

VIII.- MINERALIZACION Y ALTERACION.

VIII.1.- Depósitos de Oro Orogénico

Los yacimientos de Au orogénico, también conocidos como depósitos de Au en zonas de cizalla, Mother Lode, Oro Mesotermal y Au metamórfico, han sido ampliamente reconocidos y estudiados por Groves et al., (1998), Goldfarb et al., (2001), Goldfarb, Phillips y Nokleberg, (1998), entre otros. Generalmente, se encuentran asociados a cinturones metamórficos profundamente deformados, variando en su grado metamórfico desde facies de esquistos verdes (greenstone belts) hasta facies de anfibolita y ocupan una posición espacial y temporal con procesos deformacionales asociados a márgenes de placas (Figura 8).

La formación de estos depósitos de oro relacionados a cinturones metamórficos ha sido episódica a lo largo de la historia geológica, principalmente antecediendo al Neoproterozoico, con eventos importantes entre 2800 y 2550, y de 2100 a 1800 Ma (Goldfarb et al., 2001), aunque también se localizan en rocas más recientes del Fanerozoico, como ha sido indicado por Groves et al., (1998). Estos depósitos se caracterizan por sistemas de vetas de cuarzo dominantes con menos de 3-5% de contenido de sulfuros (principalmente de hierro) y menos del 10% de carbonatos. El sistema de vetas, puede extenderse por cientos de kilómetros bajo sistemas compresionales y dentro de regimenes dúctil y frágil. También tienen un continuo sentido vertical, que varía entre 1-2 km, con pocos cambios en su mineralogía y contenido de Au. La relación de Au-Ag puede variar de 10:1 y las leyes pueden variar de 5-30 g/t de Au; aunque puede haber depósitos de baja ley, pero con la moderna tecnología pueden ser económicamente minados.

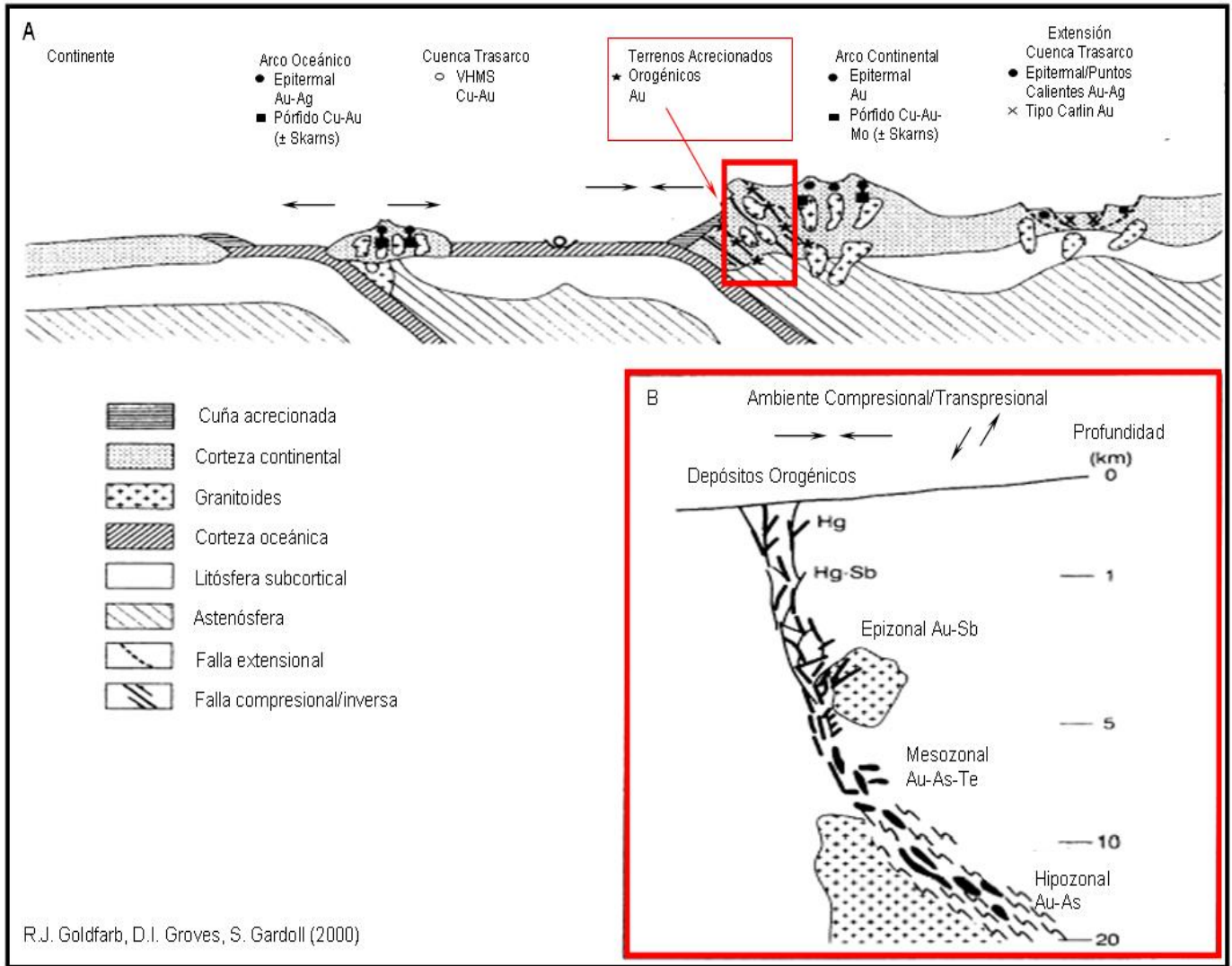


Figura 8.- Modelo modificado de Goldfarb et al., (2000).

La arsenopirita es el sulfuro dominante en rocas metasedimentarias, mientras que la pirita y pirrotita son más comunes en rocas metamórficas de origen ígneo. Por otro lado, pueden exhibir variable enriquecimiento en As, B, Bi, Hg, Sb, Te y W; Cu, Pb y Zn están presentes en concentraciones ligeramente arriba del “background” (Groves et al., 1998).

Este tipo de depósitos generalmente exhiben una fuerte zonación lateral que incluye carbonatos (ankerita, dolomita o calcita), sulfuros del tipo pirita, pirrotita y arsenopirita; metasomatismo potásico y albitización y minerales máficos altamente cloritizados. Los fluidos de mena, generalmente son de salinidad baja, con pH's cerca de lo neutral y contenidos importantes de $H_2O-CO_2 \pm CH_4$ y elevado contenido de CO_2 .

La génesis de los depósitos mesotermales ha sido controversial comparado con cualquier otro tipo de depósito de oro. Su origen ha sido atribuido a: 1) Fluidos separados a partir de metamorfismo progrado producto de reacciones de deshidratación en las aureolas de grandes batolitos; 2) a partir de procesos de granulitización en la parte inferior de la corteza, en los últimos estados de craneotización de los cinturones móviles; 3) por cristalización fraccionada de magmas félsicos, emplazados dentro de la corteza superior; 4) por circulación profunda de aguas meteóricas a través de sistemas de fracturas.

La presencia de depósitos en el noroeste de Sonora, con estas características geológicas, estructurales y tectónicas, se incluyen dentro de la franja de Au de depósitos estructuralmente controlados, sugerida por Silberman et al., (1988) y posteriormente indicados como depósitos de vetas mesotermales auríferas (Albinson, 1989 y Pérez-Segura, 1989), y vetas mesotermales y de zona de cizalla en terrenos ígneos metamórficos (Pérez-Segura, 1993). En esta región

de Sonora, este tipo de depósitos marcan una amplia distribución espacial y temporal, caracterizándose mayormente por la constante asociación a rocas metamórficas del precámbrico, generalmente con metamorfismo de facies de esquistos verdes aunque algunos depósitos se hospedan en rocas que varían en tipo (volcánicas y volcanosedimentarias) y edades que van desde el Proterozoico al Eoceno, con variaciones en su grado metamórfico pasando de esquistos verdes a granulitas, como ha sido sugerido por Noriega-Martínez (2006) y Araux-Sánchez (2000). Sin embargo, existen casos en que las vetas con oro se encuentran hospedadas en cuerpos intrusivos, como sucede en rocas leucograníticas en los depósitos de San Francisco en Estación Llano (Pérez-Segura et al., 1996) y La Choya (Thompson, T.B. (ed), 1998).

Se tiene la presencia de varios prospectos y minas que reúnen las características geológicas, mineralógicas y estructurales en el noroeste de Sonora, para ser denominados de este tipo y las cuales se indican en la siguiente Tabla 1.

Tabla no. 1.- Caracterización de depósitos orgénicos en el Noroeste de Sonora.

DEPOSITO	CRITERIOS GEOLOGICOS REGIONALES			CRITERIOS GEOLOGICOS LOCALES						
	Estructuras Regionales	Estructuras mineralizadas	Grado Metamorfismo	Roca Huesped	Estructuras.	Edad de la Mineralización (Ma)	T (°C)	Sulfuros y oxidos	Vetas y vetillas +CaCO ₃	Ref.
Karina	Cabalgadura Pe-Jr	Veta de Czo.	SQV-Anf	Gneises PC	NE-SW			Py, Gal, Hm,	calcita-ankerita <siderita	1
Quitovac	Cabalgadura Pe-Jr.	Veta de Czo.	Anf.	Gneis y esquisto PC	Zona de cizalla de bajo ángulo	65 Ar/Ar muscovita	270	Gal, cpy,czo		1
La Choya	Cabalgadura Ji-Jv-Pe.	Vetas de cuarzo.	SQV-Anf	Complejo de granitoides	NW-SE, NE-SW	48-52 Ar/Ar muscovita		Py, Gal, Hm,		1
La Herradura	Cabalgadura Pz-Pe.	Vetas de czo-turm.	SQV-Anf	Gneises PC	NW-SE N-S	61 Re-Os en Py-magnetita	260-295	Hm, Py, Wf, Pb,	Ankerita-siderita <calcita	2 , 6
Tajitos	Jr volcánico -Jr igneo	Vetas de cuarzo.	SQV	Metarenisca y Metariolita del Jurasica.	NW 40-50°	49.2 ± 2 secita en vetas	220-370	Hm, Py, Qz,		3
Juárez-San Francisco		Vetas de cuarzo.		Metarenisca y Metariolita del Jurasica.	NW 60-70°;		230-370	Py, Gal, Hm,		3
Sierra Pinta	Cabalgadura Pz-Pe.	Vetas de cuarzo		Granito de 2 micas y en unidades metamorficas. (Sq y Anf) del	NE 22-35°	54.8 ± 1.4 muscovita	237-361	Py, Gal, Cpy, Cv,Cc, Hm, Sph		
San Francisco	Cabalgadura Jr-Pe	Vetas de cuarzo, czo-turm.		Granito leucocratico de 1410 Ma	NW 30-70°	41 Ar/Ar sericita hidrotermal	237-361	Tur, Qz, Ab,Fen,Cl Cc, Gh, Py		4
El Chanate	Bajo angulo	Vetas y vetillas de cuarzo		Areniscas Cretacicas.	W-NW			Au, py, gal, esf,		5

Abreviaciones: MSM=Mojave Sonora Mega cizalla, T°C=Temperatura en grados centígrados, czo=cuarzo, turm=turmalina, Jr=Jurásico, Pz=paleozoico, PC=Precámbrico, Sq=esquistos, Anf=anfilitas, Acan=acantita, Arg=argentita, Fl=fluorita, Cv=covelita, Cc=calcosita, Ab=albita, Sph=espinela, Fen=fengita, Cl=clorita, Gh=gohetita, esf=esfalerita.

Referencias:(1) Iriondo,A.,2001,(2) Juan Romero Valle 2003, (3) Omar Noriega Mtz., 2006, (4) Herrera-Urbina Saul y Pérez Segura Efrén, 1990, (5) Thompson, T.B.(ed),1998, (6) Francisco Quintanar, 2008.

VIII.2.- Mineralización y Alteración en el Área de Estudio

Las zonas de alteración en el área de estudio parecen ser delimitadas principalmente por estructuras NW-SE; ubicándose principalmente hacia el centro del área, al contacto con la falla de cabalgadura y en las cercanías con el área de Karina (Figura 4), donde se manifiesta como alteración argílica caracterizada por caolinita-montmorillonita en forma de una franja rosa con variaciones en la coloración a mas grisáceo.

Este tipo de alteración se encuentra muy ligada a estructuras mineralizadas NW-SE hospedadas en el augen gneis y su intensidad disminuye a medida que nos alejamos de ellas. En conjunto con esta alteración se tiene la presencia de epidota acomodada a lo largo de planos de fracturas generalmente cercanas a las vetas y acompañada de sulfuros en un estado avanzado de oxidación, tiñendo parte de la roca a un color marrón-rojizo. Estas zonas de oxidación pueden ser intensas, como sucede en ciertas partes cercanas a la veta de cuarzo en el área de Karina, las cuales en partes son paulatinamente sepultadas en la zona de pedimento, en la porciones centro-este y centro-oeste del área.

Otro tipo de alteración frecuente en el área de estudio está representada por carbonatación y propilitización; la primera de ellas está formada por vetillas de calcita y en ocasiones vetillas de siderita, principalmente en las inmediaciones a zonas de estructuras, donde es común encontrar vetillas de calcita post-mineral asociada a metasedimentos y zonas de esquistosidad.

En cambio la alteración propilítica está constituida por clorita-epidota-calcita y ocurre asociada al augen gneis y metasedimentos, manifestándose como clorita reemplazando a la biotita y en los bordes de los feldespatos, como epidota en fracturas y calcita en forma de vetillas.

La serie de alteraciones descritas líneas arriba se manifiestan en mayor grado en las cercanías de la mina Karina, la cual es una de las zonas potencialmente atractivas en esta área, la cual se describe a continuación.

VIII.2.1.- Karina: Mineralización y Alteración del Depósito

En el área cartografiada se encuentran algunas zonas con mineralización de oro regularmente asociada a vetas de cuarzo y zonas de stockwork donde se han desarrollado pequeñas obras siguiendo estas zonas de vetas. Por su tamaño destacan las obras de Karina y en mucha menor proporción la obra Carolina. En el caso de Karina, se localiza en la parte central del área directamente al norte de Cerro Prieto, donde se observan algunas pequeñas obras; en cambio la obra de Carolina se ubica en la parte centro-este del área de estudio representada por un crucero de aproximadamente 40m de largo, el cual corta el sistema NW-SE (lineamiento), (Figura 4), siendo este el único punto en el área, donde se puede observar el sentido de movimiento de esta estructura sinistral.

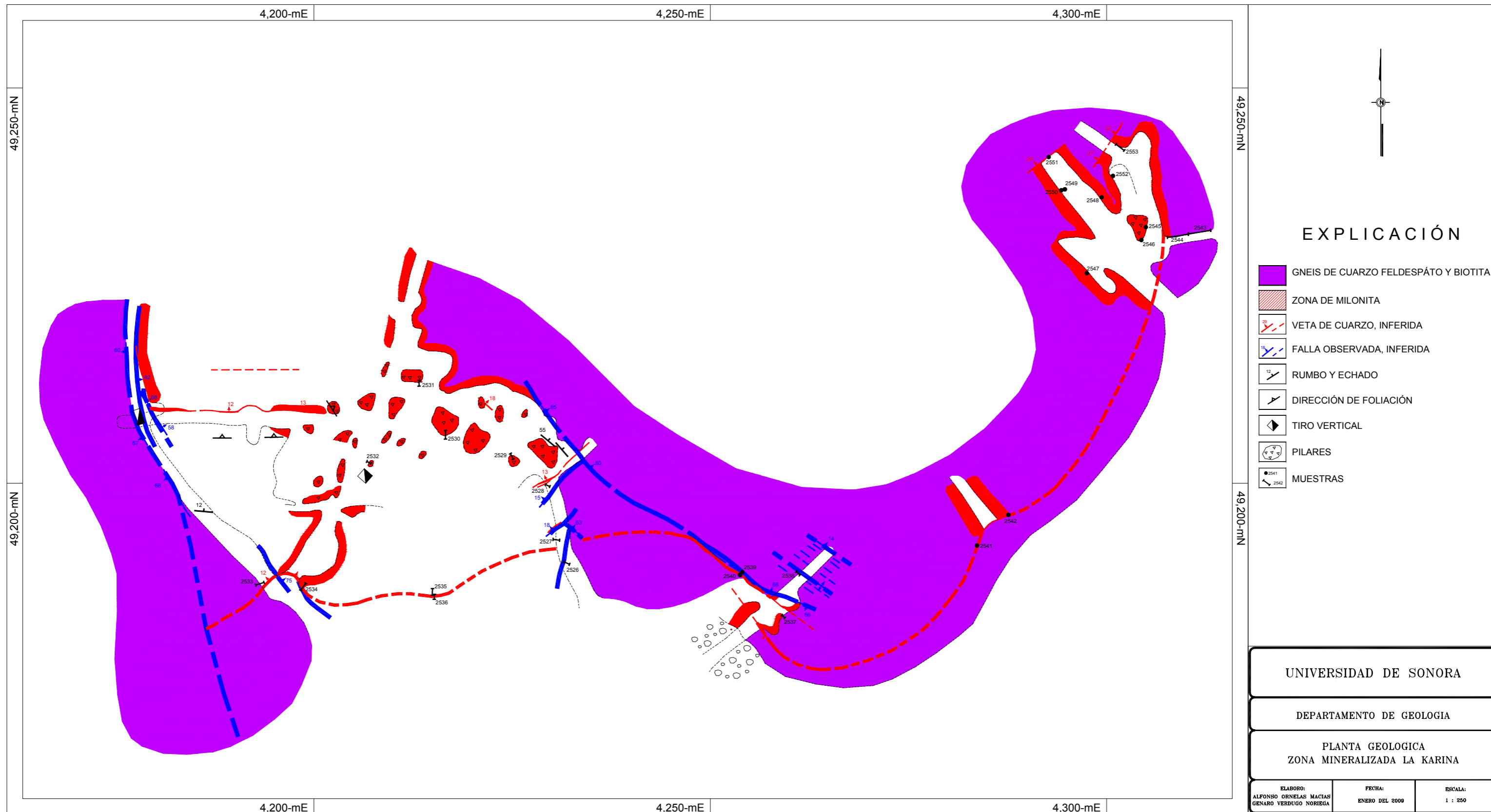
Sin duda, la zona de mayor importancia desde el punto de vista económico y donde se desarrolló mayor trabajo fue el área de Karina. En esta zona se tiene la presencia de estructuras vetiformes compuestas de cuarzo blanco lechoso, con espesores de hasta 3m con actitudes preferenciales NW 75° SE y echados del orden de 15-30° al NE. En esta zona la serie de estructuras mineralizadas cubre un área de aproximadamente 200 m² y parece presentarse solo en el lado E-NE del lineamiento más hacia el oeste, como se muestra en la Foto 40.

Las vetas de cuarzo en el área de Karina, corresponden a un sistema de estructuras paralelas, que parecen desprendidas del lado noroeste de la falla NW-

SE, desarrollándose una serie de obras mineras, las cuales han sido nombradas como 1,2,3 y 4, para una mejor descripción de cada una de ellas (Figura 9).

La obra No. 1 (Karina) ubicada en el lado oeste (Figura 9), es la que presenta mayor desarrollo de todas ellas, y se caracteriza por presentar tres accesos los cuales se comunican en una zona de galerías realizadas a lo largo de la estructura, donde se realizaron trabajos en un área de aproximadamente 2000m². Se observan al menos tres vetas de cuarzo en forma paralela siguiendo una estructura principal de bajo ángulo, donde hacia el alto y el bajo de ellas se observan zonas de aproximadamente 1.5m de ancho, compuestas de roca fuertemente foliada, cloritizada y con minerales oscuros (biotita?), y zonas claras félsicas (cuarzo y feldespato potásico?) intercalados. Algunas de ellas han sido cortadas por fallamiento normal desplazándolas de 1 a 2m, como se puede ver en la Foto 42.

Las estructuras mineralizadas de bajo ángulo, regularmente contienen cuarzo criptocristalino-lechoso, comportándose en forma de lentes de hasta 3 m de ancho y adelgazándose en los extremos hasta desaparecer, semejando estructuras en “budines”. Generalmente las vetas de cuarzo se presentan fracturadas en partes intensamente semejando en algunas veces brechas con fragmentos del mismo cuarzo cementado por sílice, óxidos de hierro (hematita), en pequeños hilillos que cortan a la veta en diversas direcciones, con cristales de pirita (~5mm) en parte oxidada o formando pequeños “boxwork”.



EXPLICACIÓN

- GNEIS DE CUARZO FELDESPÁTO Y BIOTITA
- ZONA DE MILONITA
- VETA DE CUARZO, INFERIDA
- FALLA OBSERVADA, INFERIDA
- RUMBO Y ECHADO
- DIRECCIÓN DE FOLIACIÓN
- TIRO VERTICAL
- PILARES
- MUESTRAS

UNIVERSIDAD DE SONORA		
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA		
PLANTA GEOLOGICA ZONA MINERALIZADA LA KARINA		
ELABORO: ALFONSO ORNELAS MACIAS GENARO VERDUGO NORIEGA	FECHA: ENERO DEL 2009	ESCALA: 1 : 250

Se tiene la presencia de óxidos verdes de cobre (malaquita principalmente y menor azurita) untados en planos de fracturamiento, acompañados con menor presencia de galena.

Se realizó un análisis de las vetas y fallas del área de estudio mediante la roseta estereográfica de Wulff, en las cuales se observan las tendencias principales de estas estructuras (Figura 10 y 11).

La obra No. 2 situada hacia el centro-este del área (Figura 9), corresponde a un túnel de 20m de longitud y 2m de ancho, el cual corta las distintas vetas descritas en la obra 1 y justo en la zona de intersección con las vetas de cuarzo se amplía hasta 4m. Estas vetas se proyectan hacia la obra en su lado oeste y se asocian a estructuras de cizalla acompañado por una intensa foliación en la roca encajonante. Al final del túnel, se aprecian varias estructuras paralelas sin presencia de mineralización de cuarzo.

La obra No. 3 solo presenta un túnel de 12m de largo por 2m de ancho y se encuentra localizada en la parte central de la zona mineralizada Karina. En esta obra se aprecia una veta de cuarzo con fracturamiento y brechamiento asociado, con zonas de cizallamiento intenso en el contacto con la roca hospedante (augen gneis). Cerca al contacto, se tiene la presencia de clorita + epidota ± calcita, la cual es mas intensa cerca a la estructura, disminuyendo hacia afuera dentro de la roca encajonante, donde predominan óxidos de hierro y sericita.

La obra No. 4 se encuentra en el extremo este del área mineralizada Karina. Presenta dos accesos que comunican a una galería, la cual cubre una área de aproximadamente 200 m². Aquí la estructura principal tiene una dirección NW 5° SE y echados muy cercano a la horizontal del orden de 13 a 15° al NE.

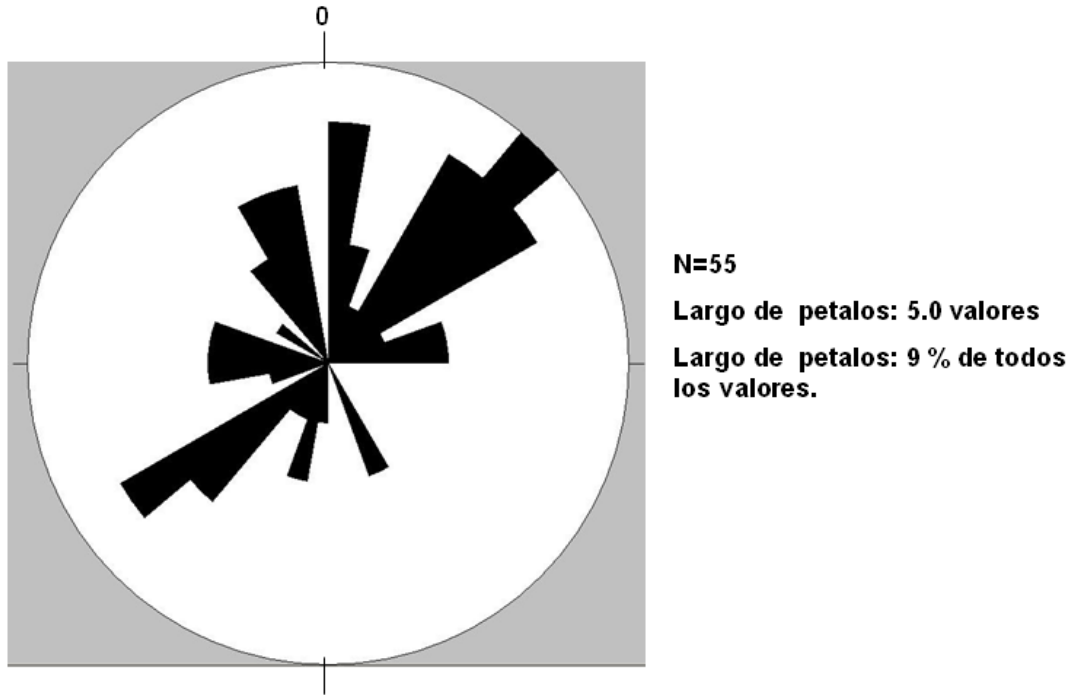


Figura 10.- Roseta para estructuras de fallamiento medidas en el área de estudio.

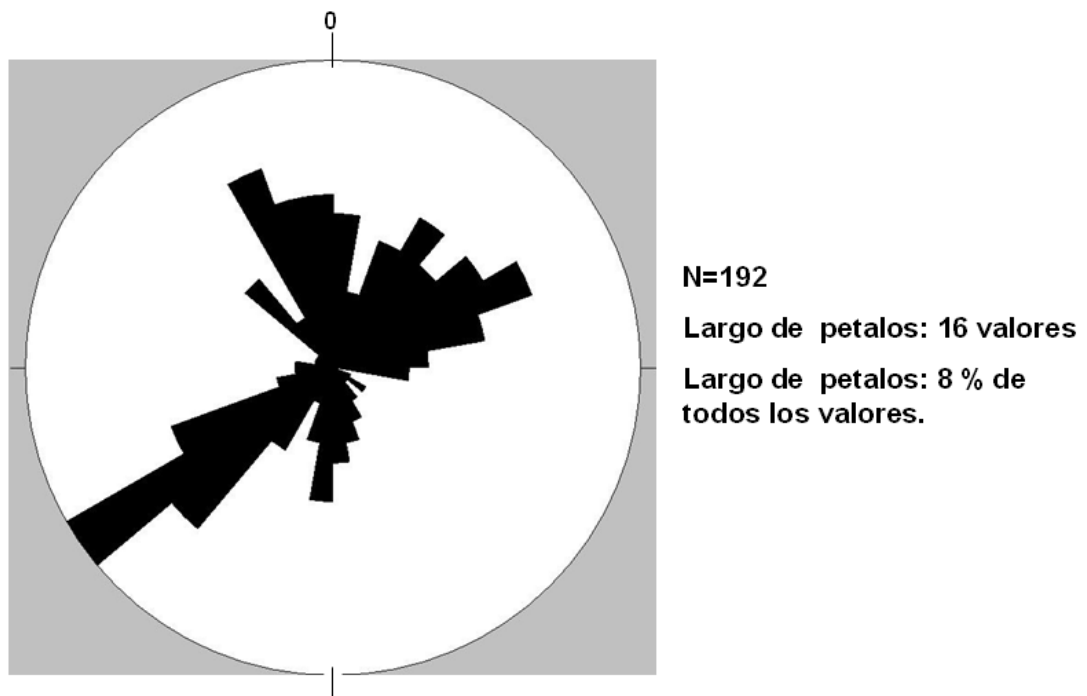


Figura 11.- Roseta para vetas medidas en la unidad precámbrica y en menor proporción en la unidad jurasica.

Se ubica en la entrada del túnel mostrándose fuertemente fracturada, acompañada con zonas brechadas.

La roca hospedante de las vetas en el área de Karina, corresponde a la unidad gneis de cuarzo feldespató (augen gneis), la cual cerca al contacto presenta una alteración propilítica caracterizada por la presencia de clorita-pirita, esta última oxidada y decreciendo hacia afuera de las estructuras. En parte se notan zonas con sericita cerca a las estructuras y biotita más relacionadas a la unidad de augen gneis, la cual se hace más intensa cerca a las vetas de cuarzo. De la misma forma, la roca encajonante es afectada por un intenso cizallamiento y zonas de oxidación moderada, las cuales decrecen al alejarse de las estructuras.

De manera muy general y tratando de determinar alguna relación en su mineralización, se tomaron un total de 30 muestras en estas estructuras dentro de estas obras (Ochoa-Landín, comunicación escrita), las cuales fueron analizadas por Au, Ag, Sb y As, las cuales se muestran en la Tabla 2, y su localización se da en la Figura 9.

Rápidamente se puede apreciar que aunque el potencial mostrado por estas estructuras es pequeño, se observan algunos valores altos de Au de manera irregular con una correspondencia de valores de Au vs. Ag, sin ninguna relación aparente con respecto al Sb y As. Las anomalías se encuentran estrechamente asociadas a zonas de vetas y bordes de alteración, las muestras donde no presenta geoquímica fueron recolectadas de la roca encajonante donde se observa la roca más cerrada y carece de disseminación.

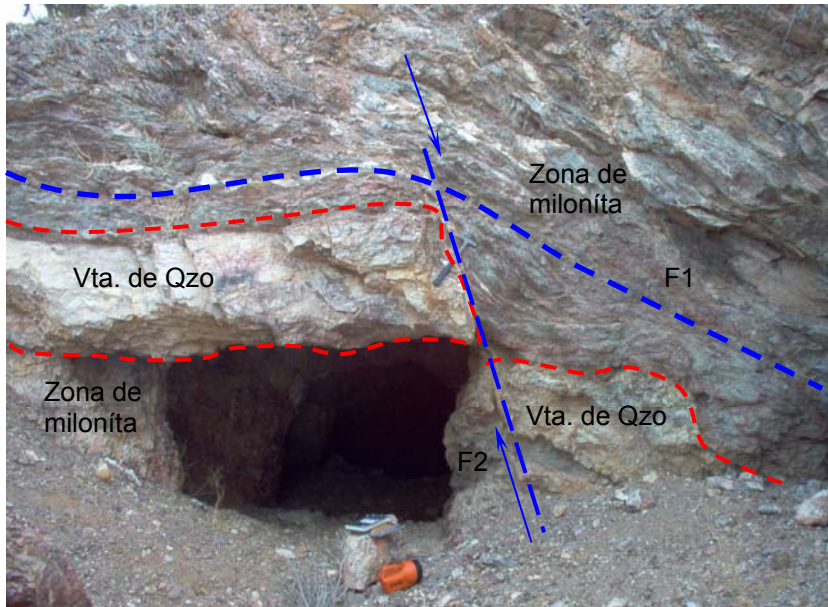


Foto 40.- Vista exterior de la mina Karina obra 1, donde se aprecian al menos dos patrones estructurales (F1 y F2). F1: estructura de bajo ángulo al que se asocian las vetas de cuarzo minadas en el área. Nótese el segundo evento de fallas (F2) que desplaza verticalmente las vetas.

Tabla 2.- Muestreo geoquímico realizado en la zona de obras en el área de Karina

No. MUESTRA	Au (ppm)	Ag (ppm)	Sb (ppm)	As (ppm)	MUESTRA	OBRA
2526	0	0	0.68	0.58	Roca	1
2527	0	0	0.68	0.64	Roca	
2528	0	0	0.46	0.64	Roca	
2529	0	0	0.46	0.58	Roca	
2530	9.75	9	0.51	0.68	Veta	
2531	0	0	0.46	0.32	Roca	
2532	12.25	10	0.46	0.32	Veta	
2533	0	0	0.46	0.51	Roca	
2534	0	0	0.68	0.32	Roca	
2535	0	0	0.46	0.45	Roca	
2536	4.25	5	0.46	0.51	Veta	
2537	0	0	0.46	0.32	Roca	
2538	0	0	0.46	0.26	Roca	
2539	0	0	0.46	0.32	Roca	
2540	17	98	0.46	0.19	Roca	
2541	0	0	0.23	0.26	Roca	3
2542	0	0	0.23	0.19	Roca	
2543	0	0	0.23	0.32	Roca	4
2544	0	0	0.23	0.26	Roca	
2545	0	0	0.23	0.19	Roca	
2546	9.5	6	0.23	0.26	Veta	
2547	0	0	0.23	0.32	Roca	
2548	45	20	0.23	0.26	Veta	
2549	7	20	0.23	0.26	Veta	
2550	21.25	61	1.14	0.44	Veta	
2551	2	7	0.68	0.32	Veta	
2552	3	14	0.68	0.19	Veta	
2553	1.5	8	0.91	0.38	Veta	

VIII.3.- DISCUSIÓN

Dada la cercanía de escasos 8Km de este proyecto con el depósito de La Herradura, no deja de ser interesante mostrar una serie de características en lo que respecta a su litología, mineralización-alteración y grado de metamorfismo o similitudes que tienen ambas áreas. A continuación se muestran las más relevantes de ellas:

a) En ambas áreas el basamento se encuentra representado por un gneis cuarzo feldespático de biotita y gneis de biotita. Sin embargo, la variante para Karina es la textura, que está representada por grandes porfiroclastos de feldespato potásico (augen gneis), las cuales no se observan en el depósito La Herradura.

b) El basamento se encuentra en contacto con rocas del Jurásico. En La Herradura, estas rocas están representadas por metasedimentos (filitas-pizarras-metaconglomerados), intercalados en ocasiones con areniscas y escasas riolitas. En Karina el Jurásico está representado por rocas volcanosedimentarias, flujos riolíticos y andesíticos (en ocasiones con textura porfídica) intercaladas con lentes de areniscas y metaconglomerados.

c) En La Herradura el contacto entre rocas jurásicas y el basamento Precámbrico está representado por fallas inversas. En Karina, la estructura está representada por un cabalgamiento, con una fuerte deformación, plegamiento y cizallamiento intenso hacia la zona de contacto.

d) En las dos localidades la mineralización de Au se encuentra alojada en vetas y vetillas de cuarzo emplazadas en zonas de falla, en parte mostrándose en un arreglo de las vetillas tipo "Echelón" al alto y al bajo de las estructuras

principales. Estas vetas o vetillas se caracterizan por la disposición en un echado cerca a la horizontal.

e) Las alteraciones presentes en las dos localidades son: sericita, carbonatación, propilitización y argilización.

En Karina, la alteración argílica se manifiesta como una franja rosa, hacia el centro del área y cercano a la zona de cabalgadura el color varía a grisáceo. Se encuentra relacionada a estructuras mineralizadas en el augen gneis y los colores rosados son debido a la presencia de hematita producto de la oxidación de la pirita. En La Herradura esta alteración está asociada al gneis cuarzo feldespático, relacionada a las zonas mineralizadas y representada por la paragénesis mineral de cuarzo-pirita-sericita.

La carbonatación está representada principalmente por vetillas de siderita-ankerita. Es común encontrar vetillas de calcita post-mineralización distribuida en ambas áreas, asociada principalmente a metasedimentos, gneis de biotita y zonas de esquisto. En Karina disminuye el contenido de vetillas de siderita-ankerita y aumentan las vetillas de calcita con respecto a La Herradura.

La alteración propilítica está constituida por clorita-epidota-calcita. Ocurre asociada al gneis de biotita, esquistos verdes, pegmatita, metasedimentos y en menor proporción en el gneis cuarzo feldespático. Se manifiesta como clorita reemplazando a la biotita y en los bordes de los feldespatos, como epidota en fracturas y calcita en forma de vetillas.

La argilización ocurre tanto en Karina como en La Herradura en forma débil. Se encuentra asociada principalmente a vetas y zonas mineralizadas y es caracterizada por la presencia de caolinita y/o montmorillonita.