumétrica rápida condicionada ( $A$ ); esta saturación  $A$  se puede evaluar en porcentaje. Considerando la relación saturación-tiempo, Starostin (1979) dedujo la fórmula siguiente:

$$m_i = m_\infty - m_0 e^{-B_i(t_i - t_k)}$$

Y si se considera que:

$$m_\infty = m_0 + A$$

$$m_i = m_0 + A - m_0 e^{-B_i(t_i - t_k)}$$

Donde:

$m_i$  = volumen de saturación de la muestra en el momento  $t_i$ , en %.

$t_k$  = tiempo en que termina la saturación volumétrica rápida condicionada.

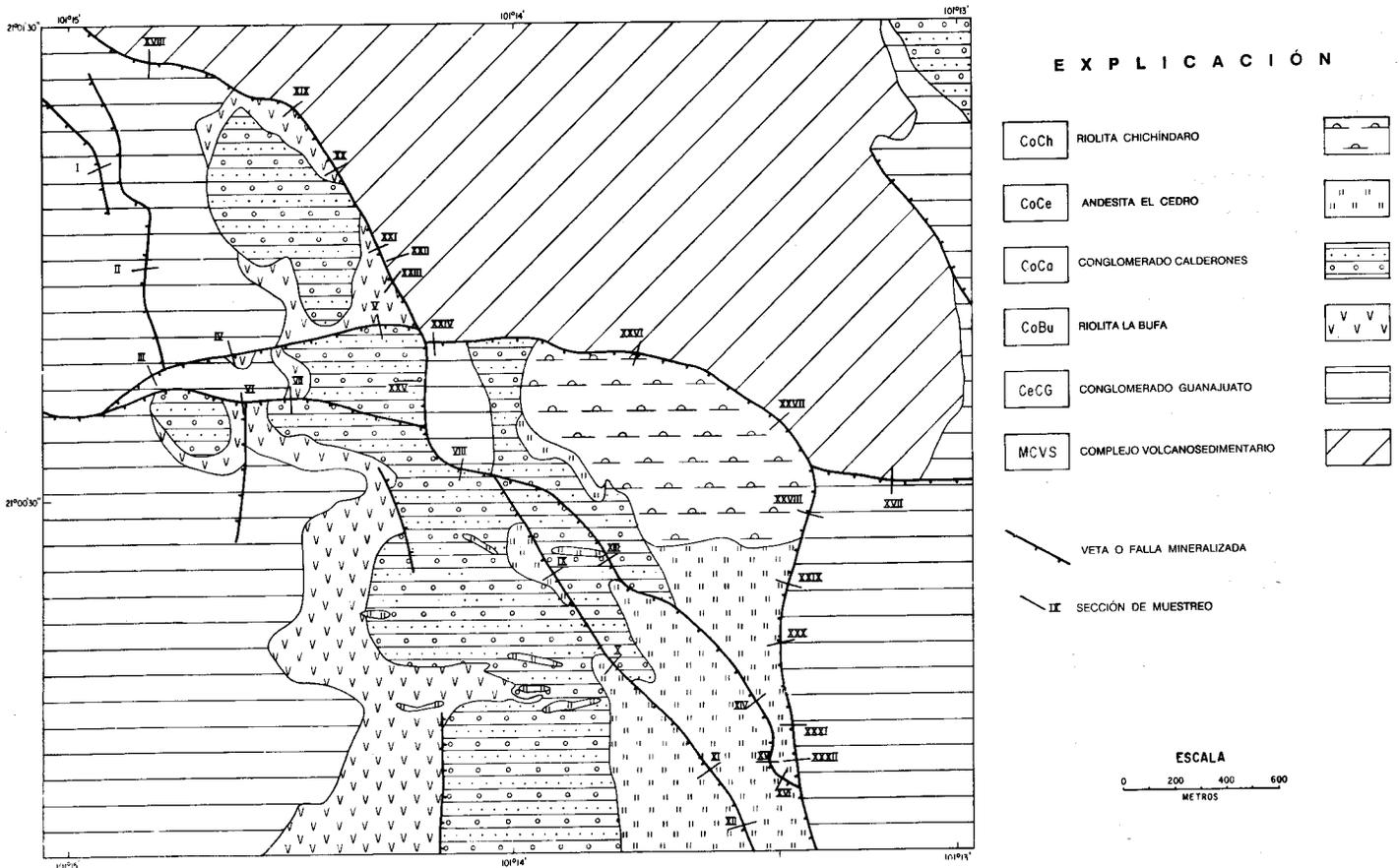


Figura 3.- Mapa geológico de la parte central de la Veta Madre de Guanajuato, indicando las secciones estudiadas.

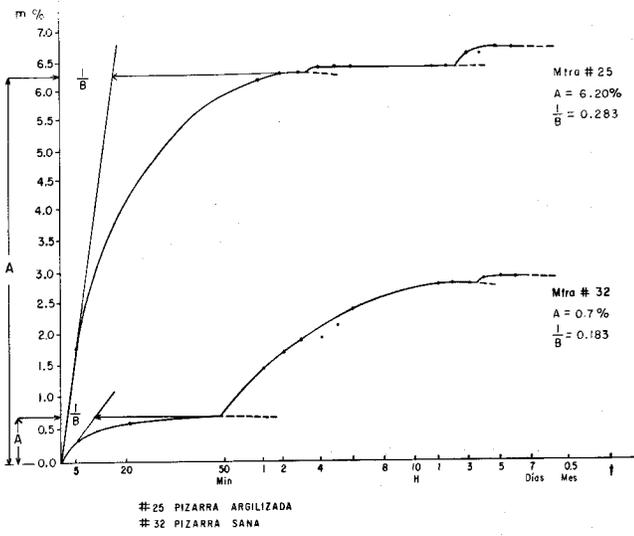


Figura 4.- Comportamiento de los parámetros A y B en la gráfica de saturación porcentual contra el tiempo, en la pizarra del basamento.

$B_i$  = saturación constante, parámetro que caracteriza la intensidad de saturación de los poros (en unidades de tiempo).  
 $m_o$  = límite de saturación con dependencia exponencial, en %.  
 $m_{\infty}$  = saturación completa de la muestra, en %.  
 A = saturación volumétrica rápida condicionada, en %.  
 El parámetro B no depende de la magnitud de la porosidad efectiva o de la duración de la inmersión. La intensidad

es debida a las características físicas de las rocas, por lo cual se puede utilizar como parámetro independiente y compararlo con otras características petrofísicas medidas y será igual a:

$$B_i = [1 / (t_i - t_k)] \ln [(m_{\infty} - m_i) / m_o]$$

En la práctica, es más cómodo medir los parámetros A y B en las gráficas de saturación porcentual contra el tiempo, como se indica en la Figura 4.

La utilización de los parámetros antes citados, durante el estudio de los depósitos minerales, abre nuevas posibilidades en la evaluación de las condiciones mineralizantes.

Los parámetros A y  $B^{-1}$  están muy relacionados con la estructura de los espacios porosos, la cual a su vez es función de las condiciones de formación y alteración de las rocas.

Las rocas con valores bajos de A y  $B^{-1}$  sirven como barreras impermeables para detener los fluidos mineralizantes, y las rocas con valores altos de A y  $B^{-1}$ , por lo general, son rocas encajonantes o contenedoras de la mineralización.

RESULTADOS

Se estudió el comportamiento de cada muestra en las gráficas de saturación porcentual contra el tiempo, obteniéndose para cada una de ellas su saturación volumétrica rápida condicionada y la saturación constante, con base en las curvas graficadas.

Como ejemplo de ellas, se muestra 10 curvas en las Figuras 4 a 7. La Figura 4 muestra dos curvas muy contrastantes de las pizarras del basamento: la núm. 32 de la línea XX, que es una muestra sin alteración con  $A=0.7\%$  y  $1/B=0.183$ , y la

núm. 25 de la línea XXI, que es una muestra argilizada con  $A=6.20\%$  y  $1/B=0.283$ ; ambas muestras están localizadas en el bloque del bajo de la Veta Madre, pero sólo la muestra núm. 25, que tiene valores altos de  $A$  y  $1/B$ , está espacialmente relacionada con los antiguos cuerpos explotados en la mina de Sirena. Comparando otras características petrofísicas de las muestras citadas, se tiene que la núm. 25 tiene  $G=2.343$  y  $P_{efec}=13.47\%$ , contrastando grandemente con la núm. 32, que tiene  $G=2.514$  y  $P_{efec}=6.61\%$ , es decir, las pizarras muestran valores de densidad bajos y valores de porosidad efectiva altos cuando están espacialmente relacionados con cuerpos minerales a profundidad.

En la Figura 5, se muestra los valores de  $A$  y  $1/B$  y el comportamiento de la dinámica de saturación respecto al tiempo para cuatro muestras de riolita de la formación La Bufa, con diferentes tipos de alteración. La alteración potásica o potasificación, según la muestra núm. 123 (línea VII, al bajo de la falla), se caracteriza por tener valores bajos de  $A$  y  $1/B$  ( $A=0.7\%$ ,  $1/B=0.10$ ).

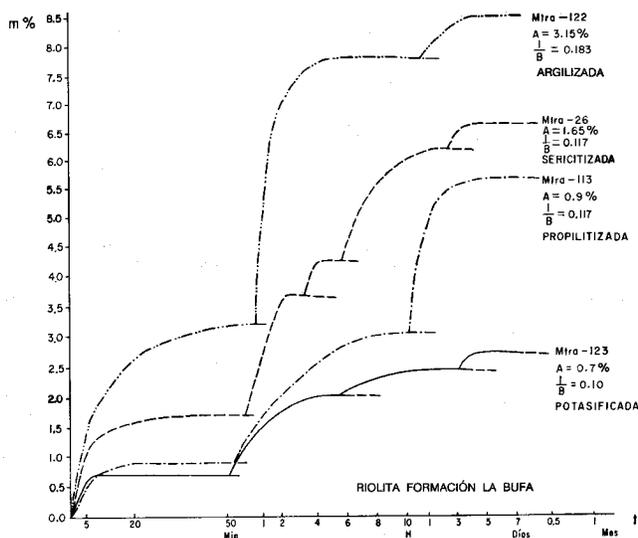


Figura 5.- Comportamiento de los parámetros  $A$  y  $B$  en la riolita de la formación La Bufa.

La propilitización en la muestra núm. 113 (línea V, al bajo), tiene  $A=0.9\%$  y  $1/B=0.117$ .

La sericitización en la muestra núm. 26 (línea XIX, al alto de la falla), tiene  $A=1.65\%$  y  $1/B=0.117$ .

La argilización en la muestra núm. 122 (línea VII, al bajo de la falla), tiene  $A=3.15\%$  y  $1/B=0.183$ .

La muestra núm. 122 se ubica más cerca de la estructura mineralizada, por lo cual también sus valores de  $A$  y  $1/B$  son más elevados; la densidad y la porosidad efectiva también contrastan:  $G=2.187$  y  $P_{efec}=15.57$  para la muestra núm. 122, y  $G=2.555$  y  $P_{efec}=6.44$  para la muestra núm. 123; es decir, se tiene una disminución en la densidad y un aumento en la porosidad para la muestra que se ubica más cerca de la veta.

Observando la dinámica de saturación se nota que las curvas pueden presentar de tres a cinco etapas de saturación, dependiendo del tipo de alteración hidrotermal.

De acuerdo con la Figura 5, la riolita argilizada (muestra núm. 122, Línea VII) es la que tiene valores de  $A$  y  $1/B$  más

altos; si bien no se sabe que haya bonanzas grandes a profundidad, sí indican un fuerte metasomatismo que fue debido al paso de los fluidos hidrotermales, con lo cual se abre la posibilidad de que sean zonas que a profundidad puedan contener cuerpos minerales. En este tipo de riolita, la saturación volumétrica rápida condicionada ( $A$ ) es la característica petrofísica más contrastante, variando de  $0.7$  a  $3.15\%$ .

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de las características petrofísicas de la andesita de la formación El Cedro. La saturación volumétrica ( $A$ ) varía de  $0.15\%$  (muestra núm. 12, Línea XII al alto de la falla), en la zona débilmente propilitizada, a  $2.0\%$  (muestra núm. 40, Línea XXXII, al alto de la falla), donde hay una fuerte propilitización. La saturación constante ( $1/B$ ) varía de  $0.083$  a  $0.158\text{ H}^{-1}$ , respectivamente. La zona fuertemente propilitizada es el reflejo superficial de la parte septentrional de los cuerpos mineralizados de la mina Las Torres.

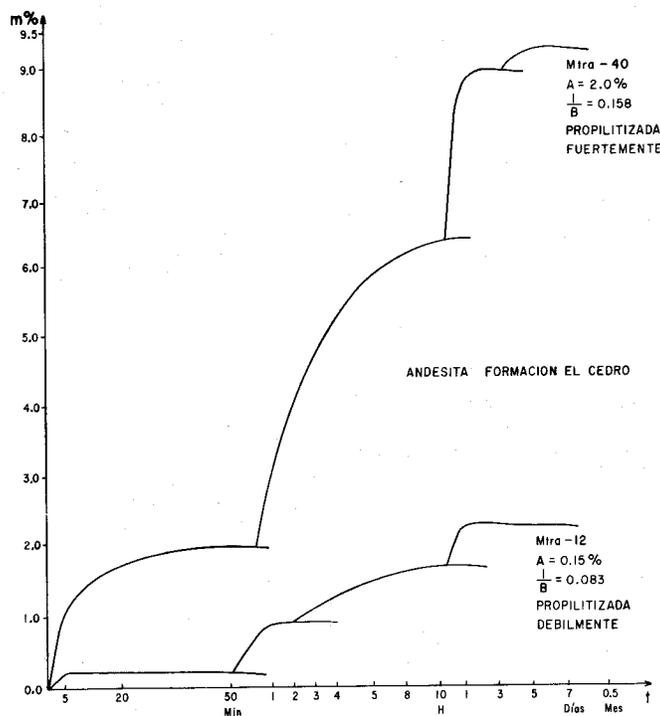


Figura 6.- Comportamiento de los parámetros  $A$  y  $B$  en la andesita de la formación El Cedro.

Comparando otras características petrofísicas de la andesita El Cedro, se observa que la citada muestra núm. 40 también se distingue por una alta porosidad efectiva ( $16.94\%$ ) y una baja densidad ( $2.201$ ), en comparación con la núm. 12, la cual tiene una porosidad efectiva de  $5.70\%$  y una densidad de  $2.636$ . Las curvas de la dinámica de saturación muestran cuatro etapas de saturación.

La Figura 7 muestra el comportamiento de la riolita de la formación Chichindaro, observado en las muestras núms. 70 y 72 (línea XXVIII, en el bloque del alto); la núm. 70 se encuentra inmediata a la veta y muestra argilización con  $A=1.7\%$  y  $1/B=0.158$ , contrastando con la muestra núm. 72 con  $A=4.4\%$  y  $1/B=0.20$ . En este caso, se piensa que la muestra alterada tiene valores bajos debido a que sea una roca que no esté relacionada con cuerpos minerales. Estos dos tipos de

riolita tienen gran similitud si se compara sus otras características petrofísicas: núm. 72,  $P_{efec}=18.19\%$  y  $G=2.142$ ; y núm.70,  $P_{efec}=18.95\%$  y  $G=2.05$ . Las curvas de la dinámica de saturación fundamentalmente son muy parecidas, mostrando tres etapas principales de saturación.

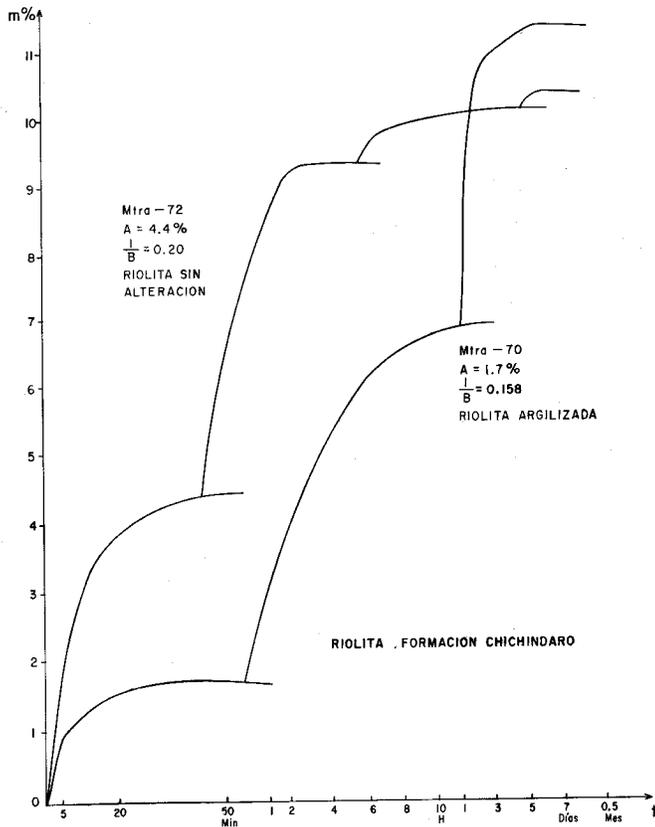


Figura 7.- Comportamiento de los parámetros A y B en la riolita de la formación Chichindaro.

Analizando los resultados obtenidos durante el estudio de las 32 líneas muestreadas se tiene lo siguiente (Tabla 1):

La línea I, que cruza a la veta San Ignacio, está compuesta al bajo y al alto de la falla por el conglomerado Guanajuato. En esta línea se nota muy bien que las características petrofísicas, como densidad, porosidad efectiva y saturación volumétrica, marcan la zona de máxima alteración al lado de la veta, teniéndose que la densidad disminuye desde 2.553 a 2.410 y la porosidad efectiva aumenta hasta 10.52%, mientras que la saturación volumétrica también aumenta desde 0.60 hasta 1.60%.

En la línea II, que cruza a la veta El Maguey y arma en el conglomerado Guanajuato, se marca también una zona con baja densidad y altos valores de porosidad efectiva, saturación volumétrica y saturación constante. En este caso, los valores anómalos fueron observados en el bloque del bajo de la falla.

La línea III, en la veta El Amparo, muestra que la densidad del conglomerado Guanajuato varía de 2.657 a 2.559. En este caso, debido al intemperismo de las muestras no se pudo estudiar su comportamiento en las curvas de la dinámica de saturación.

La línea IV, en la veta El Amparo, teniendo al alto la riolita de La Bufa y al bajo el conglomerado Guanajuato, muestra en la riolita La Bufa una disminución en la densidad.

Por estudios de difracción de rayos X se encontró el mineral illita.

La línea V, también en la veta El Amparo, tiene al alto el conglomerado Calderones y al bajo la riolita La Bufa; en esta última, se encontró también al mineral illita. En esta línea, el bloque del bajo se caracteriza por tener valores de densidad bajos y un aumento gradual de los valores de A y 1/B al acercarse a la estructura, variando los valores de 0.90 a 4.40% para A y de 0.117 a 0.20  $H^{-1}$  para 1/B.

La línea VI, que cruza la veta San Clemente, con el conglomerado Guanajuato al bajo y la riolita La Bufa al alto, muestra en esta última una disminución de la densidad en las muestras que están ubicadas más cerca de la estructura. El bajo contiene valores de densidad comúnmente encontrados en los conglomerados sin alteración.

La línea VII cruza la veta San Clemente teniendo en el bloque del alto al conglomerado Calderones y en el del bajo a la riolita La Bufa. En esta última, están presentes las características típicas de la riolita alterada, como son un descenso en la densidad hacia la estructura y un aumento de los valores de porosidad efectiva, A y 1/B. En el bloque del alto, los valores del conglomerado Calderones son similares a la línea V, es decir, existe una baja densidad y los valores de  $P_{efec}$ , A y 1/B tienden a disminuir hacia las estructuras.

La línea VIII, en la veta Santa Inés, con el conglomerado Guanajuato al bajo y el conglomerado Calderones al alto, se comporta igual que las líneas V y VI, en los casos en que los bloques tienen igual litología.

La línea IX cruza a la veta Samata, teniendo al alto la andesita El Cedro y al bajo el conglomerado Calderones. La andesita El Cedro muestra típicamente una disminución de densidad de 2.691 a 2.193 y un aumento de porosidad efectiva de 4.75 a 14.90%, de A de 0.60 a 1.80% y de 1/B de 0.083 a 0.143  $H^{-1}$  cuando se acercan a la estructura. El conglomerado Calderones se comporta igual que en las líneas V, VII y VIII.

En la línea X, también en la veta Samata, con litología semejante a la de la línea IX, se encuentra sólo una disminución de las densidades en dirección a la estructura. No se pudo medir las demás características debido a la disgregación de las rocas en el agua.

La línea XI, en la veta Samata, corta en ambos bloques (el alto y el bajo) a la andesita El Cedro. En las muestras se observa una clara tendencia a que la densidad disminuya al acercarse a la estructura, variando de 2.644 a 2.389. Los demás parámetros varían inversamente: la porosidad de 2.30 a 11.03%, la saturación volumétrica de 0.30 a 1.15% y la saturación constante de 0.083 a 0.150  $H^{-1}$ . En el bloque del alto, justo al lado de la veta, se encuentra el mineral montmorillonita; en dicha muestra sólo se pudo medir la densidad, dado que las muestras al estar muy alteradas se disgregaban en el agua.

La línea XII, en la veta Samata, corta también en ambos bloques a la andesita El Cedro. La densidad de las muestras tiende a bajar al acercarse a la estructura y varía de 2.645 a 2.516. Los otros parámetros tienden a subir; por ejemplo, la  $P_{efec}$  varía de 3.79 a 16.64%, la A de 0.15 a 8.10% y la 1/B de 0.083 a 0.167  $H^{-1}$ ; en este último caso, se aprecia que los valores más altos están en el bloque del bajo; si se toma en cuenta la proximidad de la Veta Madre, esto se podría atribuir a su influencia.

Tabla 1.- Características petrofísicas medidas, por cada línea de muestreo.

	NÚM. MUESTRA	DENSIDAD G	POROSIDAD P [%]	SATURACIÓN VOL. RÁP. COND. A [%]	SATURACIÓN CONSTANTE B, H <sup>-1</sup>		NÚM. MUESTRA	DENSIDAD G	POROSIDAD P [%]	SATURACIÓN VOL. RÁP. COND. A [%]	SATURACIÓN CONSTANTE B, H <sup>-1</sup>
LÍNEA I	132	2.553	7.38	0.75	0.175	LÍNEA IX	93	2.691	4.75	0.60	0.083
Veta	133	2.410	10.52	1.60	0.100	Veta	92	2.193	14.90	1.80	0.143
	134	2.511	10.41	0.60	0.15		90	2.262	15.61	1.50	0.167
	135	2.544	7.19	0.75	0.117		91	2.264	18.38	5.50	0.183
LÍNEA II	129	2.594	8.46	1.05	0.125	LÍNEA X	89	2.696	-	-	-
	128	2.484	8.44	0.55	0.100	Veta	88	2.527	-	-	-
Veta	130	2.526	11.82	5.30	0.265		86	2.141	-	-	-
	131	2.466	8.39	0.65	0.117		87	2.199	-	-	-
LÍNEA III	117	2.568	-	-	-	LÍNEA XI	68	2.644	2.30	0.30	0.083
	118	2.559	-	-	-		67	2.592	3.92	0.30	0.083
	119	2.657	-	-	-		66	2.420	11.03	1.15	0.150
LÍNEA IV	115 I	2.415	13.83	2.40	0.117	Veta	65M	2.389	-	-	-
	114 I	2.383	11.43	1.50	0.135		69	2.472	9.40	0.90	0.117
Veta	116	2.588	-	-	-	LÍNEA XII	10	2.645	3.79	0.15	0.083
LÍNEA V	109	2.186	19.38	3.65	0.175		11	2.582	4.74	0.00	0.000
	110	2.163	18.17	2.60	0.135		12	2.636	5.70	0.15	0.083
Veta	111 I	2.428	11.11	4.40	0.200		13	2.639	4.01	0.00	0.000
	112 I	2.249	14.13	2.45	0.158	Veta	14	2.535	10.19	2.85	0.117
	113	2.305	11.61	0.90	0.117		15M	2.516	16.64	8.10	0.091
LÍNEA VI	124	2.530	7.53	0.90	0.125		16	2.598	5.25	0.45	0.135
	125	2.397	-	-	-		17	2.376	14.34	2.35	0.167
Veta	126	2.611	7.77	1.15	0.100	LÍNEA XIII	97	2.448	10.95	2.55	0.217
	127	2.601	-	-	-	Veta	96	2.489	8.35	0.50	0.333
LÍNEA VII	121	2.048	19.91	4.40	0.150		94	2.288	15.06	1.80	0.125
	120	2.084	15.55	3.00	0.150		95	2.291	15.55	4.60	0.190
Veta	122	2.187	15.57	3.15	0.183	LÍNEA XIV	84	2.547	7.38	0.60	0.083
	123	2.555	6.44	0.70	0.100	Veta	63	2.686	5.63	0.45	0.083
LÍNEA VIII	99	2.335	14.49	2.05	0.135		61M	2.340	-	-	-
	100	2.326	13.34	1.70	0.125		62	2.401	9.41	1.25	0.183
Veta	101	2.529	9.90	1.35	0.135	LÍNEA XV	43	2.722	4.89	0.10	0.083
	102	2.611	7.22	0.95	0.135		42	2.713	4.75	0.35	0.083
						Veta	44M	-	-	-	-
							41	2.063	20.84	3.35	0.20
						LÍNEA XVI	34	2.730	4.80	0.45	0.108
							33M	2.453	23.78	12.75	0.083
						Veta	35	2.127	19.64	3.65	0.183
							36	2.162	17.88	3.45	0.167
							37	2.085	19.16	2.60	0.150

Tabla 1 (continuación).

	NÚM. MUESTRA	DENSIDAD G	POROSIDAD P [%]	SATURACIÓN VOL. RÁP. COND. [A%]	SATURACIÓN CONSTANTE B, H <sup>-1</sup>		NÚM. MUESTRA	DENSIDAD G	POROSIDAD P%	SATURACIÓN VOL. RÁP. COND. [A%]	SATURACIÓN CONSTANTE B, H <sup>-1</sup>
LÍNEA XVII	85	2.566	10.23	3.05	0.158	LÍNEA XXVI	82	2.385	-	-	-
	84	2.547	9.89	1.35	0.125		81M	2.242	-	-	-
Veta	83	2.614	3.04	0.30	0.300		80	2.600	-	-	-
LÍNEA XVIII	108	2.447	8.30	1.20	0.167	LÍNEA XXVII	78	1.744	28.54	6.90	0.158
	107	2.429	9.14	1.05	0.135		77	1.937	24.44	3.00	0.167
	106	2.528	8.05	0.85	0.143		76	2.174	15.40	1.20	0.158
Veta	103	2.472	7.82	1.65	0.150		75 I	2.102	18.14	1.85	0.20
	104	2.539	6.54	0.95	0.083		79	2.597	9.39	1.65	0.133
	105	2.579	4.83	1.50	0.083	LÍNEA XXVIII	72	2.142	18.19	4.40	0.200
LÍNEA XIX	28	2.287	15.12	2.60	0.250		71M	1.973	21.04	2.50	0.143
	27	2.351	17.95	8.50	0.191		70	2.050	18.95	1.70	0.158
	26	2.365	13.43	1.65	0.117		73	2.537	-	-	-
Veta	29	2.517	7.39	0.75	0.117		74	2.633	5.00	0.40	0.250
	30	2.158	-	-	-	LÍNEA XXIX	60	2.473	11.01	1.15	0.135
LÍNEA XX	31	2.422	7.42	0.25	0.150		59	2.137	19.85	2.80	0.135
Veta	32	2.514	6.61	0.70	0.183		58	2.179	20.51	3.95	0.158
LÍNEA XXI	21	2.449	6.87	0.45	0.100		56	2.631	-	-	-
	22	2.547	2.26	0.00	0.000		57	2.633	8.33	1.85	0.143
LÍNEA XXII	18C	2.354	11.49	5.55	0.083	LÍNEA XXX	55	2.566	3.97	0.25	0.191
Veta	19	2.519	8.08	3.25	0.125		54	2.510	5.90	0.20	0.117
	20	2.524	12.27	5.35	0.125		53	2.276	14.83	2.30	0.135
LÍNEA XXIII	9A	2.398	9.30	0.95	0.250		51	2.395	13.04	1.70	0.117
	9	2.381	9.68	1.10	0.100		52	2.259	13.25	1.55	0.143
Veta	8C	-	-	-	-		48	2.624	5.62	0.70	0.100
	8A-C	-	-	-	-		49	2.590	8.73	1.70	0.125
LÍNEA XXIV	4	2.591	5.26	0.45	0.117		50	2.612	7.95	1.55	0.158
	5	2.622	5.04	0.40	0.100	LÍNEA XXXI	47	2.191	16.77	3.30	0.150
Veta	6	2.631	2.77	0.00	0.000		45	-	-	-	-
	7	2.657	5.93	0.15	0.083		46	-	-	-	-
LÍNEA XXV	3	2.165	18.42	8.95	0.283	LÍNEA XXXII	42	2.201	16.94	2.00	0.158
Veta	2	2.149	16.60	2.55	0.150		38	2.279	15.36	2.80	0.143
	1	2.248	14.23	2.25	0.135		39	2.617	-	-	-

La línea XIII corta a la veta Cocinas teniendo en ambos bloques al conglomerado Calderones. En ella varían los valores de densidad de 2.489 a 2.288 y los valores de  $1/B$  aumentan hacia la estructura en el bloque del alto. Los valores de  $P_{efec}$  y de  $A$  disminuyen hacia la estructura, tal vez indicando una silificación influenciada por la veta.

Las líneas XIV, XV y XVI, en la veta Cocinas, cruzan a la andesita El Cedro. En todos los casos se observa una disminución de la densidad en los bordes de las estructuras; en la línea XVI, en el bloque del bajo, se observa una fuerte disminución debida a la proximidad con la Veta Madre y con los cuerpos minerales conocidos de la mina Las Torres. La  $P_{efec}$  aumenta fuertemente al acercarse a las estructuras, pero de una manera muy notable se observa que llega hasta 23.78% y se conserva con valores altos en el bajo de la línea XVI. La  $A$  tiende a subir de 0.35 hasta 12.75% en dirección hacia la Veta Madre y si bien no es continuo su aumento, sí marca las zonas más propicias para contener mineralización. La  $1/B$  también aumenta de 0.083 hasta 0.183  $H^{-1}$  en la línea XVI, conservándose altos los valores cerca de la Veta Madre. Al lado de la estructura, en las tres líneas, se encuentra el mineral montmorillonita.

La línea XVII cruza a la llamada falla de Las Escobas, teniendo al conglomerado Guanajuato en el bloque del alto y al complejo volcanosedimentario en el bajo. En esta zona no se conoce mineralización económica, pero las rocas encajonantes se encuentran alteradas. La densidad en el bloque del alto tiende a bajar de 2.566 a 2.547. La porosidad efectiva varía de 10.23 a 9.89%; si se considera que el conglomerado Guanajuato tiene originalmente 6.68%, se nota que subió la porosidad por la alteración. Los parámetros  $A$  y  $1/B$  tienden a bajar al lado de la estructura.

La línea XVIII, en la Veta Madre, en la parte septentrional de la zona de estudio, muestra al conglomerado Guanajuato al alto y al complejo volcanosedimentario al bajo. En todas las características petrofísicas se tiene variaciones que denotan una ligera alteración hidrotermal.

Las líneas XIX, XX, XXI, XXII y XXIII cruzan a la Veta Madre teniendo en el bloque del alto a la riolita La Bufa y en el bajo al complejo volcanosedimentario. Estas líneas cruzan a la Veta Madre en la zona llamada mina de Sirena; a profundidad están los laboríos de los antiguos cuerpos minerales conocidos con el mismo nombre. Todas las rocas están alteradas en diferente grado; esto se refleja en los valores de las características petrofísicas. La riolita La Bufa tiene densidades que varían de 2.287 a 2.547, ubicándose los valores bajos en las zonas que presentan alteración argílica; la  $P_{efec}$  varía de 17.95 a 2.26%; la  $A$  de 8.50 a 0.25%; y la  $1/B$  de 0.250 a 0.100  $H^{-1}$ ; estos tres últimos parámetros tienen sus valores más altos en las zonas de mayor alteración.

En el bloque del bajo, constituido principalmente por rocas metasedimentarias del complejo volcanosedimentario, hay zonas con valores contrastantes: la densidad varía de 2.519 a 2.158; la  $P_{efec}$  varía de 13.51 a 6.61%; la  $A$  de 0.70 a 6.20%; y la  $1/B$  de 0.10 a 0.283. Los valores de densidad bajos y los valores de  $P_{efec}$ ,  $A$  y  $1/B$  altos, coinciden con las zonas más alteradas y con las partes superiores de los laboríos antiguos de la mina de Sirena. En las zonas con alteración argílica se encontró el mineral caolinita.

La línea XXIV cruza a la Veta Madre teniendo al bajo al complejo volcanosedimentario y al alto al conglomerado

Guanajuato. Esta línea corta a una zona estéril de la Veta Madre; esto es corroborado por las características petrofísicas: la densidad es alta y los valores de  $P_{efec}$ ,  $A$  y  $1/B$  son relativamente bajos, si son comparados con otras líneas que tienen litología similar en los bloques del alto y del bajo.

La línea XXV corta a la llamada veta Santa Inés; se tomó muestras únicamente en el alto, constituido por el conglomerado Calderones. No se conoce si existe mineralización a profundidad, pero las características petrofísicas dan cierta esperanza, ya que los valores son favorables; esto es, la densidad es baja y, sobre todo cerca de la estructura, la  $P_{efec}$ , la  $A$  y la  $1/B$  presentan valores muy altos, si se les compara con el bloque del alto de la línea VIII, que se encuentra más hacia el sur y con litología semejante. Los valores de la densidad varían de 2.149 a 2.335; los de la  $P_{efec}$ , de 18.42 a 13.34%; los de la saturación volumétrica, de 8.95 a 1.70%; y los de la saturación constante, de 0.283 a 0.125  $H^{-1}$ .

Las líneas XXVI, XXVII y XXVIII están en la curva que forma la Veta Madre alrededor del cerro Chichíndaro, teniendo en el bloque del alto a la riolita Chichíndaro y en el del bajo al complejo volcanosedimentario en las dos primeras y al conglomerado Guanajuato en la última. Los valores en la riolita varían en los siguientes intervalos: la densidad de 2.385 a 1.744, la  $P_{efec}$  de 28.54 a 15.40%, la  $A$  de 6.90 a 1.20%, y la  $1/B$  de 0.167 a 0.143  $H^{-1}$ . Las zonas con más baja densidad y altos valores de  $P_{efec}$ ,  $A$  y  $1/B$  están ubicadas en la línea XXVII, y se piensa que es la respuesta de un pequeño cuerpo mineral identificado por barrenación de diamante. Las otras dos líneas, no obstante que están ubicadas en zonas de alteración, no presentan valores anómalos.

Por medio de difracción de rayos X se pudo identificar los minerales arcillosos: en las muestras 81 y 71 se presenta montmorillonita, y en la muestra 75, illita; este último mineral se puede considerar como indicador de mineralización a profundidad, dado que se ha encontrado en varias muestras que están ubicadas arriba de bonanzas conocidas, como las muestras 114 y 115 de la línea IV y las muestras 111 y 112 de la línea V. Es posible que la illita se forme en las zonas de alteración argílica cuando exista un exceso de potasio y, como se sabe, las zonas con alteración potásica están muy ligadas espacialmente con las bonanzas conocidas, donde se ha encontrado gran abundancia del mineral adularia con cuarzo y mineralización económica asociada.

En las líneas XXVI y XXVIII hubo muestras en las que por su fuerte alteración no fue posible obtener las características petrofísicas  $P_{efec}$ ,  $A$  y  $1/B$ .

Las líneas XXIX, XXX, XXXI y XXXII cortan a la Veta Madre en la parte sudoriental de la zona de estudio, teniendo a la andesita El Cedro en el bloque del alto y al conglomerado Guanajuato en el bloque del bajo. La alteración hidrotermal varía de mediana a fuerte, identificándose tres áreas con características petrofísicas muy bien definidas.

El área más importante está localizada donde pasan las líneas XXXI y XXXII y más al sur de ellas. Se observa que en el bloque del alto están presentes densidades muy bajas, de 2.191 a 2.279; la porosidad efectiva varía de 15.36 a 16.94%; la saturación volumétrica, de 2.00 a 3.30%; y la saturación constante, de 0.143 a 0.158  $H^{-1}$ ; estos valores son la respuesta en superficie de los cuerpos conocidos en la mina Las Torres, actualmente en explotación, y en los antiguos laboríos de El Cedro. En el bloque del bajo prácticamente no

se pudo obtener valores debido al grado de alteración de las rocas.

Otra área con amplias perspectivas de contener mineralización a profundidad es la que cubre la línea XXIX, donde se obtuvo los siguientes valores en el bloque del alto: densidad de 2.137 a 2.473, porosidad efectiva de 11.01 a 20.51%, saturación volumétrica de 1.15 a 3.95% y saturación constante de 0.135 a 0.158 H<sup>-1</sup>. Estos valores son muy similares a los encontrados en las líneas XXXI y XXXII.

La línea XXX muestra en el bloque del alto densidades de 2.276 a 2.566, porosidad efectiva de 3.97 a 14.83%, saturación volumétrica de 0.20 a 2.30% y saturación constante de 0.117 a 0.191 H<sup>-1</sup>; en el bloque del bajo la densidad varía de 2.259 a 2.629, la porosidad efectiva de 5.62 a 13.25%, la saturación volumétrica de 0.70 a 1.70% y la saturación constante de 0.10 a 0.158 H<sup>-1</sup>; analizando estos coeficientes, se aprecia que la densidad es alta y P<sub>efec</sub>, A y 1/B tienen valores relativamente bajos; estas condiciones son inversas a las encontradas en las líneas XXXI y XXXII; no obstante, se puede observar que hay cierta convergencia de los valores hacia donde está la estructura, lo cual demuestra que los fluidos hidrotermales metasomatizaron fuertemente a las rocas, apreciándose una disminución del metasomatismo al alejarse de la veta.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Se efectuó 22 análisis de roca total en muestras distribuidas en cuatro secciones consideradas como las más importantes: las líneas XII, XV, XXI y XXVII. Estas líneas de muestreo están ubicadas arriba de cuerpos minerales conocidos: las líneas XII y XV, arriba de la mina Las Torres; la línea XXI, arriba de la mina de Sirena; y la XXVII, arriba de un pequeño cuerpo localizado por barrenación.

CAMBIOS QUÍMICOS POR METASOMATISMO

En la Tabla 2 se muestra ocho análisis de roca total de la andesita El Cedro sobre la línea XII, en los cuales se aprecia varias tendencias en el contenido de los diferentes óxidos: el SiO<sub>2</sub> (Figura 8), muestra una tendencia a aumentar en la vecindad de la estructura, tanto al alto como al bajo, variando de 56.14 a 64.57%. Lo anterior puede deberse a una silicificación en ambos lados de la veta.

El TiO<sub>2</sub> varía de 0.24 a 0.29% en el bloque del alto, y en el bloque del bajo se nota un aumento muy pronunciado hasta 0.88%. El aumento de titanio en la vecindad de las vetas hasta más de ocho veces el fondo es notorio en las líneas XII y XV, si bien la cantidad no es anómala para la andesita, según Perelman (1979) y Beus (1981), sí indica que pueda deberse al aporte de fluidos mineralizantes. Lo anterior podría corroborar que el origen de la materia mineral es profundo o de la corteza inferior como lo han propuesto Vassallo y Fedotkin (en revisión) y Mango (1988).

El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> muestra tendencia a disminuir en los bordes de la veta, teniendo hacia el bloque del alto valores más bajos.

El FeO tiende a aumentar hacia la estructura teniendo los valores más altos en el bloque del bajo.

El Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se comporta de modo inverso al del FeO.

El MgO tiende a disminuir alrededor de la veta a partir de valores de 1.73 hasta 0.96%.

El CaO, el Na<sub>2</sub>O y el K<sub>2</sub>O presentan la misma tendencia, localizándose los valores bajos en el bloque del alto y en la veta tienden a aumentar fuertemente.

Tabla 2.- Análisis químicos y características petrofísicas de las muestras de la línea XII. Roca encajonante: andesita El Cedro.

Comp./Muestra	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO <sub>2</sub>	59.23	64.76	63.28	63.26	64.57	63.77	58.83	56.14
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.26	0.26	0.27	0.26	0.29	0.88	0.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.45	20.07	20.48	21.32	20.13	19.98	23.24	20.54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.69	5.73	6.39	5.32	5.75	5.72	2.73	4.80
FeO	0.88	0.94	1.15	1.10	1.15	1.04	1.74	1.34
MnO	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03
MgO	1.73	1.00	1.09	1.25	0.96	1.06	1.34	0.98
CaO	2.68	2.33	1.96	2.43	2.13	1.71	2.97	3.63
Na <sub>2</sub> O	1.43	1.74	1.51	1.55	1.51	1.22	3.05	2.02
K <sub>2</sub> O	0.82	1.09	1.19	1.10	1.08	0.77	1.89	1.64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.13	0.12	0.11	0.14	0.16	0.14	0.09
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.68	1.89	2.53	2.22	2.30	4.23	3.13	7.99
Densidad	2.645	2.582	2.636	2.639	2.535	2.516	2.598	2.376
Dist. estruc. [m]	50	40	30	15	5	0	15	20
Porosidad [%]	3.79	4.74	5.70	4.01	10.19	16.64	5.25	14.34
A [%]	0.15	3.00	0.15	0.00	2.85	8.10	0.45	2.35
1/B, H	0.083	0.000	0.083	0.000	0.117	0.091	0.133	0.167

La densidad y el H<sub>2</sub>O presentan una tendencia inversa en el bloque del bajo, debido posiblemente a la influencia de la proximidad de la Veta Madre.

La línea XV (Tabla 3; Figura 9) muestra cuatro análisis, también en la andesita El Cedro, en los cuales se observa que el SiO<sub>2</sub> tiende a aumentar fuertemente, desde 61.44 a 71.08%, sobre todo en el bloque del bajo. Esto es por una fuerte silicificación en dirección de la Veta Madre.

La Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disminuye de 22.70, en el bloque del alto, a 17.15%, en el bloque del bajo.

El Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el FeO tienden a disminuir a partir del bloque del alto hacia el del bajo.

El MgO y el CaO presentan también la tendencia a disminuir hacia el bloque del bajo.

El K<sub>2</sub>O y el Na<sub>2</sub>O presentan un comportamiento similar, aumentando hacia el bloque del bajo, hasta en más de 1.5% respecto al bloque del alto. La muestra núm. 41 presenta 2.57% de K<sub>2</sub>O debido a la presencia del mineral illita.

El H<sub>2</sub>O y la densidad, al igual que en la línea XII, presentan un comportamiento inverso en el bloque del bajo.

La línea XXI (Tabla 4; Figura 10) presenta en el bloque del alto dos análisis de la riolita La Bufa y en el bloque del bajo tres análisis en las pizarras del complejo volcanosedimentario Sierra de Guanajuato.

Es difícil comparar químicamente los dos bloques, dado que tienen diferente litología; no obstante, se observa ciertas tendencias:

El SiO<sub>2</sub> tiende a subir en el bloque del alto, sin cambio apreciable en el bajo.

El Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tiende a disminuir en el bloque del alto en dirección a la veta y presenta valores altos en el bajo.

El K<sub>2</sub>O y el MgO en los bloques del alto y del bajo tienden a aumentar hacia la veta, mostrando cierto aporte por los fluidos. El MgO presenta valores bajos en el alto, mientras que en el bloque del bajo tiende a subir hacia la estructura.

La línea XXVII (Tabla 5; Figura 11), con cinco análisis, presenta litología diferente en ambos bloques: en el alto, la riolita Chichíndaro, y en el bajo, una diorita del complejo volcanosedimentario.

El SiO<sub>2</sub> tiende a aumentar en el bloque del alto en dirección a la estructura, como resultado de una silicificación influenciada por la veta.

El contenido de FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tiende a aumentar hacia la veta, por influencia del metasomatismo de los fluidos mineralizantes.

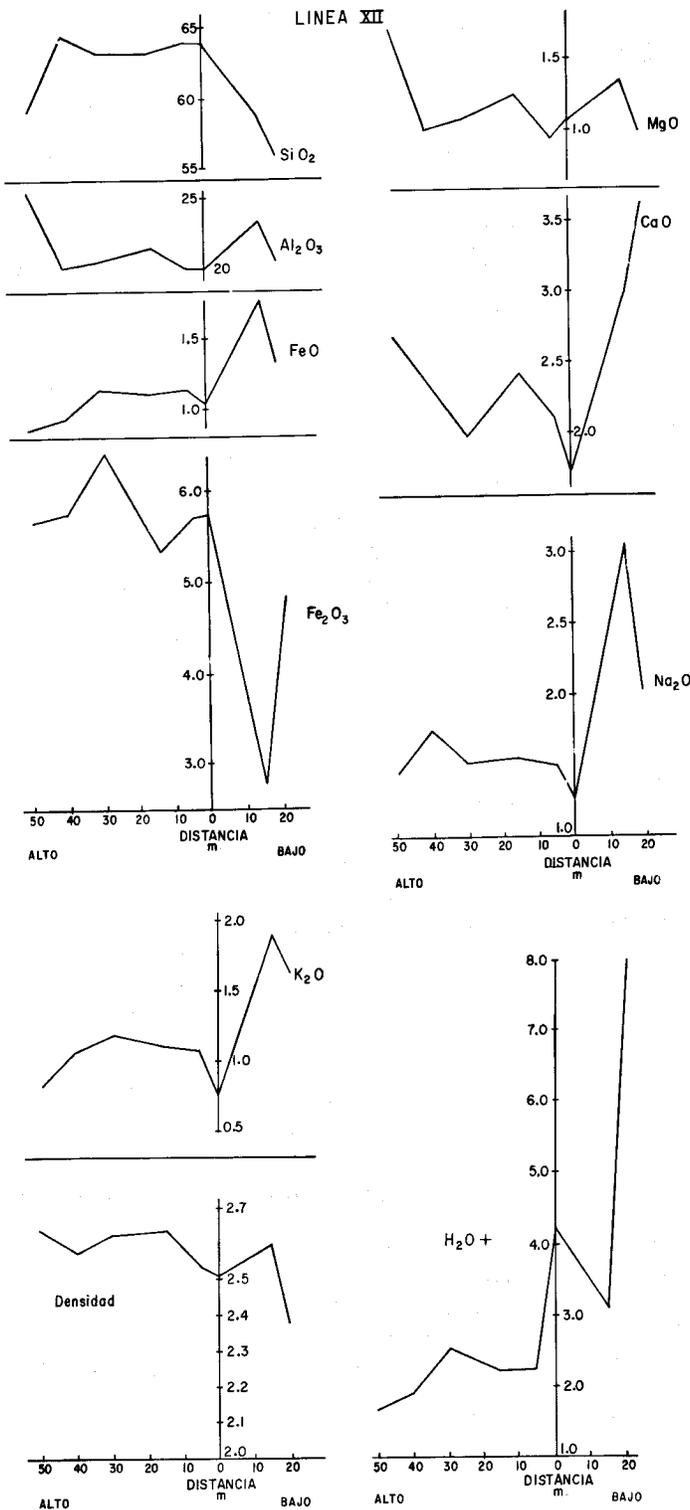


Figura 8.- Gráficas de variación de los principales constituyentes químicos de las rocas encajonantes versus distancia a la veta, en la línea XII.

El CaO no muestra tendencia alguna.

El MgO tiende a disminuir hacia la estructura.

El contenido de K<sub>2</sub>O sube abruptamente en la veta; esto se debe a un aumento del potasio aportado por los fluidos hidrotermales, lo cual provocó también la formación del mineral illita.

Tabla 3.- Análisis químicos y características petrofísicas de las muestras de la línea XV. Roca encajonante: andesita El Cedro.

COMP. MUESTRA	43	42	41	36
SiO <sub>2</sub>	61.44	59.83	71.08	70.11
TiO <sub>2</sub>	0.10	1.44	0.30	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.97	22.70	17.55	17.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.39	4.01	2.50	3.26
FeO	3.24	3.48	1.03	1.13
MnO	0.04	0.03	0.00	0.03
MgO	1.90	2.15	0.38	0.61
CaO	3.69	3.47	0.22	0.28
Na <sub>2</sub> O	1.62	1.33	1.64	1.23
K <sub>2</sub> O	0.86	0.85	2.57	1.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.16	0.10	0.08
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.57	0.54	2.62	4.50
Densidad	2.722	2.713	2.162	2.063
Dist. a la estructura [m]	20	10	15	
Porosidad [%]	4.89	4.75	20.64	17.88
A [%]	0.10	0.35	3.35	
1/B, H	0.083	0.083	0.20	0.167

La densidad en el bloque del alto tiende a subir hacia la estructura. Esto posiblemente se deba al grado de silicificación que sufrió la roca.

En el bloque del bajo no se aprecia la influencia de los fluidos hidrotermales en la composición típica de la diorita del complejo volcanosedimentario.

Comparando las características petrofísicas y los análisis químicos de roca total (Tablas 2, 3, 4 y 5), se puede observar que existe una correlación entre los valores de densidad, saturación volumétrica rápida condicionada (A), saturación constante (B) y porosidad efectiva (P<sub>efec</sub>), con el metasomatismo sufrido por las rocas, lo cual provoca que aumenten o disminuyan los óxidos de los diferentes elementos, de acuerdo con la relación espacial que guardan las muestras con las estructuras.

CONCLUSIONES

Las características petrofísicas son de gran utilidad para diferenciar zonas con alteración hidrotermal, cuantificando el grado de reformación metasomática sufrido por las rocas encajonantes de las vetas hidrotermales, y predecir la existencia de cuerpos minerales a profundidad.

Entre las características petrofísicas se pudo observar que: (1) La densidad de las rocas tiende a bajar hacia las estructuras que presentan cuerpos minerales a profundidad, habiendo pocos cambios cuando no existe alteración hidrotermal. (2) La porosidad efectiva (P<sub>efec</sub>), la saturación volumétrica rápida condicionada (A) y la saturación constante (1/B), tienden a elevar sus valores en las zonas que presentan mineralización.

Los cambios químicos más importantes son un aumento de SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O y una disminución de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, en las zonas que contienen mineralización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beus, A. A., 1981, Geoximiiia Litosferi, 2oe Izd.: Moscú, Nedra, 334 p.

Tabla 4.- Análisis químicos y características petrofísicas de las muestras de la línea XXI. Al alto, toba riolítica de la formación La Bufa; al bajo, pizarra del complejo volcanosedimentario Sierra de Guanajuato

COMP./MUESTRA	78	77	76	75	79
SiO <sub>2</sub>	71.62	68.58	71.69	75.50	50.68
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.15	0.22	0.10	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.70	19.79	16.31	14.90	17.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41	0.89	0.89	1.23	10.03
FeO	0.51	0.66	0.66	0.82	9.48
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
MgO	0.95	1.16	1.09	0.51	4.32
CaO	0.53	0.83	1.17	0.62	0.70
Na <sub>2</sub> O	0.20	0.22	0.25	0.51	0.56
K <sub>2</sub> O	1.38	1.11	0.88	2.99	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.04	0.48	0.20	0.02
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	6.40	6.56	6.36	2.60	6.65
Densidad	1.744	1.937	2.174	2.102	2.597
Dist. a la estructura [m]	50	45	35	0	20
Porosidad [%]	28.54	24.44	15.40	18.14	9.39
A [%]	6.90	3.00	1.20	1.85	1.65
1/B, H	0.158	0.167	0.158	0.200	0.133

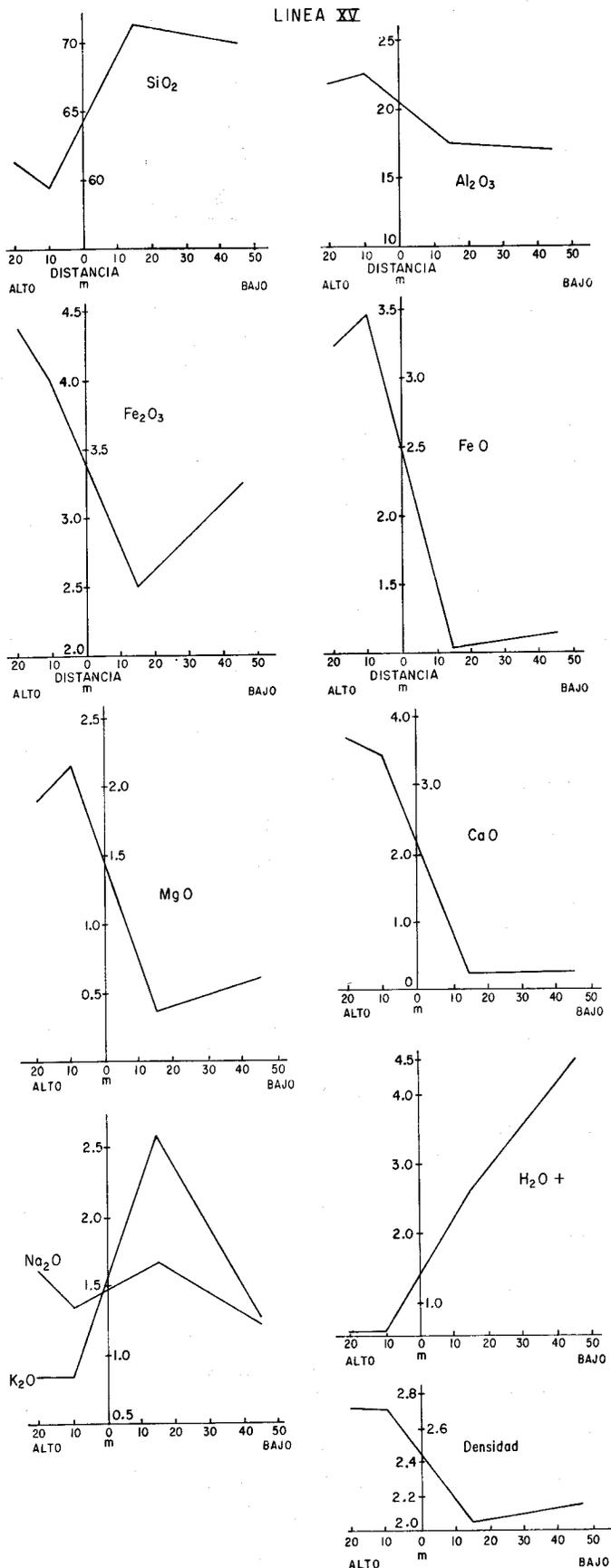


Figura 9.- Gráficas de variación de los principales constituyentes químicos de las rocas encajonantes, versus distancia a la veta, en la línea XV.

Buchanan, L. J., 1979, The Las Torres mine, Guanajuato, Mexico—Ore controls of a fossil geothermal system: Golden, Colorado School of Mines, disertación doctoral, 138 p. (inédita).

Echegoyén-Sánchez, José, Romero-Martínez, Saúl, Velázquez-Silva, Sergio, 1970, Geología y yacimientos minerales de la parte central del distrito minero de Guanajuato: México, D. F., Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Boletín 75, 36 p.

Gómez de la Rosa, Enrique, 1961, Estudio geológico-minero de la zona de La Luz, distrito de Guanajuato, Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis profesional, 69 p. (inédita).

Mango, H. N., 1988, A fluid inclusion and isotope study of the Las Rayas Ag-Au-Pb-Cu mine, Guanajuato, Mexico: Hanover, New Hampshire, Dartmouth College, tesis de maestría, 109 p. (inédita).

Olmos-Colunga, Javier, 1988, Estudio de las alteraciones hidrotermales superficiales de la parte central de la Veta Madre de Guanajuato, México: Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Facultad de Minas, Metalurgia y Geología, tesis profesional, 158 p. (inédita).

Perelman, A. I., 1979, Geokimia: Moscú, Visshiaia Shkola, 423 p.

Randall, J. A., Structural setting, emplacement of Veta Madre orebodies using the Sirena and Rayas mines as examples, Guanajuato, Mexico: Nevada Bureau of Mines and Geology, Papers on mineral deposits of western North America, Report 33.

Rozanov, Yu. A., 1961, Poristost gornix porod i ieio rol v lokalizatsii endogennogo orudneniia: Gueologuia rudnix mestorozhdenii (Moscú), núm. 2, p. 57-66.

Sandomirskii, C. A., y Schatagin, N. N., 1974, Raschiet EVM parametrov poristosti i nasischeniia gornix porod: Moscú, Vestnik, Moskovskii Gosudarstvenii Univ., Ser. geol., núm. 6, p. 42-48.

Storostin, V. I., 1965, Vliianie fiziko-mexanicheskix svoistv gornix porod Bliavinskogo rudnogo polia na lokalizatsii mednokolchedannogo orudneniia: Gueologuia rudnix mestorozhdenii (Moscú), núm. 4, p. 45-56.

— 1968, Fiziko-mexanicheskie svoistva gornix porod Iaman-Kasinskogo mestorozhdeniia i ix rol v lokalizatsii kolchedannogo orudneniia - V kn.: Fiziko-mexanicheskie svoistra gornix porod verxnei chasti zemnoikori: Moscú, Navka, p. 234-244.

— 1979, Strukturno-petrofizicheskii analiz endogennix rudnix polei: Moscú, Nedra, 240 p.

Storostin, J. I., y Diomin, Yu. I., 1970, O graficax nasischeniia rudovmeschaischix gornix porod: Moscú, Vestnik, Moskovskii Gosudarstvenii Univ., Ser. geol., núm. 5, p. 102-106.

Vassallo, L. F., 1981, Gueologuicheskie uslovia obrazovaniia Ag-Au Mestorozhdeniia Guanajuato i xarakteristika rud uchastka Las Torres zhilii Veta Madre (Meksika): Moscú, Moskovskii Gosudarstvenii Univ., disertación doctoral, 163 p. (inédita).

— 1984, Serebriano-zolotoe mestorozhdenie Guanajuato v Meksike, v knigie, in Storostin, V. I., ed., Gueodinamika i Petrofizika rudnix polei i mestorozhdenii: Moscú, Nedra, p. 115-124.

— 1986, Análisis estructural-petrofísico de las rocas encajonantes de depósitos hidrotermales argento-auríferos en rocas volcánicas continentales del Terciario—un ejemplo en Las Torres, Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Simposio sobre Geología Regional de México, 1, México, D. F., Programa y Resúmenes.

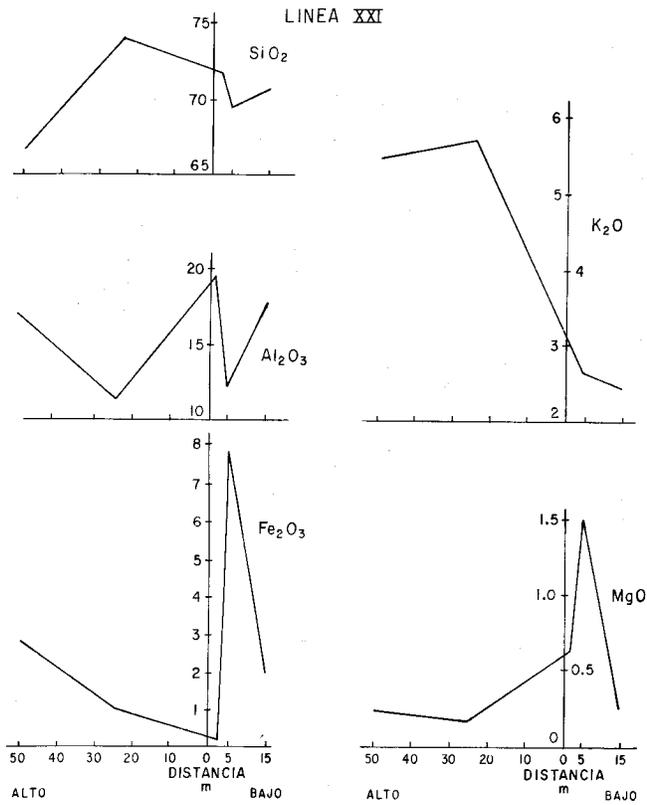


Figura 10.- Gráficas de variación de los principales constituyentes químicos de las rocas encajonantes versus distancia a la veta, en la línea XXI.

Tabla 5.- Análisis químicos y características petrofísicas de las muestras de la línea XXVII. Al alto, toba riolítica de la formación Chichíndaro; al bajo, diorita del complejo volcanosedimentario Sierra de Guanajuato

COMP. MUESTRA	21	22	23	24	25
SiO <sub>2</sub>	66.44	73.96	71.82	69.34	71.14
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.20	0.20	0.23	1.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.10	11.39	19.58	12.46	17.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.84	1.13	0.23	7.82	2.04
FeO	1.55	1.15	1.13	0.62	0.61
MnO	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00
MgO	0.24	0.17	0.63	1.49	0.25
CaO	0.81	0.16	0.16	0.11	0.22
Na <sub>2</sub> O	1.63	1.78	0.03	0.05	0.01
K <sub>2</sub> O	5.47	5.69	2.90	2.67	2.46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.40	3.25	0.03	0.05	0.05
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.23	1.10	3.28	5.19	4.53
Densidad	2.449	2.547	2.479	2.449	2.343
Dist. a la estructura [m]	50	25	2	5	15
Porosidad [%]	6.87	2.26	13.12	13.51	13.47
A [%]	0.45	0.00	6.00	5.75	6.20
1/β, H	0.10	0.00	0.25	0.117	0.283

p. 39-41 (resumen).

1987, Cuantificación de las alteraciones hidrotermales en depósitos argento-auríferos—un ejemplo, Guanajuato, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Simposio sobre la geología de la región de la Sierra de Guanajuato, Guanajuato, Gto., Resúmenes, p. 33-35 (resumen).

1988, Características de la composición mineralógica de las menas de la Veta Madre de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 7, p. 232-243.

Vassallo, L. F., y Fedotkin, O. L., en arbitraje, Consideraciones energéticas sobre la génesis de la Veta Madre de Guanajuato: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista.

Vassallo, L. F., Storostin, V. I., y Borodaev, Yu. S., 1982, Strukturno-petrofizicheskii kontrol orudneniia na serebriano-

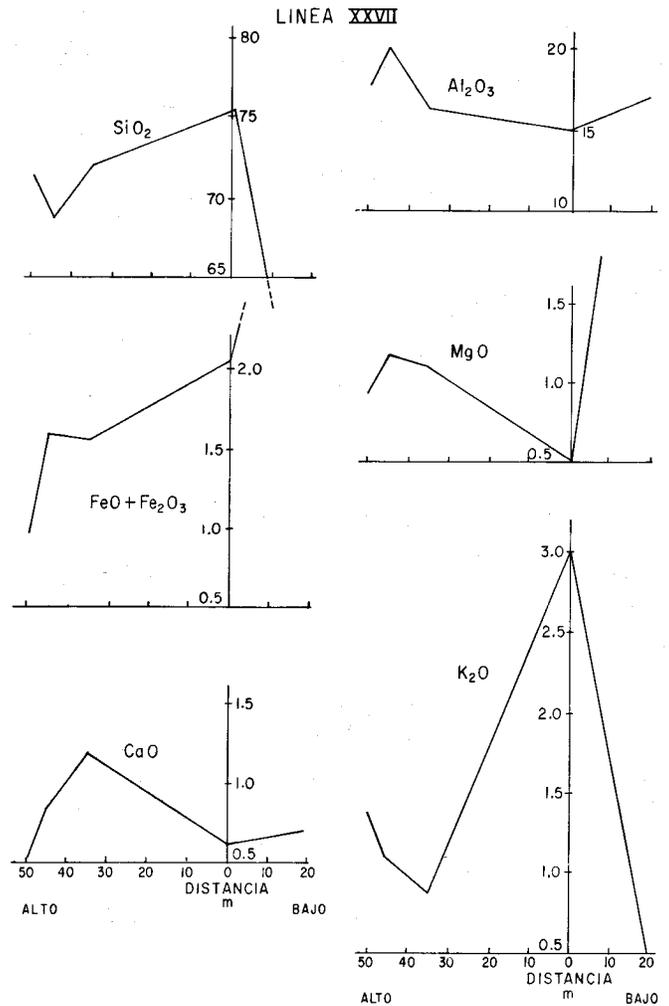


Figura 11.- Gráficas de variación de los principales constituyentes químicos de las rocas encajonantes versus distancia a la veta, en la línea XXVII.

zototom mestorozhdenii Guanajuato v Meksike: Gueologuia rudnii mestorozhdenii (Moscu), t. 24, núm. 2, p. 20-28.

Wandke, Alfred, y Martínez, Juan, 1928, The Guanajuato mining district, Guanajuato, Mexico: Economic Geology, v. 23, p. 1-44.

Manuscrito presentado: 28 de marzo de 1990.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 26 de septiembre de 1990.

Manuscrito aceptado: 6 de octubre de 1990.