

# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

**División de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**ENSAYO DE UN MODELO  
GEOMETALURGICO PARA LA ZONA DE  
SULFUROS PRIMARIOS PROFUNDOS DE LA  
MINA LA HERRADURA EN SONORA,  
MEXICO**

**TESIS**

**Que para obtener el Grado de:  
Maestro en Ciencias-Geología.**



**PRESENTA:**

**JUAN MIGUEL ROMERO VALLE**

**Hermosillo, Sonora, Marzo del 2017**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer a mi esposa e hija que me apoyaron en el desarrollo de esta tesis, que sin el apoyo de mi familia no hubiera sido posible culminar con este trabajo, de igual manera agradezco a Fresnillo PLC por las facilidades brindadas en la elaboración de este ensayo; que espero sea de gran utilidad para la empresa en la que actualmente me estoy desempeñando. También agradezco enormemente, a mi asesor de tesis el Dr. Efrén Pérez Segura, por dedicar su tiempo, conocimiento y por el gran apoyo que me ha brindado durante mi formación académica. A mis sinodales Dr. Lucas Ochoa Landín, el MC. Ricardo Amaya Martínez y el MC. José de la Torre Carlos, por el valioso aporte y a sus acertadas observaciones, así como también por los conocimientos transmitidos durante todo el trayecto de mis estudios de posgrado, también quiero extender estos agradecimientos, a todos mis maestros que me apoyaron durante el periodo de estudio y a todos mis compañeros de trabajo que me ayudaron enormemente en la etapa de preparación y estudios de campo, a todos ustedes.

Muchas Gracias.

## Tabla de Contenido

<b>I. RESUMEN</b> .....	1
<b>II. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>III. GEOMETALURGIA</b> .....	4
<i>III.1. Algunas bases de la geometalurgia</i> .....	4
<i>III.2. Técnicas de trabajo</i> .....	5
<i>III.3. Planificación geometalúrgica</i> .....	6
<i>III.4. Objetivos del presente trabajo</i> .....	8
<b>IV. MARCO METALOGÉNÉTICO DE LOS YACIMIENTOS DE ORO OROGENICO EN SONORA</b> .....	9
<b>V. EL YACIMIENTO LA HERRADURA</b> .....	13
<i>V.1. Geología Regional</i> .....	13
<i>V.2. Geología Local</i> .....	15
<i>V.3. Basamento Proterozoico</i> .....	15
<i>V.4. Secuencia sedimentaria Paleozoica</i> .....	17
<i>V.5. Serie Jurásica sedimentaria y volcánica metamorfozada.</i> .....	17
<i>V.6. Rocas intrusivas del Cretácico tardío</i> .....	19
<i>V.7. Rocas Volcánicas del Oligoceno tardío y Mioceno temprano</i> .....	20
<i>V.8. Deformación Local</i> .....	20
<i>V.9 Mineralización de Oro</i> .....	21
<b>VI. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS CUERPOS DE MINERAL</b> .....	21
<i>VI.1. Zonas Mineralizadas</i> .....	21
<i>VI.2. Controles Estructurales de Cuerpos Minerales</i> .....	22
<i>VI.3. Dimensiones Económicas del Yacimientos</i> .....	23
<i>VI.4. Edad de la Mineralización</i> .....	24
<i>VI.5. Origen de los Fluidos</i> .....	24
<i>VI.6. Nivel de Exposición del Depósito</i> .....	24
<b>VII. GEOMETALURGIA EN EL YACIMIENTO LA HERRADURA</b> .....	25
<i>VII.1. Definición de las zonas para el estudio</i> .....	25
<i>VII.2. Definición de compósitos</i> .....	28
<i>VII.3. Concentraciones gravimétricas</i> .....	30
<i>VII.4. Resultados obtenidos</i> .....	32

<i>VII.5. Análisis de los concentrados por Mineral Liberation Analyzer (MLA)</i> .....	36
<i>VII.6. Identificación de especies y composición mineralógica global</i> .....	37
<i>VII.7. Identificación de especies de oro, abundancia relativa y modos de ocurrencia</i> .....	38
<b>VIII. EL MODELO GEOMETALURGICO</b> .....	50
<i>VIII.1. Consideraciones para el cálculo de las constantes de recuperación metalúrgica</i> .....	51
<i>VIII.2. Cálculos a partir de las constantes de recuperación obtenidas con MLA.</i> .....	52
<i>VIII.3. Cálculos de las mismas zonas utilizando datos experimentales.</i> .....	55
<i>VIII.4. Comparaciones de los cálculos efectuados.</i> .....	58
<b>IX. CONCLUSIONES</b> .....	59
<b>X. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	62
<b>XI. APENDICE</b> .....	66

## I. RESUMEN

El distrito La Herradura se encuentra localizado en el noroeste del Estado de Sonora; México. Este depósito fue descubierto en 1991 por Minera Penmont y ha sido minado a cielo abierto desde 1998. La Herradura es un depósito de clase mundial considerado como depósito de baja ley (Au promedio 0.80 g/t) con una reserva conocida desde su descubrimiento hasta la actualidad de un poco más de 7.5 millones de onzas.

Este depósito se interpreta como un tipo de oro orogénico formado durante el período Laramide, donde la mineralización de oro ocurre como oro nativo en vetas y vetillas de cuarzo. La mineralización está controlada por estructuras de rumbo NW-SE limitada por 2 estructuras llamadas Victoria y Ocotillo. A pequeña escala la mineralización se ubica en vetas y vetillas de cuarzo que siguen diferentes familias ya descritas anteriormente. Las rocas huéspedes de la mineralización son principalmente gneises cuarzo-feldespáticos, los cuales son más favorables a generar estructuras en un ambiente dúctil-frágil.

Las dimensiones de los cuerpos minerales basado en un *cut off* de 0.30 g/t mostrando cuerpos de 10 a 100 metros de ancho y más de 1 km de largo. El tajo Mega\_Centauro corresponde a la ubicación de la principal fuente de reserva del distrito, y su extensión vertical y horizontal ha sido determinada por la perforación con sistema de perforación a diamante confirmando que es superior a 1 km.

El objetivo de este trabajo de investigación fue el de elaborar un modelo geometalúrgico para la zona de sulfuros primarios profundos de la mina La Herradura, que permita predecir todos los aspectos relacionados con la recuperación de oro en la planta metalúrgica. Se definieron 3 zonas geometalúrgicas llamadas zonas A, B y C. De cada compuesto se hicieron concentrados gravimétricos, mismos que se estudiaron con el programa *Mineral Liberation Analyzer* (MLA). Los concentrados se constituyen de una ganga rica en cuarzo y pirita con oro. El oro está como *oro electrum* y *petzita*. Las principales especies de no metálicas son cuarzo, albita, muscovita y ankerita, entre otras. El

contenido de plata detectada en las partículas de oro electrum es de 20 a 30 %. Las asociaciones de oro identificadas consisten de oro libre, oro en los bordes de pirita, oro en inclusiones en pirita, así como en diversas gangas como cuarzo, albita, ortoclasa, ankerita. A partir de los datos de MLA se calcularon constantes de recuperación de oro de 92 % para la Zona A, 79 % para la Zona B y de 84 % para la Zona C. Con estos datos se elaboró el modelo geometalúrgico calculando las cantidades totales de oro recuperable en el yacimiento. El cálculo se comparó con otros a partir de pruebas experimentales de cianuración en botella, encontrándose cantidades de oro recuperado muy similares para las Zonas A y C. Se concluye también que no es necesaria una remolienda de mineral a -0.075 mm (-200 mallas), puesto que a -1 mm (-20 mallas) se pueden obtener resultados satisfactorios. Si la anterior propuesta es puesta en marcha, se traducirá en un ahorro considerable en los costos de producción de oro.

## **II. INTRODUCCIÓN**

La Geometalurgia es una disciplina integradora emergente que tiene el propósito de incorporar los diferentes aspectos de planificación integral de la actividad minera, desde la fase de exploración mineral. Incluye los planes de minado y aspectos como dureza, facilidad del mineral a la molienda, la recuperación metalúrgica (función de la liberación, forma y textura mineral, etc.) o la calidad de los concentrados, entre otros. Metodológicamente, se deberá obtener información a nivel macro y microscópico. Las variables geometalúrgicas son elementos importantísimos en el momento de determinar costos y utilidades de una mina o de un proyecto minero.

La evaluación integral de una mina o de un proyecto minero consiste en determinar las toneladas de mineral que están por encima de la ley mínima de corte (*cut-off*), la distribución espacial de la relación toneladas/ley por encima del valor del *cut-off*, para una o más variables. La dilución, pérdidas de mineral y la recuperación metalúrgica son factores que pueden variar y que deben ser considerados en la etapa de evaluación de los recursos y reservas mineras y en la determinación de la rentabilidad del proyecto. Adicionalmente, es muy importante considerar la concentración de elementos perjudiciales,

costos de minado y procesamiento y rendimiento metalúrgico. Al integrar la geología, operaciones mineras y procesamiento de minerales (metalurgia); la geometalurgia pretende mejorar el proceso de evaluación de los recursos económicos, por lo que sus resultados son mucho más valederos. Además, la geometalurgia es totalmente aplicable, tanto en las etapas de operación de una mina, como en los estudios de factibilidad de un proyecto minero.

La estrategia geometalúrgica en el planeamiento minero y el diseño de planta se basa en identificar las diversas propiedades del mineral que contribuyen a establecer más acertadamente el valor de un recurso. Esto incluye los atributos tradicionales tales como la ley económica de los elementos constituyentes y variables menos tradicionales como: concentración de elementos perjudiciales, dureza, facilidad a la molienda del mineral, especies minerales, liberación del mineral, recuperación metalúrgica, recuperación minera, facilidad de perforación, facilidad a la fragmentación, consumo de reactivos, entre otros.

En la etapa de los estudios de factibilidad, la adecuada caracterización de minerales combinado con el modelamiento espacial de características físicas críticas del mineral en el yacimiento, proporcionan elementos mucho más valiosos para establecer el diseño de planta. Esto reduce los riesgos asociados al desarrollo de operaciones nuevas o el diseño de ampliaciones. Identificar plenamente el cuerpo mineral permite identificar deficiencias en los productos y encontrar oportunidades de bajo costo y/o alto valor.

En las etapas de operación de planta, la geometalurgia permite mejorar la comunicación entre geólogos, planificadores mineros y metalurgistas. Todas las disciplinas trabajando juntas para comprender el valor del depósito y efectuar mejor programación de la extracción de los diversos tipos de materiales. Con ello se reduce el riesgo e incertidumbre del control de ley, minado y procesamiento.



### III. GEOMETALURGIA

#### *III.1. Algunas bases de la geometalurgia*

La geometalurgia basa su principio en la comprensión de que las menas con combinaciones de minerales, no de elementos químicos y, puesto que todos los procesos tratan con minerales, son las características fisicoquímicas de éstos las que determinan las condiciones de un proceso de recuperación industrial. De una manera más específica, a continuación se mencionan algunas de las bases que sustentan la geometalurgia:

- Las menas son combinaciones de minerales. Son entonces las características de éstos las que determinan las condiciones de los procesos industriales. La determinación y control de procesos basada sólo en una química general puede ser engañosa.
- Los depósitos minerales están formados por más de un tipo de mena.
- Los minerales de ganga son mucho más abundantes que los de mena. Estos minerales pueden determinar, por ellos mismos, condiciones de procesos de minado, quebrado, molienda, flotación, etcétera.
- En algunas menas el metal importante ocurre en más de un mineral, los minerales tienden a presentar diferente comportamiento durante los procesos; las recuperaciones de un elemento pueden ser diferentes para diferentes minerales. Por otra parte, es el tipo de mineral de mena recuperado el que determina por ejemplo, la ley de un concentrado que alimenta a una fundición.
- No reconocer las aseveraciones previas, implica problemas en los procesos (*i.e.* baja recuperación). De donde las mezclas de menas de diferentes unidades geometalúrgicas, pueden ser la solución adecuada durante la vida de una mina.
- El modelo geometalúrgico es el resultado del conocimiento global, química, comportamiento a los procesos y recuperación. Esto significa que no deberían ocurrir sorpresas significativas durante la vida de una mina.

### *III.2. Técnicas de trabajo*

Como toda actividad de investigación que trabaja con muestras, lo más importante es la representatividad de la muestra que, en este caso, debe ser extrapolable a decenas o centenas de miles de toneladas de mineral. Por lo tanto, quienes se involucran en un estudio geometalúrgico participan activamente desde la selección y toma de muestras, hasta un reporte final. Las técnicas de trabajo van desde la escala hectométrica hasta la escala microscópica. Una metodología general involucra los siguientes aspectos:

- Cartografía geológica de detalle en el yacimiento (reconocimiento de litología, tipos y grados de alteración y mineralización).
- Descripción detallada de núcleos de barrenos de diamante (reconocimiento de los mismos parámetros anteriores y selección de tramos para muestreo).
- Muestreo de rocas mineralizadas representativas y de tipos de mineral para compósitos (con el objeto de definir unidades geometalúrgicas y realizar trabajo de detalle al microscopio).
- Estudio de láminas delgadas y secciones pulidas al microscopio polarizante (definición de las características mineralógicas, litológicas y texturales al microscopio).
- Estudios de difracción de rayos X, cuando son necesarios.
- Estudios al microscopio electrónico de barrido (MEB) con EDS (*Energy Dispersive System*) para estudiar la composición específica de los minerales y las texturas a esta escala.
- Utilización de programas informáticos como *Mineral Liberation Analyzer (MLA)* o equivalente, adaptado al MEB-EDS, el cual equivale a un programa que permite un conteo automatizado de partículas por composición mineral y cálculo del grado de liberación de las partículas.
- Reconciliación entre composición química global de muestras y fracciones calculadas con base en las composiciones de los minerales específicos y la composición modal (mineralógica) de la muestra.

### III.3. Planificación geometalúrgica

La evaluación geometalúrgica implica cambios en los procedimientos tradicionales de descripción de barrenos (*core logging*). En estas se debe introducir técnicas de evaluaciones mineralógicas asociadas a los procesos metalúrgicos, (respuestas de las diversas variables metalúrgicas e introducción de esas respuestas en la definición de bloques geometalúrgicos) Figura 1.

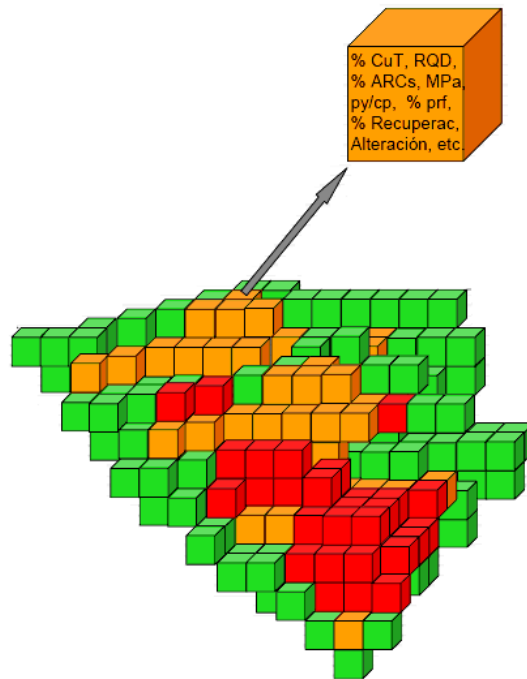


Figura 1. Bloques geometalúrgicos indicando parte de la información requerida por el sistema.

Un bloque geometalúrgico es una porción tridimensional de mineral de yacimiento el cual ha sido caracterizado en cuanto a sus diversas propiedades, tanto geológicas como metalúrgicas. Ello permite tener el registro completo del yacimiento de modo que el rendimiento metalúrgico y su valor económico quedan determinados mucho antes de que el mineral ingrese a la planta metalúrgica.

Por intermedio de la geología se realizan las evaluaciones sobre las relaciones espaciales del mineral, propiedades tales como la litología y alteraciones, distribución mineral, fracturas, etc., de lo que resulta información fundamental para evaluar

económicamente un yacimiento. Esta información geológica debe ser re-evaluada y complementada con atributos de proceso metalúrgico. Para el metalurgista es importante conocer la distribución de materiales en el yacimiento, su variabilidad, las asociaciones mineral de mena-ganga, intensidad de alteraciones del mineral con una perspectiva espacial de tres dimensiones, situaciones que son bien conocidas por el geólogo.

Las características metalúrgicas se deben asociar con el mineral y sus características litológicas, e incorporar todo ello en los modelos geometalúrgicos tridimensionales. En última instancia, un modelo geometalúrgico debe conducir a la creación de una matriz que incluya la geología, mineralogía, condiciones de extracción de mina y parámetros metalúrgicos que se utilizarán en el planeamiento minero y diseño de procesos.

En la Tabla 1 y Figura 2 se sintetizan algunos de los aportes de cada una de las disciplinas que participan en la actividad minera. El éxito de un modelo geometalúrgico implica la creación de una matriz que incluya las variaciones geológicas, mineralógicas y pruebas de rendimiento, información que será utilizada en el planeamiento de minado y el diseño general.

En términos generales, la caracterización del mineral es la cuantificación de la información física obtenida de muestras que representan un cuerpo mineralizado. La información recopilada como parte de un programa de caracterización de mineral proporciona la base objetiva para el abordaje del mapeo geometalúrgico. La planificación exitosa de una mina requiere información proveniente de varias disciplinas diferentes (geología, química, mineralogía) o de parámetros (propiedades físicas, respuesta metalúrgica y mediciones geotécnicas), Figura 2.

Disciplina	Parámetro	Pruebas posibles
Geología	Relaciones de campo	Mapeo, perforación, inclinación.
Química	Ley de mineral	Análisis.
Mineralogía	Zonamiento	Identificación de los minerales, asociación, tamaño, textura e información de liberación, disponible vía Microscopía Electrónica.
Propiedades Físicas	Dureza – Molienda	Índices de trabajo (Bond Work Index), la prueba por caída de peso JK, Índice SPI, prueba de molino de 18" Mac Pherson
Respuesta Metalúrgica	Recuperación	Cinética de flotación, pruebas por ciclos bloqueados, oro GRG, pruebas de hundimiento/flotación, pruebas de lixiviación en botella.
Medidas Geotécnicas	Preparación del sitio, revisión del medio ambiente	Densidad de suelos, flujos de aguas freáticas, estabilidad de taludes.

Tabla 1. Aportes de las diversas disciplinas en el desarrollo del Modelo Geometalúrgico

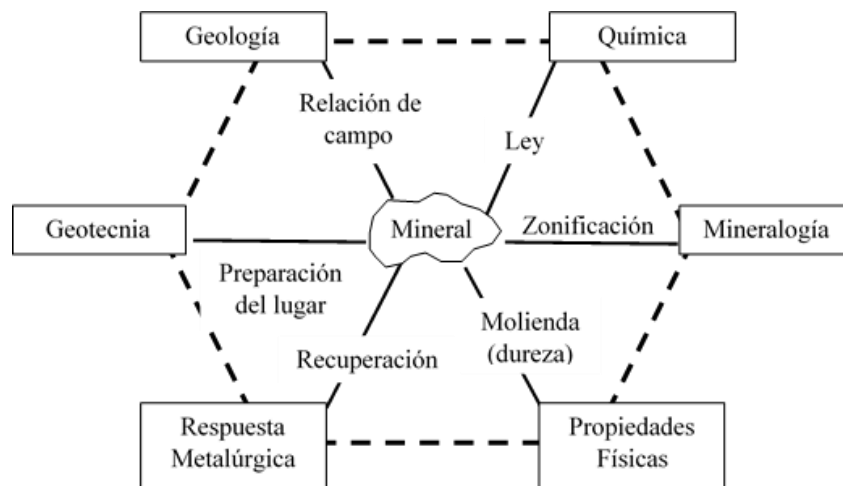


Figura 2. Disciplinas y su interacción en la caracterización Geometalúrgica

#### III.4. Objetivos del presente trabajo

En mina La Herradura se han obtenido, a través de la historia, 5.4 millones de onzas de oro, durante 17 años de operación de la mina. El método de beneficio para la zona de oxidación del yacimiento ha sido por un proceso de cianuración estática en montones (*heap-leaching*), sin embargo, desde el año 2013 opera una planta de cianuración dinámica para minerales de beneficio más complejo, como las zonas de mezcla óxidos-sulfuros y para la zona de sulfuros primarios. Considerando que una buena parte del recurso por minarse se encuentra en sulfuros primarios y, considerando que el comportamiento metalúrgico de esta zona es diferente del de la zona de oxidación, se decidió llevar a cabo

esta investigación. El objeto del presente trabajo es incorporar algunos elementos de la geometalurgia a la explotación y beneficio de la zona de sulfuros primarios de La Herradura, con la idea de que, a futuro, el modelo geológico de explotación de la mina pueda transformarse a un modelo geometalúrgico que pueda predecir, desde antes de la explotación las mejores condiciones mineras y económicas de la operación. Puesto que existe muy poca información geometalúrgica para yacimientos de oro, el presente ensayo puede considerarse novedoso.

#### **IV. MARCO METALOGENÉTICO DE LOS YACIMIENTOS DE ORO OROGENICO EN SONORA**

Los yacimientos de oro orogénico, también conocidos como depósitos de Au en zonas de cizalla, tipo *Mother Lode*, Oro Mesotermal y Au metamórfico, entre otros, han sido ampliamente reconocidos y estudiados por autores como Groves *et al.*, (1998); Goldfarb *et al.* (1998), Goldfarb *et al.*, (2001); 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 convergentes.

La formación de estos depósitos de oro se relaciona a cinturones metamórficos durante diferentes episodios de la historia geológica, principalmente antecediendo al Neoproterozoico. Los períodos más importantes son entre 2800 y 2550 Ma, 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 o transpresionales y dentro de regímenes dúctil y frágil. También tienen un desarrollo en 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 pero siempre inferior a 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. Un modelo esquemático de estos depósitos puede verse en el dibujo de la figura 3.

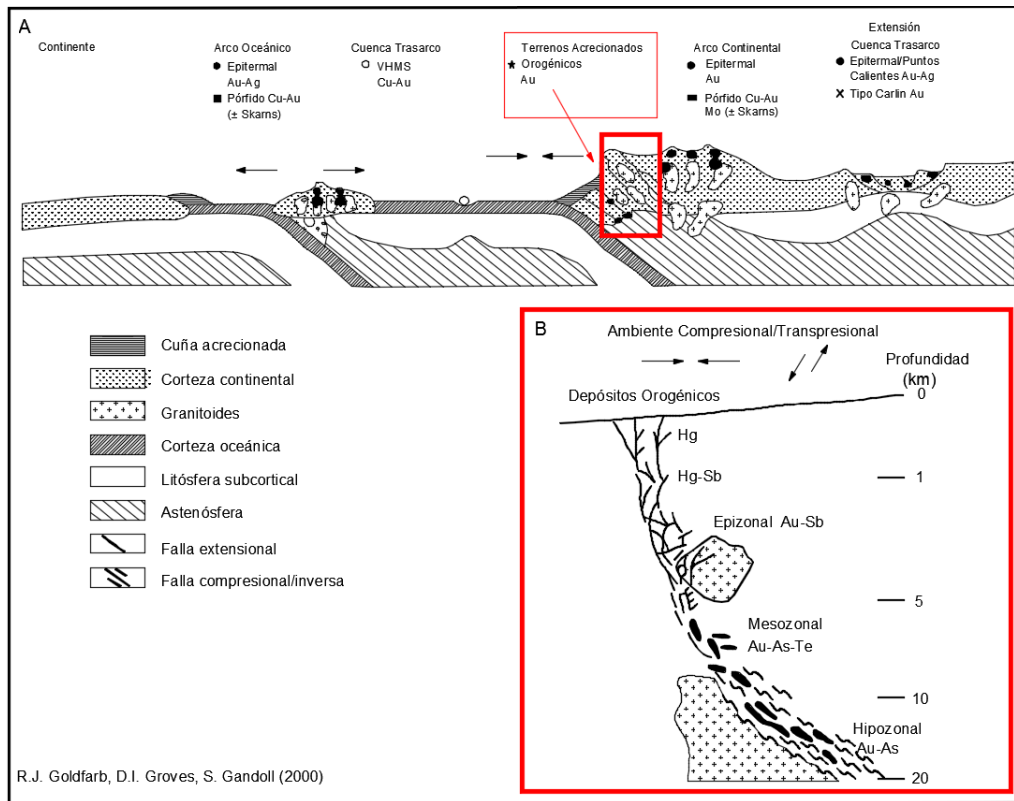


Figura 3. Modelo modificado de Goldfarb *et al*, 2000.

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; otros elementos como 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 cerca de lo neutral y

contenidos importantes de  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$ , con un elevado contenido de  $\text{CO}_2$  (Lang, J., 2003).

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 cratonización 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 (Pérez-Segura, 1989; Albinson, 1989), o 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 con 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 documentado por Noriega-Martínez (2006) y Araux-Sánchez (2000), así como también, ha sido documentado por Ochoa-Landín, *et al.*, (2011) quien últimamente ha estudiado los depósitos de oro orogénico del estado de Sonora. Sin embargo, existen casos en que las vetas con oro se encuentran hospedadas en cuerpos intrusivos, como sucede en la Sierra Pinta (Araux-Sánchez, 2000) y La Choya (Thompson, T.B. (ed), 1998).

Se tiene la presencia de varios yacimientos 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 2.



Depósitos	Criterios Geológicos Regionales			Criterios Geológicos Locales			
	Estructuras Regionales	Estructura	Grado de Metamorfismo	Roca Huesped	Estructura	Edad de la Mineralización	Sulfuros - Óxidos
Karina	Cabalagadura Pe-Jr	Veta de Qzo	SQV- Anfibolitas	Gneis Pe	NE-SW	S/D	Py + Gal + Hm
Quitovac	Cabalagadura Pe-Jr	Veta de Qzo	Anfibolitas	Gneis y Esquistos Pe	Zona de cizalla de bajo ángulo	65 Ar/Ar muscovita	Gal + Cpy + Qzo
La Choya	Cabalagadura Pe-Jr	Veta de Qzo	SQV- Anfibolitas	Complejo granitoides	NW- SE, NE-SW	48-52 Ar/Ar muscovita	Py + Gal + Hm
La Herradura	Cabalagadura Pz-Pe	Veta de Qzo	SQV- Anfibolitas	Gneis y Esquistos Pe	Zona de cizalla NW-SE	6l Re-Os en Py-magnetita	Hm + Py + Wf + Gal
Soledad - Dipolos	Cabalagadura Pz-Pe	Veta de Qzo	SQV- Anfibolitas	Gneis y Esquistos Pe	Zona de cizalla NW-SE	6l Re-Os en Py-magnetita	Hm + Py + Qzo
Noche Buena	Jr volcánico Jr ígneo	Veta de Qzo	SQV- Anfibolitas	Metareniscas y Metarolitas del Jr.	NW 40-50°	49.2 ± 2 sericita en vetas	Hm + Py + Qzo
Tajitos	Jr volcánico Jr ígneo	Veta de Qzo	SQV- Anfibolitas	Metareniscas y Metarolitas del Jr.	NW 40-50°	49.2 ± 2 sericita en vetas	Hm + Py + Qzo
Juarez-San Francisco		Veta de Qzo		Metareniscas y Metarolitas del Jr.	NW 60-70°	S/D	Py + Gal + Hm
Sierra Pinta	Cabalagadura Pz-Pe	Veta de Qzo		Granito de 2 nicas en unidades metamórficas	NE 22-35°	54.8 ± 1.4 muscovita	Py + Gal + Cpy + Cv + Cc + Hm + Sph
San Francisco	Cabalagadura Jr-Pe	Veta de Qzo Qzo-Turmalina		Granito leucocrático	NW 30-70°	4l Ar/Ar sericita hidrotermal	Tur + Qzo + Ab + Fen + Cl + Cc + Gh + Py
El Chanate	Bajo ángulo	Veta y vetillas de Qzo		Areniscas del Cretácico	NW-SE		Py + Gal + Esf.

**Abreviaciones:** Qzo = cuarzo, Turm = turmalina, Jr = Jurásico, Pz = Precambriaco, Pe = Paleozoico, Pe = Paleozoico, Pe = Precambriaco, Sq = esquistos, Anf = Anfibolitas, Cv = Covellita, Cc = Calcosita, Fen = Fengita, esf = Esfalerita.

Tabla 2. Caracterización de depósitos orogénicos en el Noroeste de Sonora (Modificada por el Autor)

Iriondo, A., 2001, Romero-Valle 2003, Noriega-Martínez 2006, Herrera-Urbina y Pérez-Segura 1990, Thompson, T.B.(ed), 1998, Quintanar-Ruiz 2008.

## V. EL YACIMIENTO LA HERRADURA

### *V.1. Geología Regional*

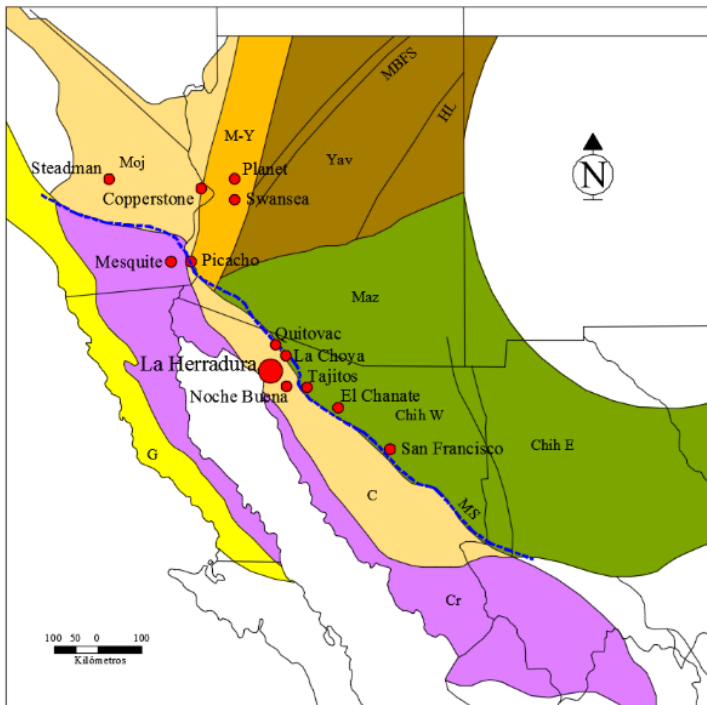
El distrito de oro La Herradura se encuentra en el noroeste de Sonora, México (figura 4), y es parte de la región fisiográfica llamada la provincia de Cuenca y Cordillera (Raisz, 1964). Las rocas huésped de la mineralización de oro La Herradura son parte del terreno Caborca (Haxel, 1984; Molina e Iriondo, 2007).

El terreno Caborca está compuesto de un basamento Proterozoico (figura 5) sobre el cual se encuentra en discordancia una serie de rocas del Devónico y rocas carbonatadas del Pensilvanico, pertenecientes a un ambiente de plataforma de la cordillera miogeoclinal expuesta a lo largo del borde occidental del cratón de Norteamérica (Poole, 2004). Sobre la secuencia carbonatada del Paleozoico descansa en discordancia una serie sedimentaria mesozoica en entornos de transición y marinos (González-León, 1980).

Parte de la historia tectónica en el terreno Caborca es la megacizalla Mojave-Sonora, aunque existe controversia acerca de la ubicación de este accidente regional propuesto. Esta estructura se propuso como una falla de comportamiento transformante lateral izquierdo que operó durante el Jurásico tardío, lo cual facilitó la apertura del Golfo de México y se asoció con la fase de *rifting* de Pangea (Silver y Anderson, 1974). Por otra parte, la megacizalla Mojave-Sonora se considera que representa la zona de sutura de dos basamentos en contacto (Yavapai y Mazatzal) en la región (Molina y Iriondo, 2007; Izaguirre, 2009). La megacizalla Mojave-Sonora también se ha interpretado como una primera estructura que controla la distribución de varios yacimientos en el norte de México y el suroeste Estados Unidos de América (Titley y Zürcher, 2008).



Figura 4. Plano de localización mina La Herradura al noroeste del estado de Sonora, México (J. Romero, 2005).



Las abreviaturas son:

- C: Terreno Caborca.
- Chih E: Terreno Proterozoico Oriental Chihuahua.
- Chih W: Terreno Proterozoico Occidental Chihuahua.
- Cr: Acreción cratónica del terreno Cortez.
- G: Acreción Mesozoica Terreno Guerrero.
- Maz: Provincia Proterozoica Matatzal.
- Moj: Provincia Proterozoica Mojave.
- M-Y: Transición Proterozoica Mojave-Yavapai.
- MS: Mojave Sonora Megashear.
- MBF: Sistema de Fallas Butte (tendencia Magnética) y
- HL: Línea Holbrook (tendencia magnética).

Figura 5. Mapa tectónico mostrando la localización de la Mojave Sonora Megashear y los principales distritos de oro orogénico al Suroeste de Norte América (Según Tittley y Zürcher, 2008)

## *V.2. Geología Local*

El distrito La Herradura se extiende en una superficie de 15 x 15 km (Figura 6) y los cuerpos mineralizados están continuos y hospedados en el basamento Proterozoico que se limita al Este por rocas volcánicas del Jurásico (fechadas por Quintanar-Ruiz, 2008 e Izaguirre-Pompa, 2009) y rocas clásticas-sedimentarias probablemente de edad Jurásico. Hacia el Oeste el basamento está cubierto por rocas sedimentarias del Paleozoico que corresponden a calizas, dolomías y cuarcitas de edad Mississippico y Pensilvánico (Poole, 2004). También, rocas intrusivas del Cretácico afloran en el Cerro Los Indios en la parte SW del distrito y depósitos aluviales profundos cubren la región W.

## *V.3. Basamento Proterozoico*

El basamento Proterozoico que aloja la mineralización de oro de La Herradura está compuesta por gneises en grado de anfibolita. Este cinturón metamórfico está formado por una variedad de rocas, tales como secuencias masivas de gneis cuarzo-feldespato y gneis de biotita, así como, esquistos verdes y cafés con intensa deformación formando pliegues muy apretados que por el comportamiento plástico de la roca no fueron favorables para hospedar la mineralización, además de los esquistos, se encuentran diques de pegmatita (Salvatierra y Novelo, 1995). El basamento se ha reconocido en afloramientos y pozos de perforación, continuo en una dirección N50°W por 15 km y a unos 5 km de ancho (Figura 6). Estas rocas del basamento Proterozoico se han fechado entre 1.75 y 1.65 Ga usando U-Pb en zircones (Quintanar-Ruiz, 2008; Izaguirre-Pompa e Iriando, 2007; Izaguirre-Pompa, 2009).

Dentro de las rocas del Proterozoico, el gneis cuarzo-feldespático fue el más favorable para hospedar la mineralización de oro y otros minerales (Galena, Wulfenita, Piritita, Anglesita, Especlarita, Hematita, Siderita, Ankerita y Calcita).

Algunas breves descripciones de las muestras que forman el cinturón metamórfico Proterozoico se enuncian en la tabla 3 (López y Díaz de León, 1995).

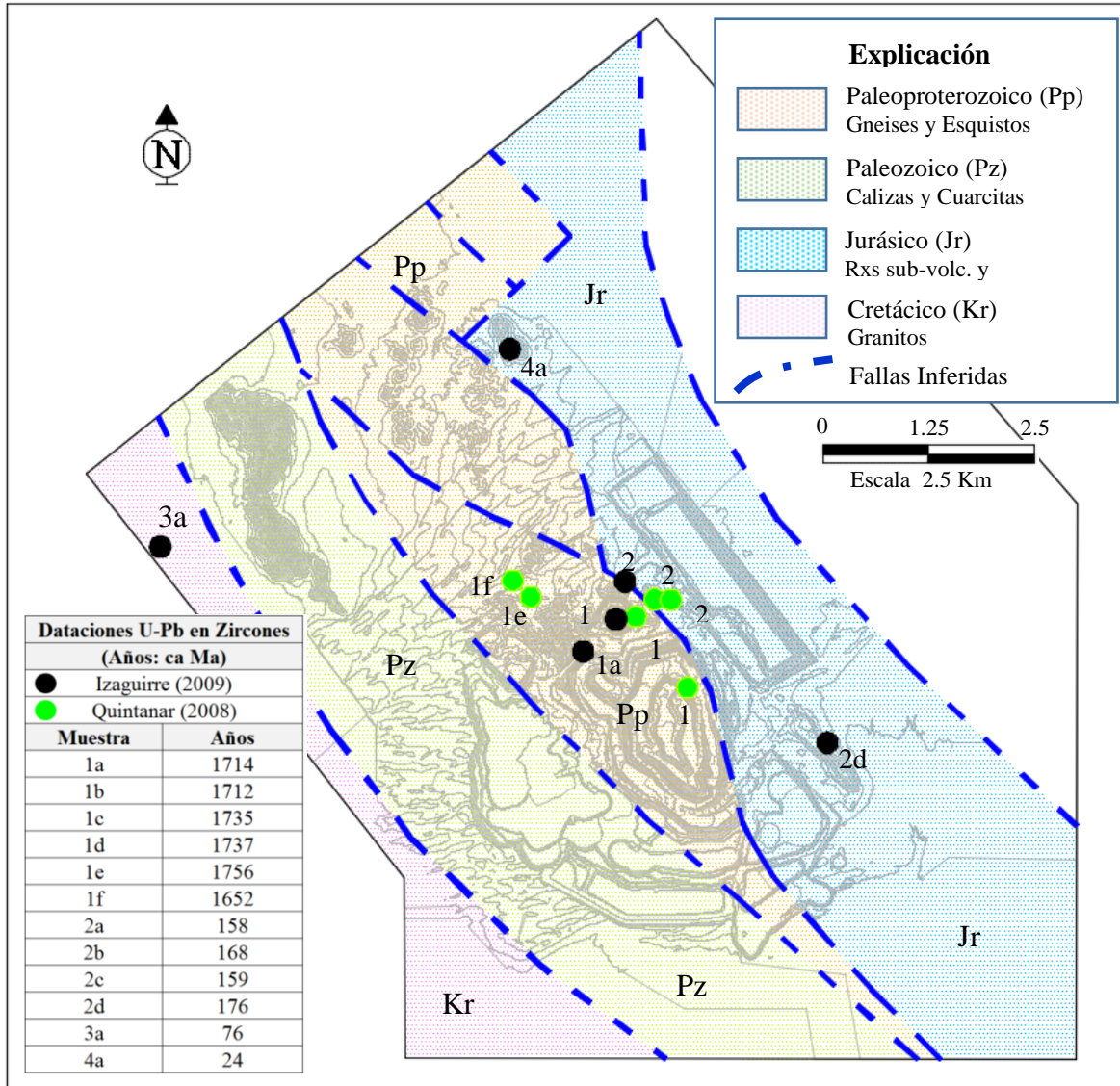


Figura 6. Mapa geológico de mina La Herradura mostrando la ubicación de las muestras fechadas por U-Pb en zircon.

Rocas del Proterozoico: Gneis y esquistos con diques pegmatíticos					
Tipo de Roca	Codigo	Color	Textura	Mineralogia	Comportamiento
Gneis Qzo-Feldespático	GQF	Rojizo	Granoblástico, equigranular con fragmentos de cuarzo medio a grueso	Cuarzo + Felds y Muscovita	Masivo
Gneis de Biotita	GNB	Verde	Foliado, granoblástico con fragmentos de grano medio a grueso	Cuarzo + Felds + Biotita y Clorita	Masivo y en zona de cizalla
Esquisto Café	SQC	Café rojizo	Foliado, granoblástico con fragmentos de grano fino a grueso	Cuarzo + Hm y Muscovita	Zona de cizalla
Esquisto Verde	SQV	Verde	Foliado, granoblástico con fragmentos de grano fino a grueso	Cuarzo y Clorita	Zona de cizalla
Pegmatita	PGM	Blanco verdoso	Pertitica	Cuarzo y Feldespato	Diques

Tabla 3. Características litológicas de las rocas metamórficas de La Herradura (López y Díaz de León, 1995).

#### *V.4. Secuencia sedimentaria Paleozoica*

Las rocas paleozoicas se encuentran al oeste y noroeste del distrito de oro de La Herradura en contacto tectónico con el basamento Proterozoico a lo largo de la falla de Ocotillo (Figura 7 y 8). Estas rocas corresponden a una secuencia de rocas sedimentarias que han sido transformados a carbonatos marmolizados intercalado con cuarcita. Esta secuencia se presenta fuertemente deformada posiblemente producto de una tectónica compresiva del Mesozoico. El estudio de Poole y Amaya (2004) en un área de 5 a 10 km al noroeste de la mina indica que las rocas están representadas por dos unidades: la primera por rocas deformadas y transformadas en mármol, dolomita y cuarcita y una segunda unidad de caliza con horizontes fosilíferos ligeramente deformados. La presencia de braquiópodos y corales indica una edad probable del Paleozoico tardío (Pensilvánico), según datos de Poole y Amaya (2004).

#### *V.5. Serie Jurásica sedimentaria y volcánica metamorfizada.*

Las rocas jurásicas que afloran al este de la unidad Proterozoica corresponden a dos diferentes unidades de roca. Al este del tajo Mega-Centauro se encuentra una secuencia meta-sedimentaria y hacia el al noreste aflora una unidad meta-subvolcánica (figuras 7 y 8). La secuencia meta-sedimentaria se encuentra al alto de la falla Victoria, y se compone de unidades interestratificadas de conglomerados, areniscas, filitas y lutitas. El conglomerado predomina en la base de la secuencia.

Las rocas meta-volcánicas (rocas sub-volcánicas) corresponden a meta-riolitas y meta-andesitas mostrando débil a moderada deformación. Esas rocas fueron fechadas por U-Pb en zircón en 167.8 Ma para una meta-riolita y 159 Ma para la meta-andesita (Quintanar-Ruiz, 2008). Otras edades obtenidas por este método arrojaron resultados muy similares, de 176.2 Ma para la meta-riolita y 157.9 para la meta-andesita (Izaquirre-Pompa, 2009).

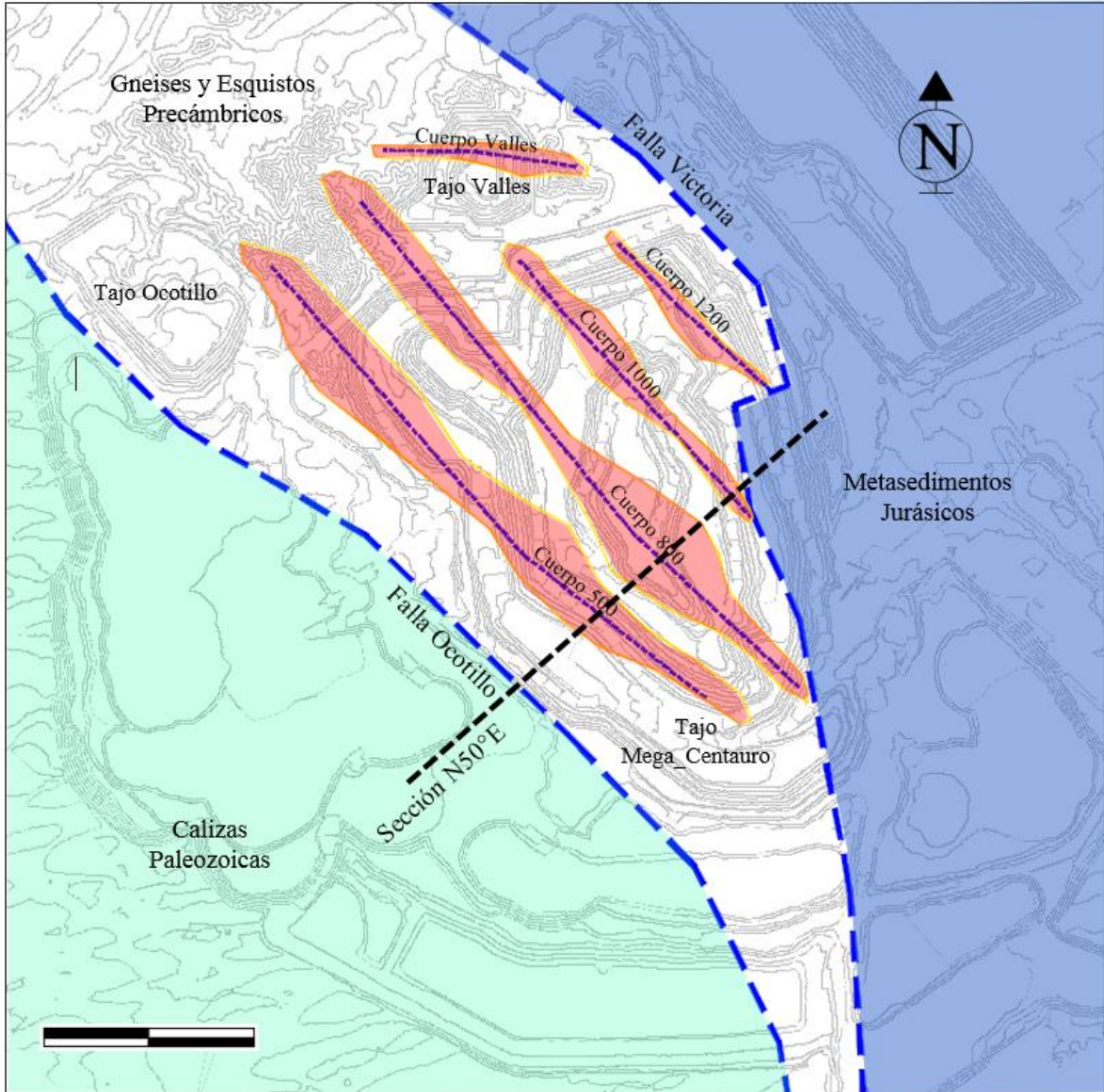


Figura 7. Mapa geológico mostrando las estructuras principales y los cuerpos mineralizados relacionados a estas estructuras, dentro de los Tajos Mega\_Centauro y Valles en el mina La Herradura. (De la Torre, de 2005).

Sección N50°E viendo al NW

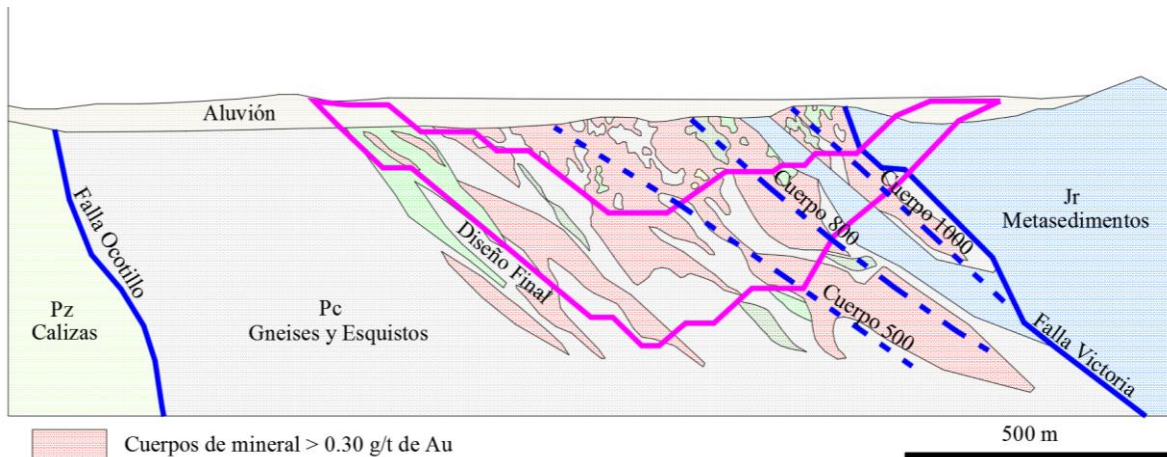


Figura 8. Sección viendo al NW del Tajo Mega\_Centauro. El tajo y las áreas a sus alrededores muestran la relación entre las unidades del Paleoproterozoico (Pp), paleozoico (Pz) y Jurásico (Jr) (De la Torre, 2005).

#### V.6. Rocas intrusivas del Cretácico tardío

El cuerpo granítico correspondiente al Cretácico tardío en la zona del depósito de oro de La Herradura, está situado a menos de 5 km al suroeste del tajo Mega-Centauro (Figura 7). Tiene una textura equigranular gruesa y se compone de cristales de cuarzo, plagioclasas y feldespato las cuales alcanzan un tamaño de unos pocos centímetros. Este granito fue fechado por U-Pb en zircones en la localidad del Cerro El Indios en 76.3 Ma por Izaguirre-Pompa (2007, 2009). Un segundo afloramiento de granito, ubicado a 10 km norte-NE del tajo Mega\_Centauro en el lugar llamado Sierrita Blanca, fue fechado por la misma metodología en 69.7 Ma (Izaguirre-Pompa, 2007, 2009).

Estas intrusiones graníticas ocurrieron durante el Cretácico y corresponden a la actividad tectónica relacionada con el arco magmático Laramide que se desarrolló entre 90 y 40 Ma (Silver y Anderson, 1974, Molina y Iriondo, 2007; Izaguirre, 2009, Titley y Zürcher, 2008, entre otros).



### *V.7. Rocas Volcánicas del Oligoceno tardío y Mioceno temprano*

Estas rocas son de composición andesítica y basáltica y corresponden a una Edad Oligoceno. Las rocas fueron fechadas por Izaguirre-Pompa (2009) en dos localidades: la primera está situado a 5 km al norte-NE del tajo Mega\_Centauro y su edad corresponde a 23.8 Ma; la segunda se localiza a 10 km al norte-NE de Mega\_Centauro (en el área llamada Dipolos) con una edad 23.2 Ma.

### *V.8. Deformación Local*

En el marco de la tectónica local, cuatro eventos tectónicos principales han sido reconocidos en el distrito de oro de La Herradura y etiquetados como D1, D2, D3 y D4 en orden cronológico. Estos eventos se describen a continuación y tienen como referencia los estudios estructurales realizados por Caddey (2002), Caddey y García (2003) y Rhys (2006):

- D1: Evento tectónico compresivo Precámbrico. Este evento se asocia con un isoclinal plegado, cizalla dúctil y metamorfismo y sólo afectaron el basamento metamórfico del Proterozoico. Este evento tectónico produjo una penetración S1 esquistosidad y lineación de L1.
- D2: Posible fallas inversas del Jurásico interpretadas como asociadas a la Sonora-Mojave Megashear. Este evento pudo haberse yuxtapuesto con la unidad Precámbrica y la secuencia de rocas meta-sedimentarias del Jurásico hacia el este y con rocas calizas del Paleozoico al oeste. De hecho, esos contactos son representados por las fallas Victoria y Ocotillo respectivamente (Figuras 7 y 8).
- D3: Un evento tectónico intra-mineral durante el tiempo laramidico. Este evento se caracteriza por una repetición de fallas normales, y se interpreta que son relacionados con la etapa de la mineralización de oro de La Herradura. El evento se caracteriza por cortas extensiones horizontales y verticales. La falla fue imbricada

en la elevación vertical y la foliación penetrativa S3 se formó durante este evento. La foliación S3 es definido por la alineación de muscovita en el gneis de cuarzo feldespato que aloja la mineralización, y clorita en el esquisto verde.

- D4: Fallamiento normal generalizada asociada con la extensión del Basin and Range. Este evento se caracteriza por el desarrollo de “*gauge*” y brechamiento a lo largo de las fallas reactivadas (Caddey, 2002). Por otro lado, se tiene un evento tectónico post-mineral relacionado con la actividad de fallas de deslizamiento del sistema de falla de San Andrés asociado con la apertura del Golfo de California y con el levantamiento del suroeste de Norteamérica que permitió exhumar el distrito aurífero de La Herradura.

#### *V.9 Mineralización de Oro*

La mina de La Herradura se localiza a lo largo de una estructura de dilatación dentro de un sistema de zona de cizalla con una tendencia favorable al NW y con un echado hacia el NE. Esta estructura de dilatación está bordeada por las fallas Victoria y Ocotillo y contiene los cuerpos de mineral en el tajo Mega\_Centauro y Valles (Figuras 7 y 8). Estas fallas se encuentran delimitando el cinturón metamórfico Proterozoico que se compone principalmente de las siguientes rocas: gneis de biotita, esquistos verdes y cafés y gneises cuarzo-feldespato, roca que hospeda preferentemente la mineralización de oro (Tabla 1).

## **VI. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS CUERPOS DE MINERAL**

### *VI.1. Zonas Mineralizadas*

Los cuerpos de mineral de La Herradura, consisten de un conjuntos de vetas de cuarzo de ambiente frágil-dúctil con un echado moderado con rumbo NW45°SE y echado hacia el NE con ángulos variables de entre 0° a 50°, estos se encuentra en zona de cizalla y localmente relacionadas a fracturas extensionales poco profundas. La mayoría de las vetas están alojadas en las rocas de tipo gneises cuarzo-feldespáticos de muscovita alterados. Sin

embargo, en algunas vetas formales se puede observar que penetran hasta varios metros en el gneises de biotita y por unos pocos centímetros en las rocas meta-sedimentarias del Jurásico. Los espesores de las vetas individuales varían desde unos pocos centímetros hasta 5 metros y sus longitudes van desde 3 m hasta 100 m. Las vetas se producen individualmente y en redes complejas (Figura 9).

Las vetas de cuarzo aurífero presentan una tendencia al NW y generalmente están echadas hacia el NE, y se componen principalmente de cuarzo con menor pirita, esfalerita, galena y oro nativo. Los sulfuros corresponden a menos de 10% del volumen y carecen de una zonificación vertical o lateral con respecto a las leyes de oro. La ocurrencia más distintiva de oro está en vetas de cuarzo y la mayoría de las vetas mineralizadas es que contienen una ley de oro promedio por arriba de 5 g/t pero, algunas muestras pueden alcanzar una leyes de Au de más de 100 g/t (estos regularmente contienen oro grueso visible). Por lo general, se tienen tres tipos de alteración como la sericitica (*cuarzo+pirita+sericita*), propilitización (*clorita+epidota+calcita*) y, en menor proporción la carbonatación (*siderita+ankerita+calcita*), siendo estas las alteración más comunes en la roca encajonante con mayor intensidad en las paredes adyacentes a las estructuras mineralizadas. También en ocasiones, las micas y el carbonato están presentes en las vetas de cuarzo aurífero.

## *VI.2. Controles Estructurales de Cuerpos Minerales*

El depósito de oro La Herradura consiste en una red de vetas gruesas con alta ley de oro emplazadas a los largo de zonas de dilatación, estas también presentan arreglo de vetillas *en echelón* al alto y al bajo de las estructuras mineralizadas. Las estructuras de dilatación son efecto de esfuerzos extensionales asociados a la etapa D3, que ayudo a preparar la roca para posteriormente ser mineralizada (Figura 9A). El tajo Mega\_Centauro se centra en amplias zonas económicas conocidas y asociadas a fallas inversas. Las vetas localizadas en el yacimiento están espacialmente restringidas a las unidades competentes del gneis cuarzo-feldespático donde la combinación de eventos de fallas inversas da origen

a la generación de estructuras o zonas de dilatación preferenciales a lo largo de zonas de fallas, las cuales presentan echados relativamente planos.

Basado en la geometría, las vetas de cuarzo aurífero pueden ser de tres tipos: 1) a lo largo de fallas de cabalgamiento, 2) fallas extensionales *en echelón*, y 3) fallas conjugadas (Figura 9A). Las vetas de cuarzo a lo largo de fallas de cabalgamiento se caracterizan generalmente por echados poco inclinados que van desde 50 hasta 5° con espesores desde unos pocos centímetros a más de 5 m. Las fallas extensionales o vetillas *en echelón* se relacionan a los arreglos de fallas inversas fallas con echados comúnmente menores a 30° con espesores de pocos centímetros y menos de 1 mm. Las vetas conjugadas tienen buzamientos inclinados sobre 60 ° y grosor de 20 cm a 1 m; éstas pueden tener echados al NE o SW.

### *VI.3. Dimensiones Económicas del Yacimiento*

Los cuerpos de mineral económico en La Herradura tienen una forma tabular y pueden alcanzar longitudes hasta de 1 km (tendencia NW y echado al NE), 1 km de profundidad y 100 metros de ancho (vista en planta). En general, la alteración típica que se encuentra dentro de estos cuerpos económicos están formadas por muscovita fina (sericita) próxima o distal y se observan delimitados interna y lateralmente (Figuras 7 y 8) por una concentración de oro que corresponde a una ley de mínima de corte de 0.30 g/t. El control visual característico de la ley para estos cuerpos de mineral económico es la abundancia de vetas detectadas. Otra guía para la mineralización es la alteración sericítica, un ejemplo es el que se observa en los cuerpos de mineral de Centauro, que se repiten en Blanco 7 donde la alteración está conectada con los cuerpos de mineral de la mina Dipolos, donde la extensión de la alteración de la mica es por lo menos de 3 km. Por lo tanto, esto significa que una firma de alteraciones de sericita kilométricas puede ser una guía útil para la exploración.

#### *VI.4. Edad de la Mineralización*

De acuerdo con Quintanar-Ruiz (2008), la edad de la mineralización para el depósito de oro de La Herradura es alrededor de 61 Ma basado en isótopos de Re-Os en pirita y magnetita asociadas con oro. Esta fecha concuerda con el estudio realizado por Iriondo (2005), quien mencionó que el tiempo de intrusión granítica en la zona de Quitovac 30 km al NE del depósito de oro La Herradura, (Figura 6) ocurrió entre 61 y 75 Ma, e indicó una asociación espacial y temporal entre el evento Laramide y la ocurrencia de yacimientos de oro orogénico. Por otra parte, las edades propuestas por Iriondo (2005), para la mineralización del oro en Quitovac fue entre 65 y 48 Ma en base a fechamientos por  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .

#### *VI.5. Origen de los Fluidos*

Un estudio de inclusiones fluidas en vetas de cuarzo aurífero en el distrito de oro de La Herradura (Lang, J. 2003) indica que las vetas de mineral contienen fluidos con las siguientes características: rico en CO<sub>2</sub>, baja salinidad y temperaturas de homogeneización de las inclusiones fluidas entre 260° y 295°. Además, las presiones de atrapamiento sugeridas varían entre 1.45 y 1.15 kbar usando la técnica de construcción de isocoras, la cual equivale a una paleo profundidad de 3.5 a 5 km en condiciones de presión litostática, aunque unos 2.2 kbar (6.5 km paleo profundidad litostática) puede también deducirse por comparación según diagramas P-X publicados. Quintanar (2008) propuso una fuente de origen metamórfico de los fluidos minerales en base a datos de isótopos estables; estos fluidos pudieron haber sido generados siguiendo el metamorfismo progrado de la placa continental durante el tiempo de la época Laramide.

#### *VI.6. Nivel de Exposición del Depósito*

El depósito de oro La Herradura tiene una zona de óxidos aproximadamente hasta 300 metros debajo de la superficie, y de este paquete grueso de óxidos, aproximadamente 110 metros están por encima del nivel freático. Los minerales presentes en el yacimiento

como resultado de la meteorización son hematita, goethita, jarosita, wulfenita y anglesita. Este evento de erosión y oxidación han jugado un papel importante en la economía de este tipo de depósitos, ya que permite que gracias a los sulfuros oxidados, se realice una minería a bajo costo y un procesamiento metalúrgico por la lixiviación del mineral de oro oxidado.

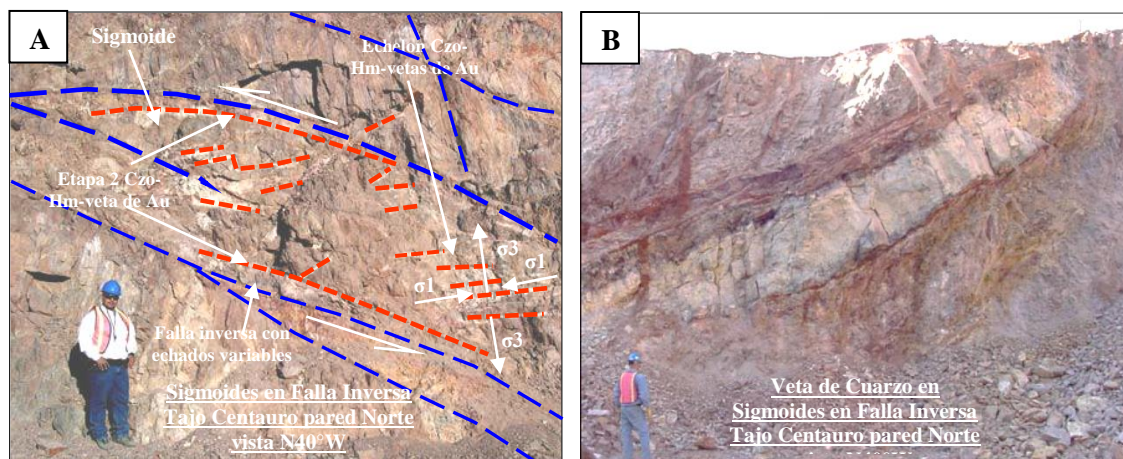


Figura 9A y 9B. Fotos que muestran algunas de las características estructurales de las vetas mineralizadas. A) esta foto muestra algunas características estructurales de una veta mineralizada y vetillas descritos por *Caddey (2002)*. B) veta de cuarzo en el tajo Mega-Centauro, localizado en el Banco 16, con una ley de más de 15 g/t de Au.

## VII. GEOMETALURGIA EN EL YACIMIENTO LA HERRADURA

### VII.1. Definición de las zonas para el estudio

Las zonas geológicas utilizadas para este trabajo en la mina La Herradura fueron identificadas en primer término por la presencia constante de sulfuros primarios, los cuales se tienen identificados a partir del banco -96 (por debajo del nivel del mar). La identificación de la zona de sulfuros primarios se hizo en base a la exploración profunda realizada en los tajos Mega\_Centauro, Ocotillo y Valles, dentro de los cuales están los recursos y reservas estimados para esta unidad minera.

La característica de depósitos, el cual consiste de “diseminados” y presencia de oro grueso, hace complejo el muestreo, el minado y el beneficio en este tipo de yacimientos. La detección de oro en los ensayos de barrenos de producción ha sido parcialmente erráticos, aunque con el paso del tiempo han sido minimizadas las desviaciones en ley. Sin

embargo, cuando el desarrollo llegue a la zona de sulfuros primarios, además del problema analítico del oro, el problema de la recuperación metalúrgica del oro será vital. Por esta razón se trata de anticipar y estudiar el comportamiento del oro en estas zonas, y que ayude a contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cómo está el oro presente en los minerales?
- ¿De qué tamaño es el oro?
- ¿Cuáles son sus relaciones texturales con los otros minerales?
- ¿Cuál será la mejor manera de beneficiarlo?
- ¿Cuál será el mejor destino metalúrgico durante el proceso para tener un mejor valor y que éste sea rentable?

Este trabajo pretende contestar al menos parcialmente, a estas preguntas.

Como paso inicial se delimitaron las zonas geológicas representativas que serían abordadas en este trabajo (Figura 10), las cuales en base a los trabajos de exploración y a estudios de petrografía y mineragrafía realizados en etapas de investigación previas, se tenían identificadas estas zonas. Además de esto, se hizo la descripción geológica de cada una de las áreas en base a la cartografía del tajo y a observaciones en núcleos de barrenos de diamante; así como también se hizo la descripción litológica de cada una de las áreas, como se muestra en las tablas 4, 5 y 6. Se definieron los barrenos a utilizar en base a litología, alteración hidrotermal, mineralogía y leyes de oro, con lo cual se seleccionaron las zonas llamadas A, B y C.

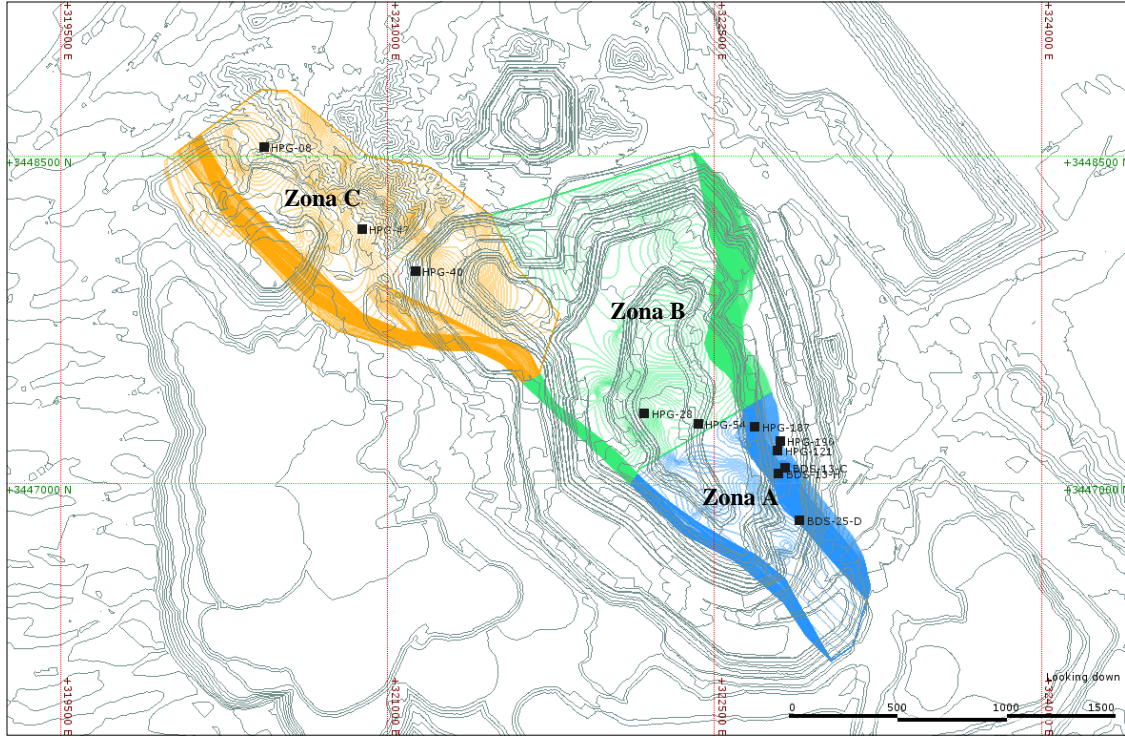


Figura 10. Ubicación de barrenos para definición de zonas geológicas y zonas para el estudio.

Zona Geológica y Zona Geometalúrgica A						
Barreno	Profundidad		Muestra		Unidad Geometalúrgica	Descripción Geológica
	De	A	De	A		
BDS-13-C	592.20	614.10	277	288	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato de grano grueso, color blanco verdoso, probablemente por epidota, también se aprecian vetas de cuarzo en forma de costras con oquedades las que parecen haber influencia en el emplazamiento de los sulfuros, el fracturamiento es leve y este da paso a la sericitización, se observan leves trazas de sulfuros (pirita + galena), localmente se puede apreciar fuerte silicificación, sericitización y moderada argilización.
BDS-13-H	552.30	583.20	274	290	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato de grano grueso, bandeado con algo de silicificación fuerte, la presencia de pirita es evidente también en algunos tramos se pueden observar una textura tipo pegmatoides, dentro del intervalo se observa un cuerpo de gneis de biotita con fuerte fracturamiento en los extremos, este es de grano medio a fino, de color verde claro debido a la fuerte cloritización, la pirita se encuentra diseminada y se pueden observar cristales de calcita en las fracturas, después del gneis de biotita continua el gneis cuarzo feldespato estéril y cloritizado, también se puede apreciar algo de brechamiento y fracturamiento, no hay importante vetillo de cuarzo.
BDS-25-D	354.90	360.55	155	157	Óxidos	Gneis Qzo Feldespato con alteración argílica débil, presenta siderita diseminada y en vetillas, vetillo de calcita también se encuentra presente sin dirección preferencial, se observa hematita diseminada y en zonas de fracturas.
HPG-121	633.30	648.50	310	318	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato de color gris blanquesco de grano medio, presenta fuerte silicificación y débil vetillo de cuarzo, también se encuentra una veta de cuarzo lechoso de 4m de espesor, con fuerte contenido de Pirita, Celana y Esfalerita.
HPG-121	682.25	699.60	337	345	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato de grano medio a fino color blanco verdoso grisáceo, con fuerte vetillo de cuarzo, asociado con sericita y principalmente Pirita.
HPG-187	446.20	463.55	229	237	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato de color gris blanquesco verdoso, con intenso a moderado vetillo de cuarzo asociado principalmente a la pirita y en menor proporción se encuentra presenta la galena y esfalerita, también se puede observar una zona de brechamiento donde la mayor cantidad de sulfuros se concentra en esta zona.
HPG-190	642.55	668.55	324	336	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato de grano grueso con moderada presencia de pirita fresca diseminada y asociado al moderado vetillo de cuarzo, también se observa débil presencia de pirita oxidada y box work, se alcanza observar débil vetillo de siderita, dentro de este tramo de muestra se encuentra una veta de 8 mts de espesor de color blanco lechoso y zonas color grisáceo por el alto contenido de sulfuros presentes, la veta se encuentra brechada y en ocasiones se observan parches de pirita, siendo este el mineral más abundante.



Zona Geológica y Zona Geometalúrgica B						
Barreno	Profundidad		Muestra		Unidad Geometalúrgica	Descripción Geológica
	De	A	De	A		
HPG-28	112.85	198.85	51	93	Óxidos-Sulfuro	Gneis Qzo Feldespato de grano grueso con moderada presencia de Pirita fresca diseminada y asociado al moderado vetilleo de cuarzo, también se observa moderada presencia de pirita óxidada y box work, se alcanza observar débil vetillero de siderita, débil presencia de hematita, moderada gohetita en zonas de fracturamiento, también se pueden observar, trazas débiles de galena y esfalerita, el vetilleo presenta un arreglo de stock work.
HPG-54	166.95	185.55	84	91	Óxidos-Sulfuro	Gneis Qzo Feldespato de grano grueso con moderada presencia de Pirita fresca diseminada y asociado al moderado vetilleo de cuarzo, también se observa moderada presencia de pirita óxidada y box work, se alcanza observar débil vetillero de siderita, débil presencia de hematita y moderada gohetita en zonas de fracturamiento, también se pueden observar, trazas débiles de galena y esfalerita, el vetilleo presenta un arreglo de stock work.

Zona Geológica y Zona Geometalúrgica C						
Barreno	Profundidad		Muestra		Unidad Geometalúrgica	Descripción Geológica
	De	A	De	A		
HPG-08	644.65	668.40	260	289	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato moderadamente silicificado, débil presencia de magnetita, la mayor parte del intervalo se pueden observar trazas débiles de pirita diseminada, en general la alteración es moderada clorita + sericita, a los mts se encuentra el contacto con gneis de biotita el cual presenta moderada clorita y moderado fracturamiento, también se alcanza a ver pirita fresca diseminada y moderada magnetita.
HPG-40	513.20	570.10	327	338	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato de de grano medio, presenta moderada a fuerte presencia de remanentes de rocas pegmatíticas, débil pirita fresca diseminada y asociada al moderado vetilleo de cuarzo, la roca esta moderadamente silicificada, en zonas de fracturamiento hay presencia de moderada sericita, así como evidencias de estrías debido a los esfuerzos sufridos durante los eventos de deformación, en el intervalo de 527.55 a 538.10 mts se encuentra un gneis de biotita con débil presencia de pirita fresca, magnetita y vetilleo de cuarzo, la mayor para de este intervalo presenta débil a moderada clorita y silicificación. A partir de los 538.10 y hasta los 564.15 mts se encuentra un paquete de gneis cuarzo Feldespato, donde podemos observar la moderada magnetita diseminada, débil a moderada clorita y moderada silicificación, de 564.15 a 568.20 mts se encuentra un esquistos verde con moderado fracturamiento siguiendo los planos de foliación, también se alcanzan a definir claras vetillas de calcita.
HPG-47	324.60	346.90	162	173	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato moderadamente silicificado, de grano grueso, regularmente se observa presencia de sericita de color verge olivo (Fengita), débil contenido de pirita y fuertes silicificación, en ocasiones se observan parches de magnetita.
HPG-47	407.30	441.15	206	222	Sulfuros	Gneis Qzo Feldespato moderadamente silicificado, de grano grueso, regularmente se observa presencia de sericita y clorita, débil contenido de pirita y fuertes silicificación, en ocasiones se observan parches de magnetita, así como también, se observan bandas de cuarzo y feldespato.

Características de los barrenos y tramos de las zonas muestreadas para este trabajo.

## VII.2. Definición de compósitos

De acuerdo a las necesidades se definió un muestreo representativo para este estudio, en el cual se invirtió alrededor de 1 mes para preparar las muestras, incluyendo procesos de cuarteo y preparación para análisis químicos. Todas las preparaciones se hicieron en las instalaciones de la unidad minera La Herradura, utilizando los equipos propios que, para los mismos procesos utiliza la empresa.

A continuación se mencionan los pasos para la preparación de las muestras.

1. Se seleccionaron barrenos y tramos representativos al tipo de mineralización de interés (sulfuros), de leyes superiores a las leyes medias, con el objeto de tener mayor facilidad para poder observar las características del oro.

2. De cada barreno y de cada tramo (2 metros por tramo), se extrajeron 200 gramos representativos con ayuda de un muestreador rotatorio.
3. De cada barreno seleccionado se hizo un compósito.
4. De cada compósito se sacaron 3 muestras iguales de 60 gramos cada una en muestreador rotatorio. Estas 3 muestras se utilizaron así: una para análisis de Au al fuego, otra para análisis de Au soluble en CN y otra para análisis de elementos mayores y trazas por ICP.
5. De todos los compósitos por barreno-tramo se hizo un solo compósito por zona (uno para la Zona A, otro para la B y otro para la C). Cada uno de estos compósitos pesó aproximadamente 15 kg.
6. De cada compósito por zona se sacaron 3 muestras iguales de 60 gramos cada una en muestreador rotatorio. Estas 3 muestras se utilizaron así: una para análisis de Au al fuego, otra para análisis de Au soluble en CN y otra para análisis por elementos mayores y trazas por ICP.
7. De cada compósito por zona (3 compósitos) se hicieron 2 muestras iguales (6 muestras de 3 compósitos). Una de cada dos muestras iguales quedó como testigo y con la otra se continuó con el proceso.
8. Las muestras de trabajo (3) se molieron a un tamaño de -1 mm (-18 *mesh*).
9. Cada muestra se tamizó con un tamaño de abertura de 0.149 mm (100 *mesh*), quedando dividida en 2 fracciones una: -1mm + 0.149 mm y otra de -0.149 mm. Las fracciones se pesaron y de cada una se extrajeron muestras para Au total, Au soluble en CN y análisis de elementos mayores y trazas.
10. Después de la extracción del muestreo se pasó cada fracción por un concentrador gravimétrico de tipo Knelson. Al final se obtuvo de cada muestra un concentrado gravimétrico y una cola (total 3 concentrados y 3 colas).
11. Tanto concentrados como colas se analizaron por Au total y Au soluble en CN.
12. De cada concentrado y de cada cola se hicieron secciones pulidas para ser estudiadas al microscopio minerográfico al microscopio electrónico de barrido.

El diagrama de flujo siguiente sintetiza el proceso anteriormente descrito:

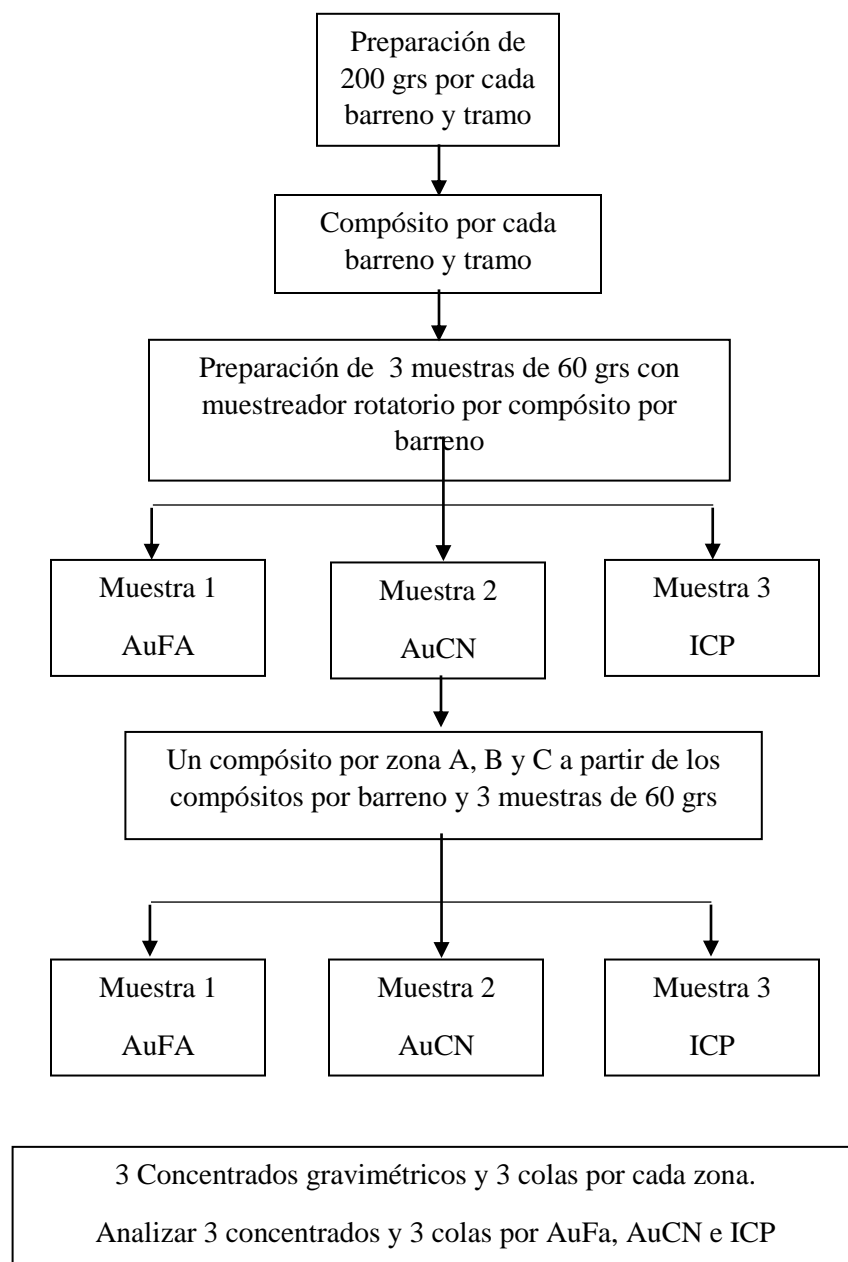


Figura 11. Diagrama de flujo para muestras y compósitos

### VII.3. Concentraciones gravimétricas

Para facilitar el estudio de las características del oro y su modo de presentación se hicieron concentraciones gravimétricas utilizando un concentrador Knelson. Los concentradores centrífugos Knelson para recuperación de metales preciosos y minerales de

alto peso específico son equipos que han perfeccionado métodos tradicionales para mejorar los procesos gravimétricos en la metalurgia extractiva. Los detalles de las características del equipo pueden verse en el Apéndice. Las pruebas fueron efectuadas en el Laboratorio Tecnológico de Metalurgia de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

El material de trabajo para la concentración gravimétrica consistió en 3 muestras de alrededor de 15 kilogramos cada una, representantes de las zonas A, B y C. La preparación del mineral previo al paso por el Knelson, fue de quebrado primario con quebradora de quijadas, reduciendo el tamaño de partícula a un 50% menos 20 mallas, se cribó y se retuvo la fracción mayor a 20 mallas, para pasar a quebrado secundario por quebradora de rodillos, reduciendo el tamaño a un 90% menos 20 mallas, se homogenizó y se cuarteo hasta obtener una fracción de 200 gramos para estudios mineralógicos. Una fracción de 1 kilogramo se separó para analizar al fuego por oro libre como se ve en la tabla 4 y se separaron 3 fracciones de alrededor de 5 kilogramos cada una para alimentar al equipo concentrador durante 3 pruebas a diferentes velocidades. Este mismo proceso se repitió para los minerales de las 3 zonas de estudio.

Se realizaron tres distintas pruebas, de manera que el estudio revele las mejores condiciones para la recuperación y relación de concentración del oro presente en el mineral, las principales variables a probar durante las pruebas realizadas fue la aceleración del cono concentrador y la inyección de agua de fluidización.

Dadas las características del oro de La Herradura en el que puede existir un “efecto pepita” muy importante, los rangos de desviación de cabeza ensayada contra la cabeza calculada pueden ser grandes con respecto al comportamiento de otras especies minerales de oro u otros elementos.

Identificación de muestra	Au TOTAL	Ag TOTAL
	g/t	g/t
Zona A	9.79	17
Zona B	2.52	<5
Zona C	1.34	<5

Tabla 4. Datos analíticos de los compósitos analizados al fuego para cada una de las zonas.

Para este método de concentración se utilizó el mineral cribado a -20 mallas (-0.841 milímetros) ya que con este tamaño de partícula se puede estar casi seguros de conservar los tamaños originales del oro presente, detectado por trabajos previos.

Específicamente el set de pruebas realizadas involucraron cambios en la velocidad de rotación, el concentrador fue diseñado y balanceado dinámicamente para operar a 1500 rpm ( $60 \text{ G's} = \text{Medida de aceleración que producirá la gravedad de la tierra en un objeto cualquiera}$ ), de tal manera, que se tomó esta velocidad como marco de inicio para las muestras que entran en este trabajo de investigación. Los datos detallados de las pruebas experimentales están en anexo, sólo se mencionará que las velocidades de rotación utilizadas para las pruebas fueron a 60, 90 y 120 G's.

#### *VII.4. Resultados obtenidos*

En las tablas que se muestran a continuación se puede observar los balances metalúrgicos para los mejores resultados de recuperación obtenidos en cada una de las pruebas, el resto de los resultados están en el apéndice. En las tablas se pueden observar las leyes que se manejaron como de cabeza y determinada por los cálculos realizados en base al peso de los productos y las leyes de concentrado y colas; también, se prepararon gráficos, los cuales muestran las recuperaciones de oro en las tres condiciones de operación bajo las cuales se llevaron las pruebas.

#### Zona A

Como se puede observar en la tabla 5 y gráfico 1, el balance metalúrgico de la Zona A indica que la mejor recuperación para oro es de 78.10% a una aceleración de 90 G's, con una ley de oro de 111.21 g/t de Au, una ley de cola de 2.74 g/t Au, una ley de cabeza ensayada de 9.79 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 11.5 g/t Au y una relación de concentración de 12.38 kg de concentrado por tonelada de mineral. Los resultados de las otras pruebas fueron: para 60 G's una recuperación de 44 % con una ley de concentrado de 131 g/t Au, una ley de cola de 6.6 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 11.5 g/t Au y una

relación de concentración de 25.7 kg de concentrado por tonelada de mineral. Por otra parte, para una aceleración de 120 G's se tuvo una recuperación de 74 % con ley de concentrado de 87 g/t de Au, una ley de cola de 2.8 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 9.7 g/t Au y una relación de concentración de 12.3 kg de concentrado por tonelada de mineral.

REPORTE DE PRUEBA CONCENTRADOR KNELSON									
Zona A PK2 90 G's PRUEBA 2									
Producto	Peso	Peso	Análisis (ppm)		Contenido (mg)		Recuperación %		Relación de Concentración
	Kgs	%	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au-Ag
Concentrado	0.403	8.076	111.21	123	44.82	49.57	78.10	51.94	12.38
Colas	4.587	91.924	2.74	10	12.57	45.87	21.90	48.10	
Total	4.99	100.000			57.39	95.44	100.00	100.04	
Cabeza Ensayada			9.79	17.00					
Cabeza Calculada			11.50	19.13					
C.F			1.17	1.13					

Tabla 5. Mejor prueba utilizando el equipo Knelson para mineral de la Zona A. Aceleración: 90 G's

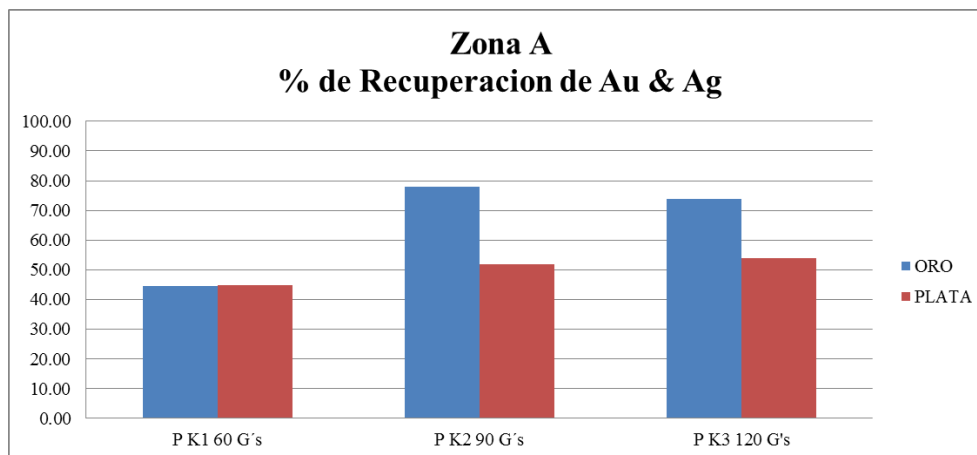


Grafico 1. Porcentaje de recuperación de Au y Ag en el set de prueba Knelson para la Zona A.

## Zona B

En la tabla 6 y gráfico 2 de la zona B la mejor prueba indicó una recuperación de 84 % a una aceleración de 90 G's con una ley de oro de concentrado de 79.7 g/t Au, una ley de cola de 0.5 g/t Au, una ley de cabeza ensayada de 2.5 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 3.1 g/t Au y una relación de concentración de 30.6 kg de concentrado por

tonelada de mineral. Los otros resultados fueron: a 60 G's una recuperación de 71 % con una ley de concentrado de 68 g/t Au, una ley de cola de 1.1 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 3.6 g/t Au y una relación de concentración de 27 kg de concentrado por tonelada de mineral. Finalmente, a 120 G's se obtuvo una recuperación de 81.9 % con una ley de concentrado de 34.8 g/t de Au, una ley de cola de 0.6 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 3 g/t y una relación de concentración de 14: 3 kg de concentrado por tonelada de mineral.

REPORTE DE PRUEBA CONCENTRADOR KNELSON									
Zona B PK1 90 G's PRUEBA 2									
Producto	Peso		Análisis (ppm)		Contenido (mg)		Recuperación %		Relación de Concentración
	Kgs	%	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au-Ag
Concentrado	0.163	3.263	79.66	55	12.98	8.96	83.79	100.00	30.64
Colas	4.832	96.737	0.52	0	2.51	0	16.21	0.00	
Total	5.00	100.000			15.50	8.96	100.00	100.00	
Cabeza Ensayada			2.52	2.00					
Cabeza Calculada			3.10	1.79					
C.F			1.23	0.90					

Tabla 6. Mejor prueba utilizando el equipo Knelson para mineral de la zona B a 90 G's.

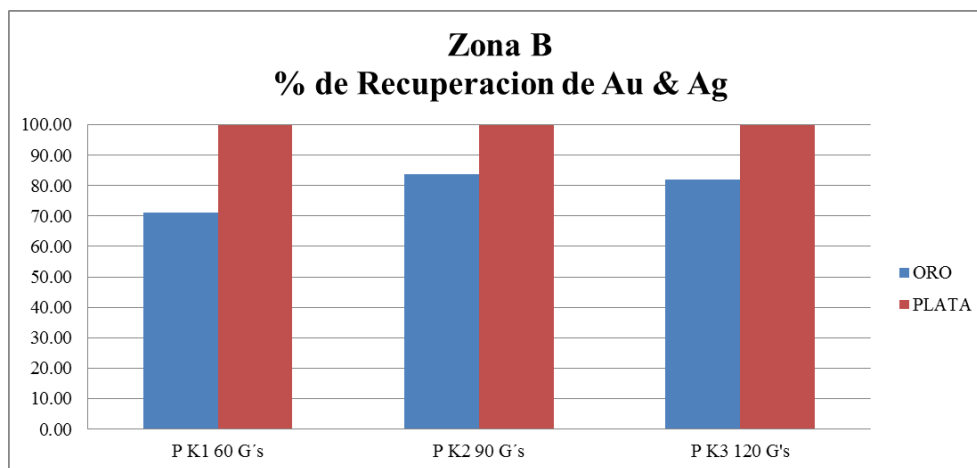


Gráfico 2. Porcentaje de recuperación de Au y Ag en el set de pruebas con Knelson para Zona B

### Zona C

En la tabla 7 y gráfica 3, de la zona C la mejor prueba fue a 60 G's con una recuperación de 74.6 %, una ley de oro de 75.8 g/t de Au, una ley de cola de 1 g/t Au, una

ley de cabeza ensayada de 1.3 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 3.8 g/t Au y una relación de concentración de 26.5 kg de concentrado por tonelada de mineral. Los otros resultados fueron: a 90 G's una recuperación de 61.7 % con una ley de 30.6 g/t de Au, una ley de cola de 0.7 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 1.7 g/t Au y una relación de concentración de 28.9 kg de concentrado por tonelada de mineral. Por otra parte, a 120 G's se obtuvo una recuperación de 57.8 % con una ley de 10.9 g/t de Au, una ley de cola de 0.8 g/t Au, una ley de cabeza calculada de 1.7 g/t Au y una relación de 11.2 kg de concentrado por tonelada de mineral.

REPORTE DE PRUEBA CONCENTRADOR KNELSON									
Zona C PK1 60 G's PRUEBA 1									
Producto	Peso	Peso	Análisis (ppm)		Contenido (mg)		Recuperación %		Relación de Concentración
	Kgs	%	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au-Ag
Concentrado	0.176	3.769	75.76	60	13.33	10.56	74.60	70.15	26.53
Colas	4.494	96.231	1.01	1	4.54	4.49	25.40	29.95	
Total	4.67	100.000			17.87	15.05	100.00	100	
Cabeza Ensayada			1.34	3.00					
Cabeza Calculada			3.83	3.22					
C.F			2.86	1.07					

Tabla 7. Mejor prueba utilizando el equipo Knelson para mineral de la zona C a 60 G's.

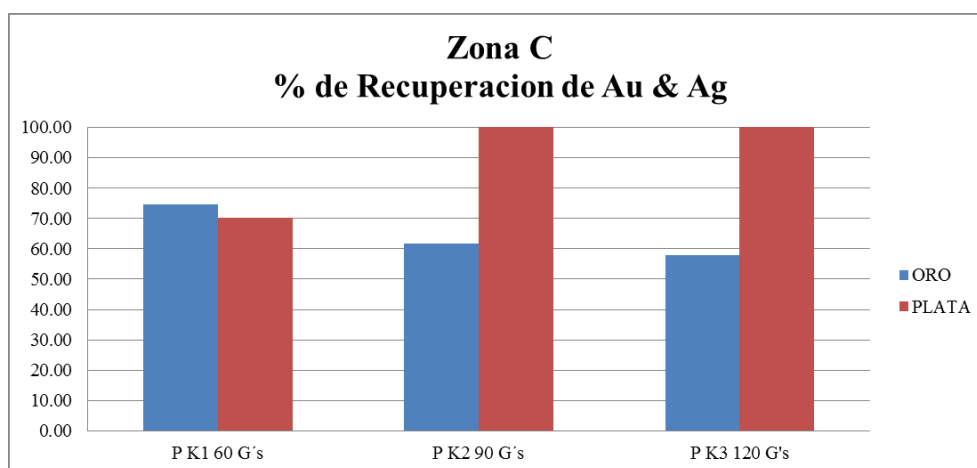


Gráfico 3. Porcentaje de recuperación de Au y Ag en el set de pruebas con Knelson Zona C

La tabla 8 y la gráfica 4 siguiente resume las recuperaciones de las pruebas para las tres zonas, los valores de oro en contenido se dan en mg de oro por tonelada recuperados.



Como se puede observar, la mejor aceleración de recuperación para las zonas A y B es de 90 G's mientras que para la zona C es de 60 G's.

ID	Aceleración	Fracción	Recuperación (%)			Contenido (mg)		
Aceleración	(G's)	Fracción	Zona A Au	Zona B Au	Zona C Au	Zona A Au	Zona B Au	Zona C Au
60 G's	60	Conc.	44.43	71.00	74.60	23.45	11.35	13.33
90 G's	90	Conc.	78.10	83.79	61.74	44.82	12.98	5.07
120 G's	120	Conc.	73.76	81.85	57.78	35.49	12.15	4.34

Conc. = concentrado

Tabla 8. Resumen de Recuperaciones y Contenido de Au

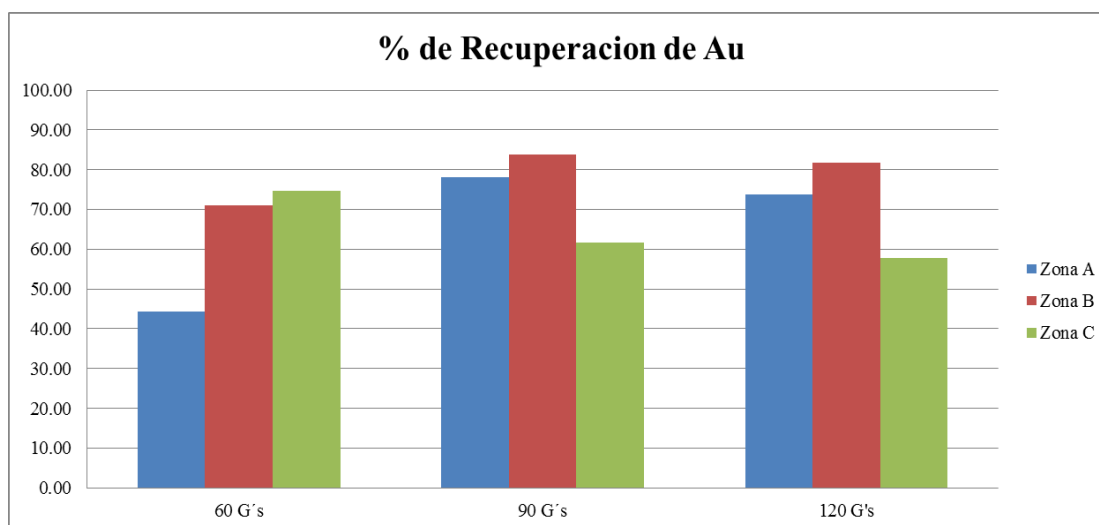


Gráfico 4. Porcentaje de Recuperación de Au en las 3 Zonas a diferente aceleración.

#### VII.5. Análisis de los concentrados por Mineral Liberation Analyzer (MLA)

Para conocer las características físicas del oro se estudiaron briquetas de los concentrados gravimétricos obtenidos con el concentrador Knelson de las tres zonas. Las briquetas fueron preparadas aglomeradas con polvo de grafito y pulidas a alto brillo. El estudio se hizo en los laboratorios del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIDT) de Peñoles en Torreón Coahuila. Los estudios se efectuaron utilizando un microscopio electrónico de barrido marca FEI, modelo Quanta600, el cual tiene adaptado el *software* especializado llamado *Mineral Liberation Analyzer* (MLA). Información

específica sobre las capacidades de MLA se puede obtener en *internet* fácilmente. Las mediciones se hicieron en modo XBSE para obtener la mineralogía y en modo SPL para la búsqueda de las partículas de oro. Las condiciones de operación del quipo fueron utilizando un voltaje de 25KV, spot size: 7.0 – 7.2 aprox, distancia del trabajo: 10mm, se utilizó un contraste de 45 y brillo de 75.

La técnica permite entre otras: la identificación de minerales de mena y ganga a partir del número atómico de los átomos que componen cada mineral, cuantificación de tamaño de partículas, cuantificación modal de las partículas y texturas de las mismas. El análisis de las muestras fue mediante un microscopio electrónico de barrido en modo MLA (XBSE Y SPL). En total se analizaron 9 briquetas procedentes de los concentrados preparados para las 3 zonas.

El utilizar este tipo de metodologías mediante la técnica de análisis modal, permite determinar las proporciones relativas de partículas libres y asociadas de los minerales mayoritarios o de interés que se encuentran en una muestra mineral. La finalidad de analizar las muestras de este estudio por medio de MLA ha sido para observar, cuantificar, explicar y predecir el comportamiento de las diferentes clases de partículas minerales que se tienen en las operaciones de procesamiento de mineral.

#### *VII.6. Identificación de especies y composición mineralógica global*

La tabla 9 enlista los minerales identificados, incluyendo su composición química (en % peso). En general, se observa que los concentrados se componen mayoritariamente por ganga de cuarzo y de pirita. Otras especies identificadas son muscovita (sericita), feldespatos, ankerita y otros sulfuros. Las especies de oro identificadas fueron oro, con una composición de electrum y petzita. Los concentrados de las zona C contienen también clorita y, los de las zonas B y C contienen cantidades significativas de “óxidos de fierro” (especialmente la zona C), lo cual se interpreta como presencia de magnetita-hematita o limonitas.

Grupo	Mineral	Formula	Composición Mineralógica (% Peso)								
			ZAPK1	ZAPK2	ZAPK3	ZBPK1	ZBPK2	ZBPK3	ZCPK1	ZCPK2	ZCPK3
Sulfuros	Galena	PbS	3.29	2.77	2.05	0.57	0.16	0.26	0.01	0.06	< 0.01
	Esfalerita	Zn <sub>0.9</sub> Fe <sub>0.1</sub> S	0.62	1.16	1.22	0.17	0.06	0.11	< 0.01	< 0.01	-
	Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-	< 0.01	0.02	0.02	0.03
	Pirita	FeS <sub>2</sub>	28.81	28.49	25.37	28.99	24.37	12.16	15.70	14.19	6.83
Gangas y otras especies	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	44.44	47.11	52.34	42.01	44.54	53.58	21.14	22.06	24.40
	Muscovita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	10.60	8.43	7.84	7.12	8.65	9.88	9.39	9.86	8.57
	Albita	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	4.73	5.66	4.45	12.77	13.68	14.77	22.16	24.07	27.90
	Ankerita	Ca(Mg,Fe)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3.41	2.60	3.45	2.18	2.27	2.15	12.94	12.64	13.31
	Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1.69	1.28	1.37	2.27	1.86	3.80	3.99	4.76	4.91
	Calcita	CaCO <sub>3</sub>	0.34	0.23	0.34	0.34	0.49	0.38	0.01	0.00	0.00
	Clorita	(Al,Mg,Fe) <sub>10</sub> (Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>10</sub>	0.47	0.45	0.36	0.11	0.04	0.12	1.72	1.44	2.00
	Ox_Fe	Fe <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	0.36	0.68	0.36	2.37	2.48	1.96	10.35	8.90	9.19
	Andradita	Ca <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0.28	0.08	0.07	0.09	0.05	0.06	0.02	0.02	0.38
	Augita	(Ca,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0.23	0.28	0.20	0.26	0.43	0.05	0.61	0.48	0.66
	Rutilo	TiO <sub>2</sub>	0.15	0.10	0.10	0.06	0.08	0.18	0.61	0.41	0.69
	Apatito	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> )OH	0.07	0.07	0.14	0.08	0.04	0.04	0.46	0.43	0.46
	Barita	BaSO <sub>4</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.07	0.18
Otros	-	0.51	0.61	0.34	0.61	0.80	0.50	0.74	0.59	0.49	

Tabla 9. Especies minerales identificadas por microscopía electrónica de barrido en cada una de las Zonas A (ZAPK1, ZAPK2, ZAPK3), Zonas B (ZBPK1, ZBPK2, ZBPK3) y Zonas C (ZCPK1, ZCPK2, ZCPK3)

### VII.7. Identificación de especies de oro, abundancia relativa y modos de ocurrencia

La identificación de especies de oro fue llevada a cabo mediante la técnica de “liberación de fases dispersas” - SPL (*sparse phase liberation*) analizando una sección pulida para cada muestra de concentrado.

En general, fueron identificadas un total de 78 partículas de oro en las 9 probetas analizadas, de las cuales 64 partículas correspondieron a oro con una composición de electrum y 14 a petzita (Ag<sub>3</sub>AuTe<sub>2</sub> con 25 % de Au). El contenido de plata detectado en las partículas de oro electrum se encuentra en cantidades variables de entre 20% y 30% aproximadamente (el electrum contiene >20 % de Ag). Las principales asociaciones de los granos de oro identificados consisten en inclusiones en pirita o en diversas gangas como cuarzo, albita, ortoclasa o ankerita; también se observaron algunas asociaciones como películas en el borde de la pirita. La composición promedio del oro es de 74 % de Au y 26 % de Ag (Tabla 10).

Muestra	Fórmula Aproximada	Composición (%Peso)		Desviación Estándar
		Au	Ag	
Total de partículas de oro	Au <sub>0.6</sub> Ag <sub>0.4</sub>	74	26	4.5

Tabla 10. Composición química de las partículas de Oro\_Electrum.

En la tabla 11 se presenta un resumen del número total de partículas de especies de oro identificadas y su modo de ocurrencia para cada una de las muestras analizadas. Adicionalmente, en las tablas 18 a la 20 se muestran las dimensiones y el tipo de asociación que presentan las partículas de oro identificadas para cada muestra. Como se puede observar, sólo fueron detectadas 2 partículas de oro libre y el resto asociadas a otros minerales. Por otra parte, en las zonas A y B el oro se encuentra en forma de electrum pero en la zona C el oro puede estar como electrum y también como petzita.

Las tablas 11 y 12 y las fotografías mostradas a continuación muestran claramente la manera de presentación del oro, así como las relaciones texturales con los otros minerales. Hay que mencionar que, puesto que la identificación de los minerales es de acuerdo con el número atómico del elemento, es común que los tonos de blanco que se observan al MEB de oro y galena se confundan, puesto que los números atómicos de Au y Pb son muy cercanos; sin embargo, el análisis de los elementos y la misma identificación al microscopio óptico de reflexión no dejan lugar a dudas en las diferencias y consiguiente identificación entre oro y galena.

Muestra	Especie mineral		Modo de ocurrencia			
	Au_electrum	Petzita	Pi	Pi + Otro	Lib	Total
Conc. Knelson ZAPK1	11	-	6	5	-	11
Conc. Knelson ZAPK2	19	-	5	12	2	19
Conc. Knelson ZAPK3	8	-	3	5	-	8
Conc. Knelson ZBPK1	9	-	5	4	-	9
Conc. Knelson ZBPK2	2	-	1	1	-	2
Conc. Knelson ZBPK3	9	-	5	4	-	9
Conc. Knelson ZCPK1	2	9	6	5	-	11
Conc. Knelson ZCPK2	3	4	4	3	-	7
Conc. Knelson ZCPK3	1	1	-	2	-	2
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>14</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>2</b>	<b>78</b>

Tabla 11. Resumen de partículas de oro identificadas y modo de ocurrencia.

**Pi** = Asociado únicamente con pirita, **Pi + Otro** = Asociado con pirita y otra especie, **Lib** = Partícula libre. Se identifican 3 muestras por zona correspondientes a concentrados obtenidos a diferentes aceleraciones.

No. Partícula	Largo (µm)	Ancho(µm)	Asociación
1	162.3	18.3	Oro electrum en borde de pirita
2	17.7, 10.4	6.5, 8.3	Inclusiones de oro electrum en pirita + cuarzo
3	7	4.8	Inclusión de oro electrum en pirita + cuarzo
4	224.3	77.9	Partícula binaria de oro electrum y pirita
5	17.2, 3.7	7.0, 1.9	Inclusiones de oro electrum en pirita + cuarzo
6	16	9.7	Inclusión de oro electrum en pirita + ankerita
7	7.6, 1.2	4.1, 0.9	Inclusiones de oro electrum en pirita + cuarzo
8	4.4	3.2	Inclusión de oro electrum en pirita + galena

Tabla 12. Características de las partículas de Oro observadas en Conc. Knelson ZAPK1.

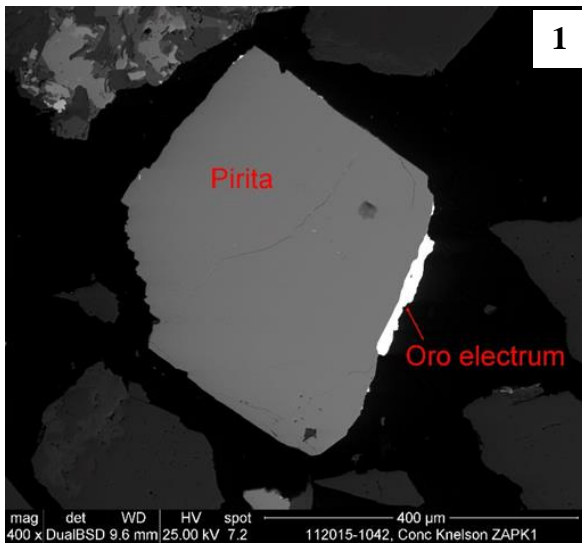


Fig 17. Muestra ZAPK1 - Partículas de pirita con oro electrum en el borde

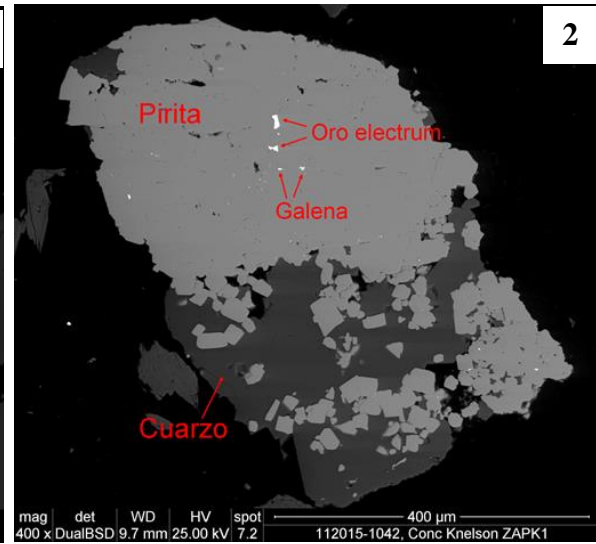


Fig 18. Muestra ZAPK1 - Partículas de pirita y cuarzo con inclusiones de oro electrum y galena

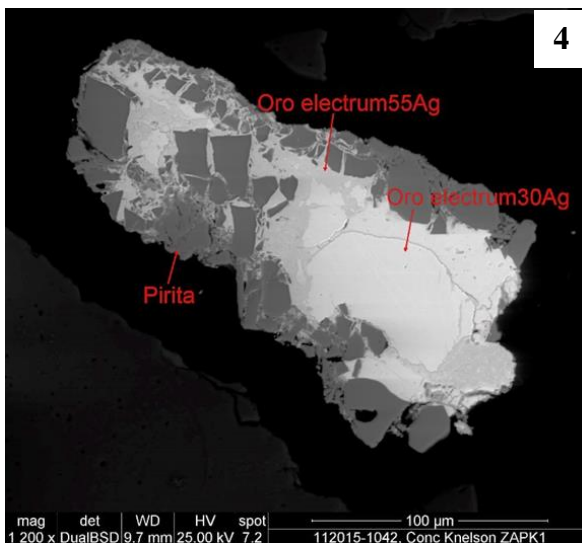


Fig 19. Muestra ZAPK1 - Partículas binaria de oro electrum y pirita

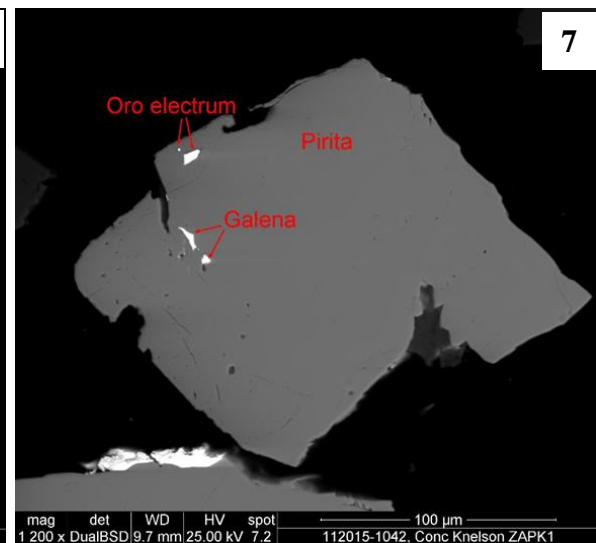


Fig 20. Muestra ZAPK1 - Partículas de pirita y cuarzo con inclusiones de oro electrum y galena

No. Partícula	Largo (µm)	Ancho (µm)	Asociación
1	19.8, 11.9	15.1, 12.2	Inclusiones de oro electrum en pirita
2	55.8	8	Partícula de oro electrum binaria con pirita
3	16	14	Partícula de oro electrum binaria con pirita
4	14.8, 7.1	4.4, 3.0	Partículas libres de oro electrum
5	10.5	9.3	Partícula ternaria de pirita, galena y oro electrum
6	10.2, 5.3	8.1, 3.1	Inclusiones de oro electrum en partícula de pirita y esfalerita
7	8	4.5	Inclusión de oro electrum en pirita + cuarzo
8	13.1, 11.0	7.7, 3.5	Inclusiones de oro electrum en pirita
9	12.8	3.2	Inclusión de oro electrum en pirita
10	33.2	16.9	Oro electrum en partícula multifase de pirita, galena y esfalerita
11	33.4	9.3	Partícula libre de oro electrum
12	5.7	2.8	Oro electrum en borde de pirita + galena
13	12.5, 8.0	8.7, 6.4	Inclusión de oro electrum en pirita + galena
14	16.8	9.1	Inclusión de oro electrum en esfalerita +pirita
15	10.8, 7.4, 1.9	5.2, 5.9, 1.9	Inclusiones de oro electrum en pirita + muscovita
16	16.6	5.6	Inclusión de oro electrum en pirita + galena
17	7.1	5.2	Oro electrum en borde de pirita + galena
18	5.5	4.4	Inclusión de oro electrum en pirita + galena
19	3.5	1.6	Oro electrum en partícula multifase de pirita, muscovita y galena

Tabla 13. Características de las partículas de Oro en Conc. Knelson ZAPK2

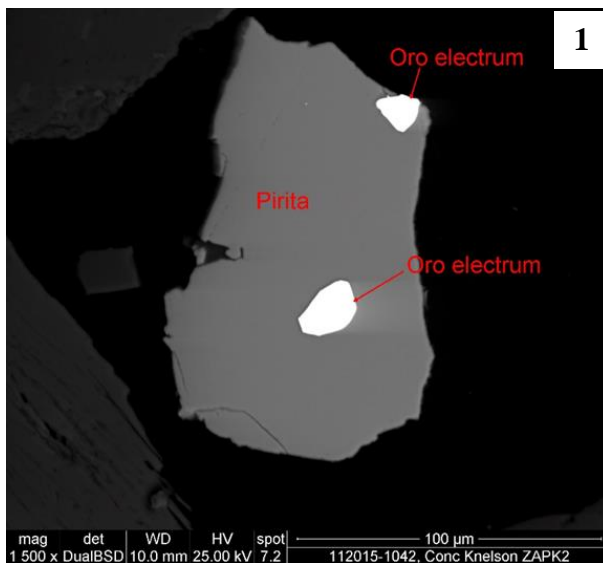


Fig 21. Muestra ZAPK2 – Inclusiones de oro electrum en partícula de pirita

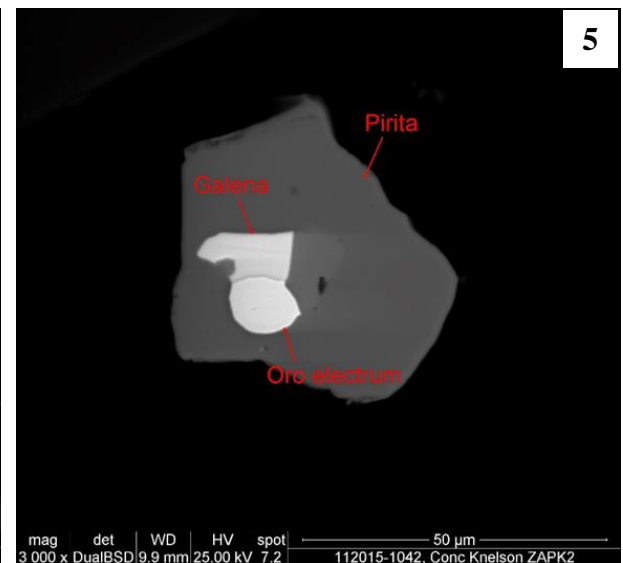


Fig 22. Muestra ZAPK2 – Partícula ternaria de pirita, galena y oro electrum

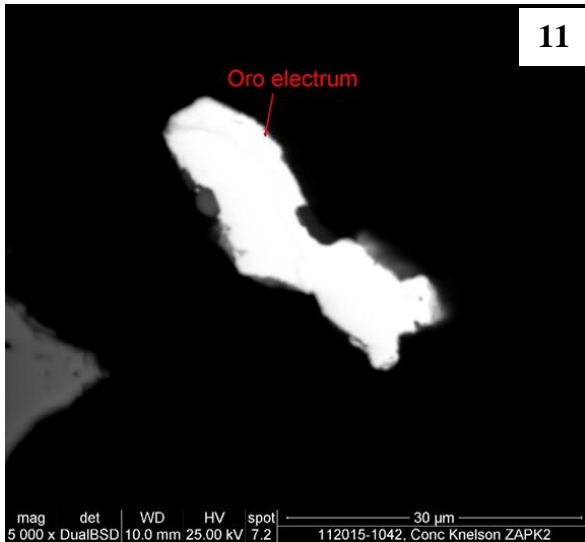


Fig 23. Muestra ZAPK2 – Partícula libre de oro electrum

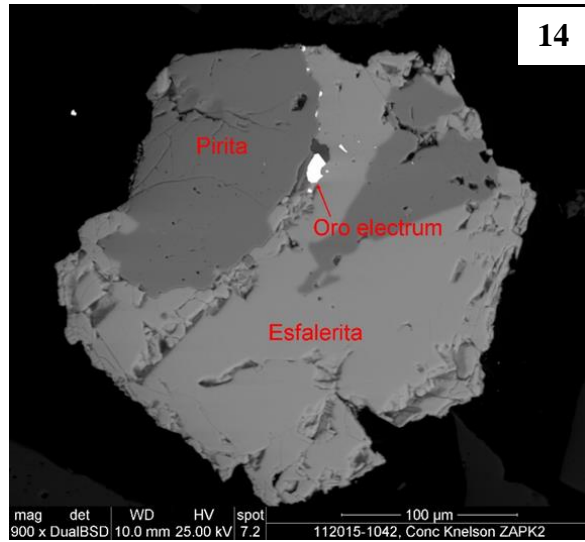


Fig 24. Muestra ZAPK2 – Inclusión de oro electrum en partícula de esfalerita y pirita

No. Partícula	Largo (μm)	Ancho(μm)	Asociación
1	200	80	Partícula ternaria de oro electrum, pirita y galena
2	17.6, 15.7, 11.6	3.5, 7.1, 5.7	Inclusiones de oro electrum en pirita, muscovita y galena
3	19.5, 12.5, 6.9, 5.8	3.0, 1.9, 2.5, 3.6	Múltiples inclusiones de oro electrum en pirita + ortoclasa
4	5.6	5.1	Inclusión de oro electrum en pirita + galena
5	30.2, 16.2	11.3, 10.4	Inclusiones de oro electrum en pirita, esfalerita y galena
6	32.2	17.1	Inclusión de oro electrum en pirita
7	13.6	5.8	Partícula binaria de pirita y oro electrum
8	6	3.2	Inclusión de oro electrum en pirita

Tabla 14. Características de las partículas de Oro en Conc. Knelson ZAPK3.

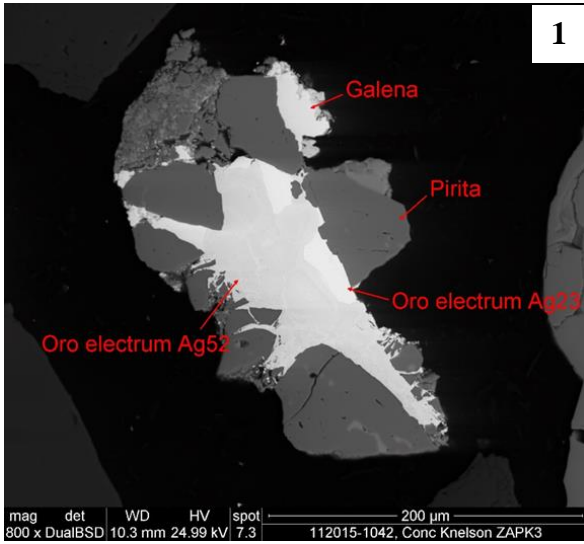


Fig 25. **Muestra ZAPK3** – Partícula ternaria de oro electrum, pirita y galena

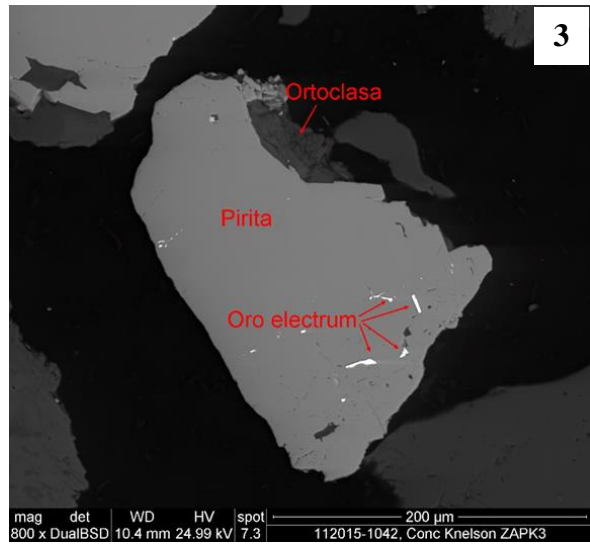


Fig 26. **Muestra ZAPK3** – Inclusión de oro electrum en partícula de pirita y ortoclasa

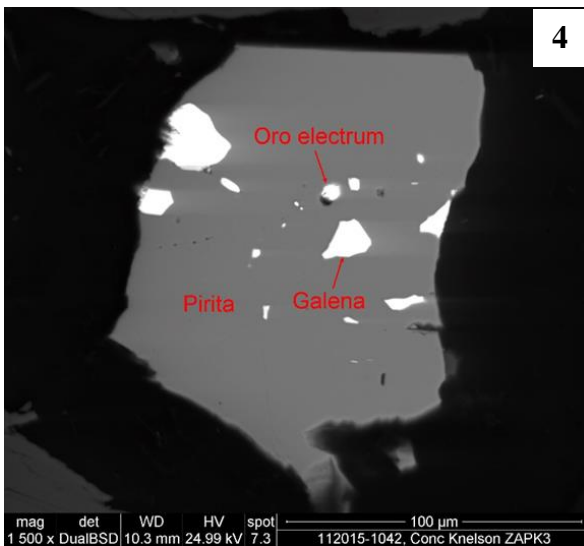


Fig 27. **Muestra ZAPK3** – Inclusión de oro electrum en partícula de pirita con galena diseminada

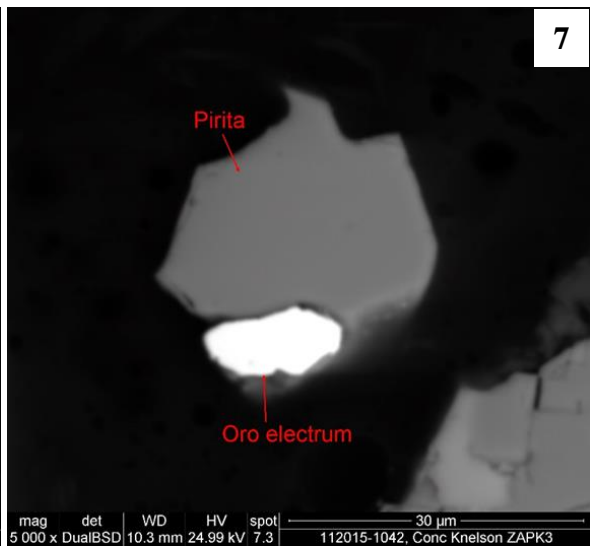


Fig 28. **Muestra ZAPK3** – Partícula binaria de pirita y oro electrum



No. Partícula	Largo (µm)	Ancho(µm)	Asociación
1	13.0, 19.8, 11.9, 27.3, 24.2	9.3, 18.6, 8.0, 6.2, 6.8	Múltiples inclusiones de oro electrum en pirita + galena
2	40.3	18.6	Oro electrum en borde de pirita
3	21.7, 19.2, 16.1	17.4, 9.3, 8.7	Inclusiones de oro electrum en pirita
4	22.9	12.4	Inclusión de oro electrum en pirita
5	13.0, 6.8, 3.8, 2.2	6.2, 5.6, 2.5, 2.0	Múltiples inclusiones de oro electrum en pirita + cuarzo
6	12.4, 5.6, 5.0	6.8, 3.1, 4.3	Múltiples inclusiones de oro electrum en pirita
7	11.8, 7.4	6.2, 5.0	Inclusiones de oro electrum en pirita
8	9.3, 5.8, 4.3, 3.8	4.9, 2.8, 3.4, 2.5	Múltiples inclusiones de oro electrum en pirita + cuarzo
9	6.8, 5.6	4.9, 4.3	Inclusiones del oro electrum en pirita + óxido de hierro

Tabla 15. Características de las partículas de Oro en Conc. Knelson ZBPK1.

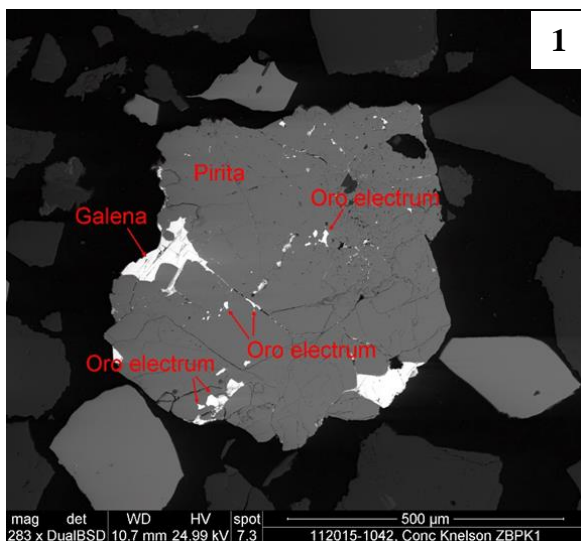


Fig 29. Muestra ZBPK1 – Inclusión de oro electrum en partícula de pirita con galena diseminada

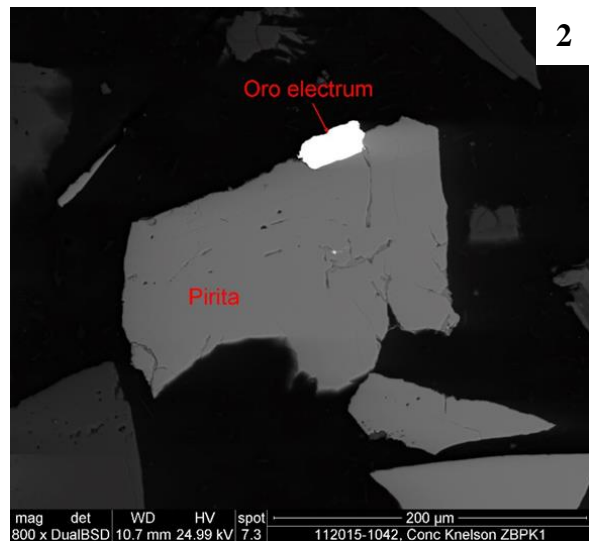


Fig 30. Muestra ZBPK1 – Oro electrum en el borde de una partícula de pirita

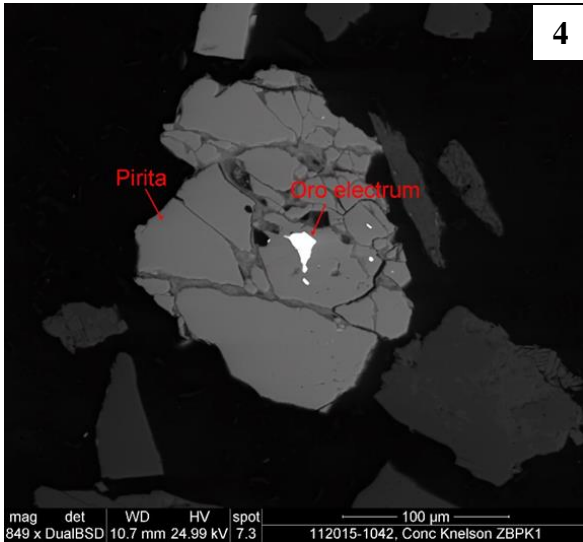


Fig 31. **Muestra ZBPK1** – Oro electrum encapsulado en partícula de pirita

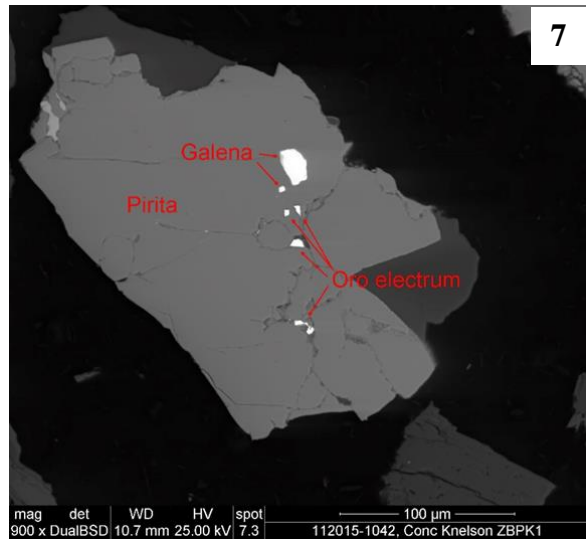


Fig 32. **Muestra ZBPK1** – Inclusiones de oro electrum y galena en pirita binaria y cuarzo

No. Partícula	Largo (μm)	Ancho(μm)	Asociación
1	30.1	15.5	Inclusión de oro electrum en pirita + ortoclasa
2	10.2	5.4	Inclusión de oro electrum en pirita

Tabla 16. Características de las partículas de Oro en Conc. Knelson ZBPK2

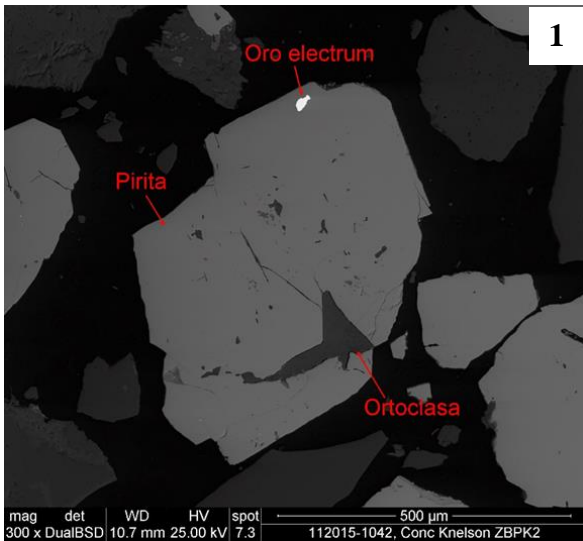


Fig 33. **Muestra ZBPK2** – Inclusión de oro electrum en partícula de pirita y ortoclasa

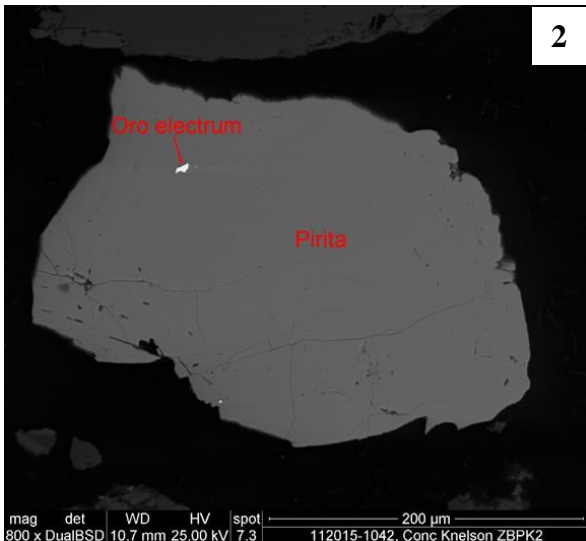


Fig 34. **Muestra ZBPK2** – Inclusiones de oro electrum en partícula de pirita

No. Partícula	Largo (µm)	Ancho(µm)	Asociación
1	73.1, 7.1, 5.3, 4.5	11.2, 3.7, 3.8, 3.4	Múltiples inclusiones de oro electrum en pirita.
2	103.8, 26.6, 16.1, 11.4	8.3, 6.8, 3.2, 1.3	Vetillas de oro electrum en óxido de hierro
3	30.1, 5.6, 1.1	9.3, 1.2, 1.1	Múltiples inclusiones de oro electrum en pirita.
4	18.6	8.1	Inclusión de oro electrum en pirita
5	8.0, 5.9	6.8, 3.8	Inclusiones de oro electrum en pirita + muscovita
6	11.2	5.6	Oro electrum en borde de pirita
7	6.8, 5.6	5.0, 3.7	Inclusiones de oro electrum en pirita
8	3.7, 3.1	3.5, 2.2	Inclusiones de oro electrum en pirita + cuarzo
9	6.2	3.3	Inclusión de oro electrum en pirita + galena

Tabla 17. Características de las partículas de Oro en Conc. Knelson ZBPK3

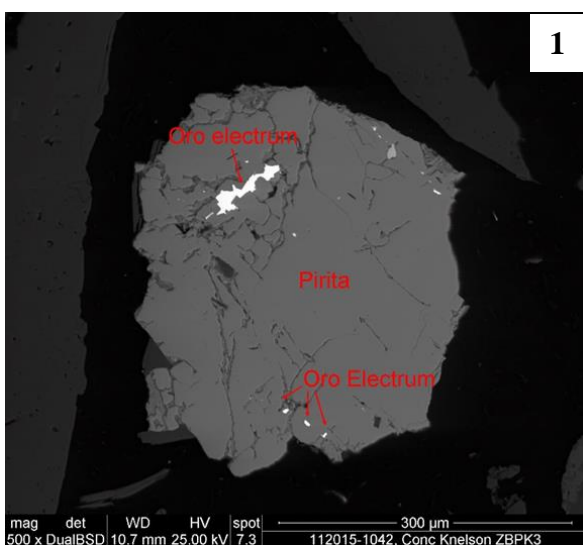


Fig 35. Muestra ZBPK3 – Inclusión de oro electrum en partícula de pirita

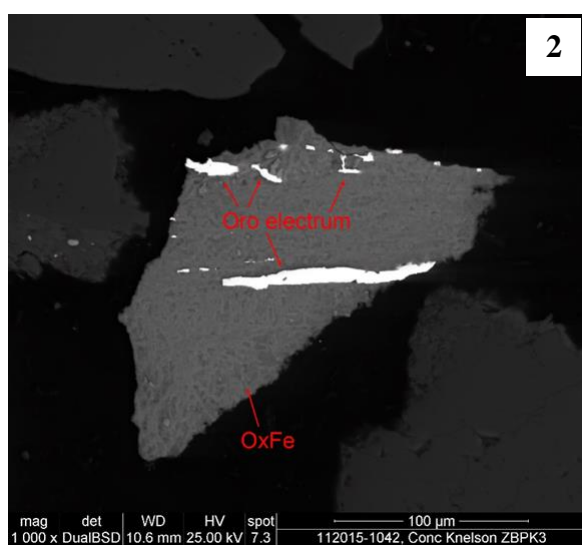


Fig 36. Muestra ZBPK3 – Vetillas de oro electrum en partícula de óxido de hierro

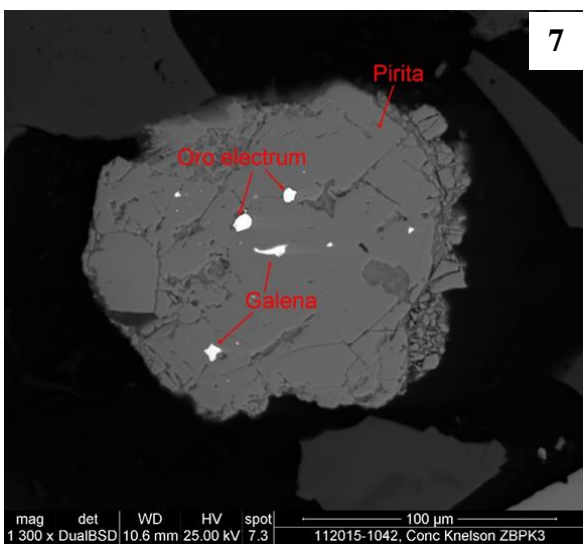


Fig 37. Muestra ZBPK3 – Inclusión de oro electrum en partícula de pirita

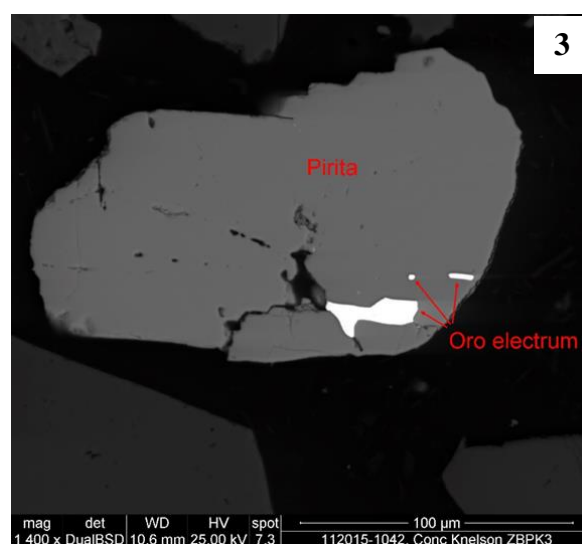


Fig 38. Muestra ZBPK3 – Inclusión de oro electrum y galena en partícula de pirita

No. Partícula	Largo (µm)	Ancho(µm)	Asociación
1	4.3	3.7	Inclusión de oro electrum en partícula multifase de pirita, cuarzo y ortoclasa
2	6.8	3.5	Inclusión de oro electrum en partícula multifase de albita, ankerita y pirita
3	22.3	6	Petzita en borde de pirita
4	5.0, 4.6	2.8, 1.6	Inclusiones de petzita en pirita
5	6.8	2.5	Petzita en borde de pirita
6	7.4	1.4	Inclusión de petzita en pirita
7	4.3	3.4	Petzita en borde de pirita
8	5.6	2.5	Petzita en borde de pirita
9	3.8	2.2	Inclusión de petzita en pirita + albita
10	3.2	1.6	Inclusión de petzita en pirita + albita
11	3.4	2.5	Inclusión de petzita en partícula multifase de pirita, albita, muscovita y apatito

Tabla 18. Características de las partículas de Oro en Conc. Knelson ZCPK1.

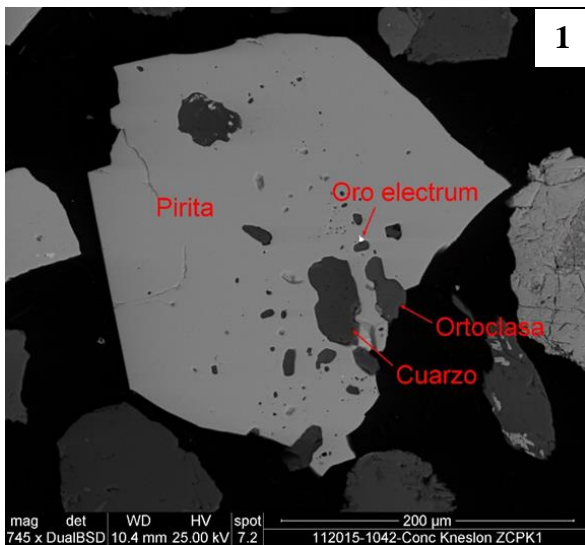


Fig 39. Muestra ZCPK1 – Inclusión de oro electrum en partícula multifase de pirita, cuarzo y ortoclasa

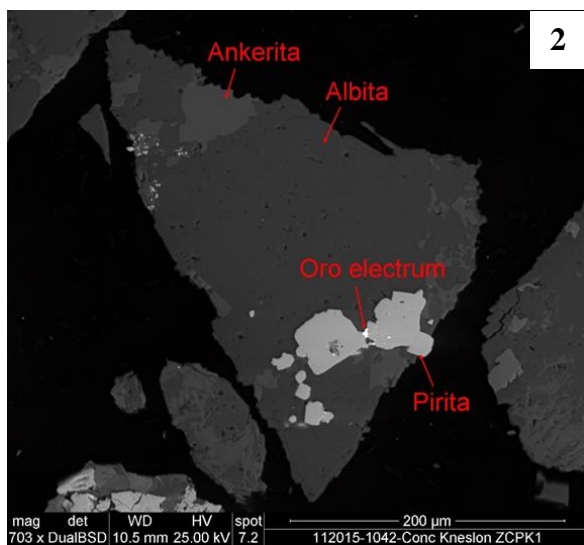


Fig 40. Muestra ZCPK1 – Inclusión de oro electrum en partícula multifase de albita, Ankerita y pirita

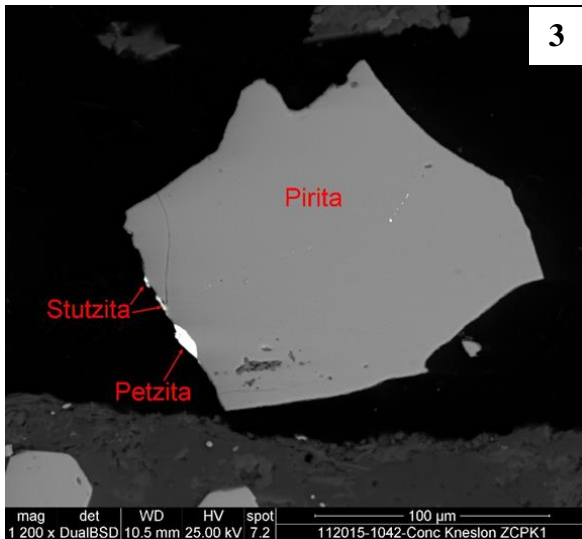


Fig 41. Muestra ZCPK1 – Partícula de pirita con petzita y stutzita en el borde

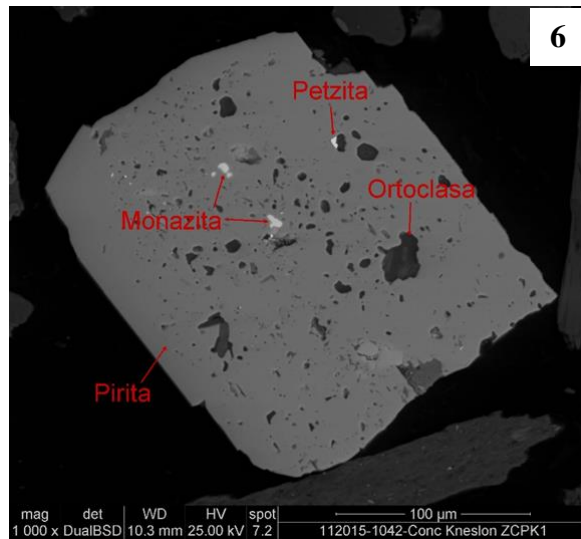


Fig 42. Muestra ZCPK1 – Inclusión de petzita en partícula de pirita con monazita y ortoclasa diseminada

No. Partícula	Largo (μm)	Ancho(μm)	Asociación
1	21.1	15.5	Oro electrum en borde de pirita + clorita
2	16.1, 9.3	9.9, 6.2	Inclusiones de oro electrum en pirita
3	4.6	2.8	Inclusión de oro electrum en pirita
4	4.1, 3.4	3.3, 2.1	Inclusiones de petzita en pirita
5	5.8	4.5	Petzita en borde de pirita + rutilo
6	5.6	3.4	Inclusión de petzita en pirita + ortoclasa
7	3.2	2.3	Inclusión de petzita en pirita

Tabla 19. Características de las partículas de Oro en Conc. Kneslon ZCPK2.

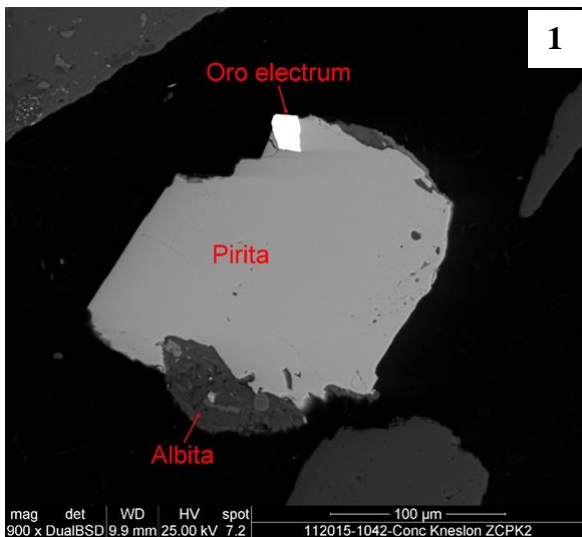


Fig 43. Muestra ZCPK2 – Oro electrum en borde de pirita y albita

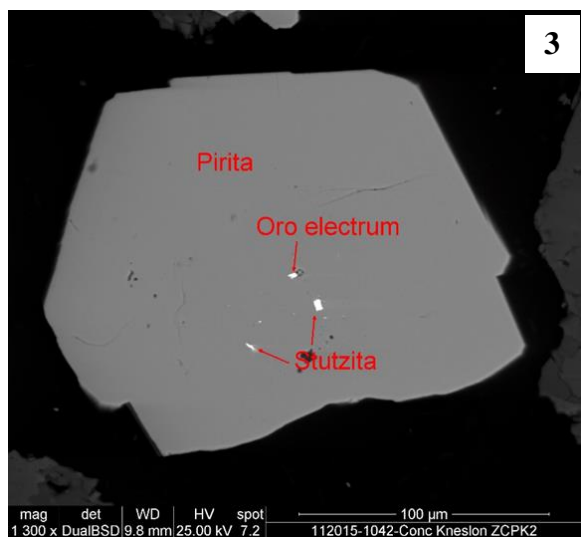


Fig 44. Muestra ZCPK2 – Inclusión de oro electrum en partícula de pirita con stutzita

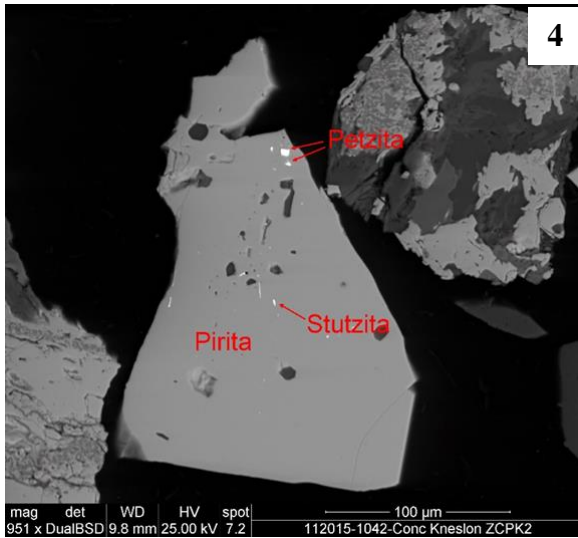


Fig 45. Muestra ZCPK2 Inclusión de petzita y stutzita en partícula de pirita

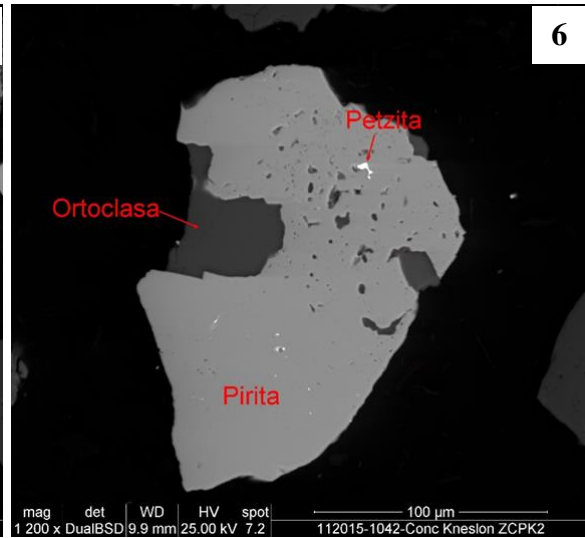


Fig 46. Muestra ZCPK2 – Inclusión de petzita en partícula binaria de pirita y ortoclasa

No. Partícula	Largo (μm)	Ancho(μm)	Asociación
1	5.8, 4.3	4.5, 3.8	Inclusiones de oro electrum en partícula multifase de ankerita, cuarzo y pirita
2	4.6	3.7	Inclusión de petzita en partícula multifase de muscovita, cuarzo, óxido de fierro y pirita

Tabla 20. Características de las partículas de Oro en Conc. Kneslon ZCPK3.

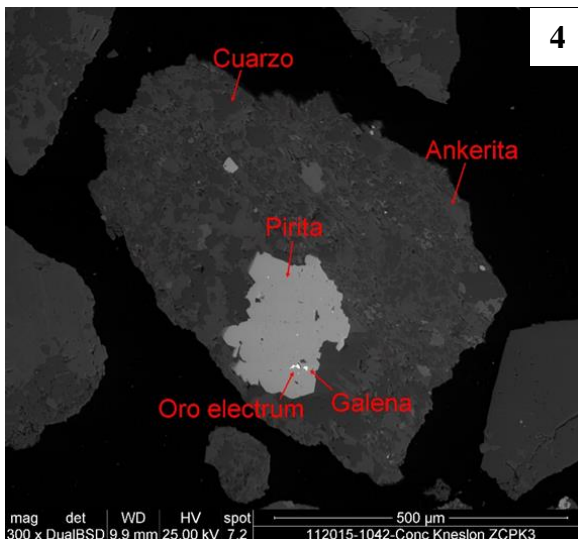


Fig 47. Muestra ZCPK3 Inclusión de oro electrum y galena en partícula multifase de Ankerita, cuarzo y pirita

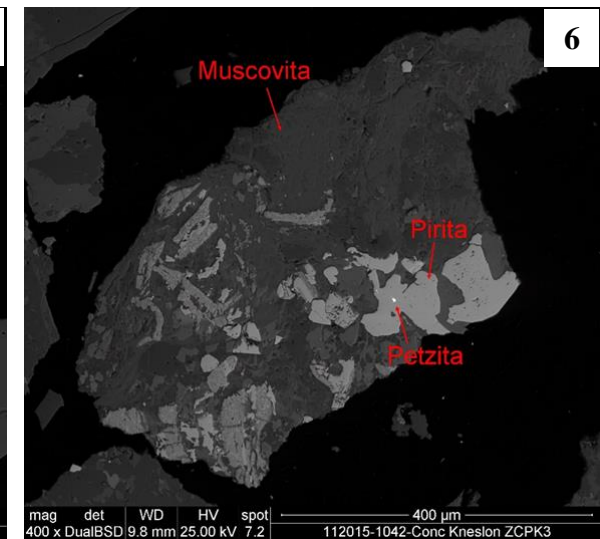


Fig 48. Muestra ZCPK3 – Inclusión de petzita en partícula multifase de Muscovita, pirita y otras especies

## VIII. EL MODELO GEOMETALURGICO

Uno de los objetivos principales de este trabajo es la elaboración de un modelo geometalúrgico el cual ayude a definir los mejores destinos para el mineral de alta ley que se obtendrá del minado subterráneo, específicamente mineral obtenido de la zona de sulfuros primarios de la mina La Herradura, pero también será aplicado al mineral que está dentro del tajo actual, y que cumpla con las mismas características antes mencionadas.

Algunos puntos de interés que se mencionan a continuación son la base para la realización del modelo Geometalúrgico.

1. La molienda utilizada para la realización de este estudio fue de -1 mm.
2. Las leyes de oro analizadas para conocer contenidos de oro y calcular recuperaciones fueron a partir de análisis al fuego, sin embargo, no hay que olvidar que la planta de lixiviación dinámica opera con cianuración. El tamaño de la partícula de la planta es de p80 @ 0.103 mm (aunque fue diseñada para un p80 @ 0.075mm).
3. Las pruebas experimentales de recuperación por cianuración dinámica dan un 98% de recuperación con p80 @ -0.090mm).
4. En el circuito de la planta de La Herradura hay incorporados 2 concentradores Knelson antes de que el mineral pase a la planta de cianuración dinámica. En esos concentradores se ha tenido una recuperación entre septiembre del 2015 y febrero del 2016 de 65.1% de oro, en concentrados con leyes de 782 g/t Au, con una cabeza calculada de 5.32 g/t de Au. Lo cual indicaría que se necesitan 225.7 toneladas de mineral en esa ley para obtener una tonelada de concentrado con la ley indicada.
5. De los datos anteriores se puede deducir que en los concentradores Knelson se ha recuperado un promedio de leyes de 3.46 g/t de Au, y se ha mandado a cianuración la cola del concentrado, que representa la cabeza de la planta de cianuración dinámica con una ley promedio de 1.86 g/t de Au.

6. Considerando los puntos anteriores y después de haber trabajado en la 3 zonas definidas para el estudio se tienen las siguientes consideraciones para cada una de las zonas.

#### *VIII.1. Consideraciones para el cálculo de las constantes de recuperación metalúrgica*

Las constantes de cálculo de recuperaciones metalúrgicas para cada una de las zonas se hizo tomando en cuenta el tamaño y las texturas de todas las partículas con oro observadas con MLA. Se consideró como oro recuperable a toda partícula de oro libre o en los bordes de sulfuros o en microfracturas en sulfuros. Por otra parte, se consideró como oro no recuperable en cianuración dinámica a todas aquellas partículas de oro observadas como inclusiones en pirita y de un tamaño inferior al tamaño de molienda para cianuración dinámica (0.075 mm, que fue el diseño de planta). Estos cálculos darían como resultado, una especie de “metalurgia física”, en la cual no se consideran pruebas metalúrgicas experimentales de cianuración.

Dicho lo anterior, las constantes resultantes fueron:

Zona A: Una constante de recuperación es de 92 %. Dicho 92 % proviene de la suma de superficies medidas largo x ancho de las inclusiones no recuperables dividido entre la suma total de oro que incluye oro libre o bien oro adherido a pirita o a otro mineral. El 92 % considera las 3 secciones pulidas del concentrado de la Zona A que son PK1, PK2 y PK3.

Zona B: Una constante de recuperación de 79 %. Este 79 % proviene de un promedio que resulta de considerar no recuperable todo aquel oro que se encuentra incluido en pirita y de considerar recuperable todo aquel oro que es libre o adherido a pirita o a otro mineral. Esta relación proviene de la suma de superficies medidas largo x ancho de las inclusiones dividido entre la suma total de oro que incluye oro libre o bien oro adherido a pirita o a otro



mineral. El 79 % considera las 3 secciones pulidas del concentrado de la Zona B que son PK1, PK2 y PK3.

Zona C: Una constante de recuperación de 84 %. Esta zona al parecer se comporta de una manera problemática ya que el oro no se encuentra totalmente como oro, sino que una parte está en forma de telururos (petzita). Según los cálculos a partir de los tamaños de las partículas, el 89 % de los valores de oro se encuentra en este mineral y el 11 % del oro se encuentra en petzita. En ocasiones el oro también es de un tamaño muy fino, o incluido en la pirita. Por lo anterior, el 84 % considera no extraíble en oro super fino incluido en la pirita, ni tampoco el oro que se encuentra en forma de petzita.

#### *VIII.2. Cálculos a partir de las constantes de recuperación obtenidas con MLA.*

Con lo antes expuesto se tiene los datos necesarios para calcular el modelo de recuperación el cual será de beneficio para el minado subterráneo y minado a cielo abierto. Para esto se realizó inicialmente una cubicación de un área específica utilizando el modelo de bloques actual para ver cómo era el comportamiento de la ley en cada uno de los bloques, cada bloque mide 15x15x8 y en este caso se tiene una malla de bloques de 6x6.

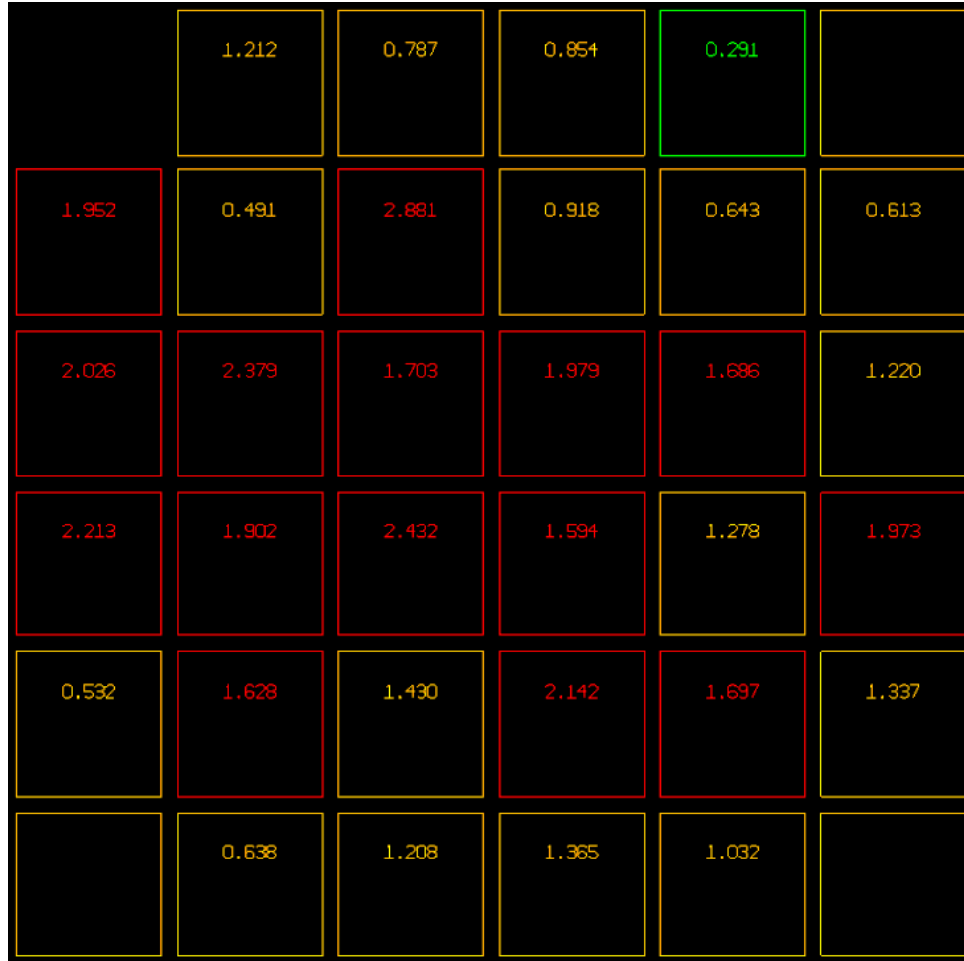


Figura 49. Representación de bloques y sus leyes en Mina La Herradura

A partir del área considerada y de las leyes obtenidas en cada uno de los bloques se hicieron 3 estimaciones de ley considerando las recuperaciones obtenidas a partir de las observaciones con MLA, para cada una de las zonas de estudio. Los resultados se muestran a continuación.

Leyes Actuales Modelo					
	1.21	0.79	0.85	0.29	
1.95	0.49	2.88	0.92	0.64	0.61
2.03	2.38	1.70	1.98	1.69	1.22
2.21	1.90	2.43	1.59	1.28	1.97
0.53	1.63	1.43	2.14	1.70	1.34
	0.64	1.21	1.37	1.03	

Figura 50. Tabla con leyes de bloques en Mina La Herradura – Modelo Actual de Exploración

**Recuperaciones a partir de las observaciones con MLA sobre los concentrados gravimétricos con molienda a p80 @ -1.00 mm**

Recuperación Zona A = 92%						Recuperación Zona B = 79%						Recuperación Zona C = 84%					
0.00	1.12	0.72	0.79	0.27	0.00	0.00	0.96	0.62	0.67	0.23	0.00	0.00	1.02	0.66	0.72	0.24	0.00
1.80	0.45	2.65	0.84	0.59	0.56	1.54	0.39	2.28	0.73	0.51	0.48	1.64	0.41	2.42	0.77	0.54	0.51
1.86	2.19	1.57	1.82	1.55	1.12	1.60	1.88	1.35	1.56	1.33	0.96	1.70	2.00	1.43	1.66	1.42	1.02
2.04	1.75	2.24	1.47	1.18	1.82	1.75	1.50	1.92	1.26	1.01	1.56	1.86	1.60	2.04	1.34	1.07	1.66
0.49	1.50	1.32	1.97	1.56	1.23	0.42	1.29	1.13	1.69	1.34	1.06	0.45	1.37	1.20	1.80	1.43	1.12
0.00	0.59	1.11	1.26	0.95	0.00	0.00	0.50	0.95	1.08	0.82	0.00	0.00	0.54	1.01	1.15	0.87	0.00
Recuperación Zona A <b>92%</b>						Recuperación Zona B <b>79%</b>						Recuperación Zona C <b>84%</b>					

Figura 51. Leyes de bloques en Mina La Herradura utilizando recuperaciones las recuperaciones calculadas a partir de MLA.

Con los datos anteriores y según el comportamiento de la ley en cada uno de los bloques, se estimó el mineral *in situ* de cada una de las zonas de estudio con la finalidad de conocer el impacto en tonelaje, ley y contenido para los diferentes *cut off* que son utilizados en La Herradura, el comportamiento de estos se muestra en las siguientes tablas.

Contenido de Mineral Zona A -- Recuperación Utilizada 92%					
<i>Cut Off</i>	Ton	Ley	Cont Gr	Onzas	Oz Rec
All blocks	1,456,850,227	0.095	139,041,151	4,470,276	4,112,654
> 0.3	136,210,969	0.895	121,862,756	3,917,978	3,604,540
> 1.5	17,926,124	2.298	41,195,458	1,324,465	1,218,507
> 3.0	1,993,484	5.007	9,980,850	320,892	295,220

Contenido de Mineral Zona B -- Recuperación Utilizada 79%					
<i>Cut Off</i>	Ton	Ley	Cont Gr	Onzas	Oz Rec
All blocks	3,623,551,669	0.050	181,431,964	5,833,173	4,608,206
> 0.3	196,542,674	0.777	152,808,661	4,912,912	3,881,200
> 1.5	17,549,734	2.177	38,209,754	1,228,472	970,493
> 3.0	1,733,347	4.214	7,303,768	234,822	185,509

Contenido de Mineral Zona C -- Recuperación Utilizada 84%					
<i>Cut Off</i>	Ton	Ley	Cont Gr	Onzas	Oz Rec
All blocks	3,889,041,478	0.032	124,067,902	3,988,875	3,350,655
> 0.3	148,297,603	0.597	88,491,360	2,845,063	2,389,853
> 1.5	3,981,510	1.810	7,204,969	231,645	194,582
> 3.0	18,000	3.166	56,988	1,832	1,539

Tabla 21. Cálculos de oro recuperado utilizando los datos de MLA sobre los concentrados obtenidos con concentrador Knelson, a una granulometría de p80 @ -1.00 mm (-20 mallas).

### VIII.3. Cálculos de las mismas zonas utilizando datos experimentales.

Se efectuaron cálculos similares a los anteriores a partir de datos experimentales tradicionales de pruebas de recuperación por cianuración en botellas. Para ello se utilizó un testigo de las muestras compósito iniciales antes de las concentraciones gravimétricas. Es decir, utilizando material con una molienda a -1 mm. Las pruebas de botella se presentan en anexo, las constantes de recuperación obtenidas para estas pruebas fueron:

Zona A: recuperación de 87 %.

Zona B: recuperación de 92 %.

Zona C: recuperación de 90 %.

#### Recuperaciones a partir de pruebas de cianuración en botella p80 @ -1.00 mm (-20 mallas).

Recuperación Zona A = 87%						Recuperación Zona B = 92%						Recuperación Zona C = 90%					
0.00	1.05	0.68	0.74	0.25	0.00	0.00	1.12	0.72	0.79	0.27	0.00	0.00	1.09	0.71	0.77	0.26	0.00
1.70	0.43	2.51	0.80	0.56	0.53	1.80	0.45	2.65	0.84	0.59	0.56	1.76	0.44	2.59	0.83	0.58	0.55
1.76	2.07	1.48	1.72	1.47	1.06	1.86	2.19	1.57	1.82	1.55	1.12	1.82	2.14	1.53	1.78	1.52	1.10
1.93	1.65	2.12	1.39	1.11	1.72	2.04	1.75	2.24	1.47	1.18	1.82	1.99	1.71	2.19	1.43	1.15	1.78
0.46	1.42	1.24	1.86	1.48	1.16	0.49	1.50	1.32	1.97	1.56	1.23	0.48	1.47	1.29	1.93	1.53	1.20
0.00	0.56	1.05	1.19	0.90	0.00	0.00	0.59	1.11	1.26	0.95	0.00	0.00	0.57	1.09	1.23	0.93	0.00
Recuperación Zona A <b>87%</b>						Recuperación Zona B <b>92%</b>						Recuperación Zona C <b>90%</b>					

Figura 52. Leyes de bloques en Mina La Herradura utilizando recuperaciones calculadas por cianuración con Botellas -20 mallas.

Los cálculos de tonelaje leyes y oro recuperado utilizando las constantes anteriores se presentan en las tablas siguientes:

Contenido de Mineral Zona A -- Recuperación Utilizada 87%					
Cut Off	Ton	Ley	Cont Gr	Onzas	Oz Rec
All blocks	1,456,850,227	0.095	139,041,151	4,470,276	3,889,140
> 0.3	136,210,969	0.895	121,862,756	3,917,978	3,408,641
> 1.5	17,926,124	2.298	41,195,458	1,324,465	1,152,284
> 3.0	1,993,484	5.007	9,980,850	320,892	279,176

<b>Contenido de Mineral Zona B -- Recuperación Utilizada 92%</b>					
<i>Cut Off</i>	<b>Ton</b>	<b>Ley</b>	<b>Cont Gr</b>	<b>Onzas</b>	<b>Oz Rec</b>
<i>All blocks</i>	3,623,551,669	0.050	181,431,964	5,833,173	5,366,519
> 0.3	196,542,674	0.777	152,808,661	4,912,912	4,519,879
> 1.5	17,549,734	2.177	38,209,754	1,228,472	1,130,194
> 3.0	1,733,347	4.214	7,303,768	234,822	216,036

<b>Contenido de Mineral Zona C -- Recuperación Utilizada 90%</b>					
<i>Cut Off</i>	<b>Ton</b>	<b>Ley</b>	<b>Cont Gr</b>	<b>Onzas</b>	<b>Oz Rec</b>
<i>All blocks</i>	3,889,041,478	0.032	124,067,902	3,988,875	3,589,988
> 0.3	148,297,603	0.597	88,491,360	2,845,063	2,560,557
> 1.5	3,981,510	1.810	7,204,969	231,645	208,481
> 3.0	18,000	3.166	56,988	1,832	1,649

Tabla 22. Cálculos de oro recuperado utilizando los datos de pruebas de cianuración con botella a una granulometría de p80 @ -1.00 mm (-20 mallas).

Finalmente, un último grupo de cálculos se hizo utilizando pruebas experimentales de cianuración con botellas a una molienda de p80 @ -0.075 mm (-200 mallas). Las pruebas de referencia se presentan en apéndice. Los resultados de las constantes de recuperación obtenidas fueron:

Zona A: recuperación de 94 %.

Zona B: recuperación de 98 %.

Zona C: recuperación de 91 %.

**Recuperaciones a partir de pruebas de cianuración en botella a una granulometría de p80 @ -0.075 mm -200 mallas.**

Recuperación Zona A = 94%						Recuperación Zona B = 98%						Recuperación Zona C = 91%					
0.00	1.14	0.74	0.80	0.27	0.00	0.00	1.19	0.77	0.84	0.29	0.00	0.00	1.10	0.72	0.78	0.26	0.00
1.83	0.46	2.71	0.86	0.60	0.58	1.91	0.48	2.82	0.90	0.63	0.60	1.78	0.45	2.62	0.84	0.59	0.56
1.90	2.24	1.60	1.86	1.58	1.15	1.99	2.33	1.67	1.94	1.65	1.20	1.84	2.16	1.55	1.80	1.53	1.11
2.08	1.79	2.29	1.50	1.20	1.85	2.17	1.86	2.38	1.56	1.25	1.93	2.01	1.73	2.21	1.45	1.16	1.80
0.50	1.53	1.34	2.01	1.60	1.26	0.52	1.60	1.40	2.10	1.66	1.31	0.48	1.48	1.30	1.95	1.54	1.22
0.00	0.60	1.14	1.28	0.97	0.00	0.00	0.63	1.18	1.34	1.01	0.00	0.00	0.58	1.10	1.24	0.94	0.00
Recuperación Zona A <b>94%</b>						Recuperación Zona B <b>98%</b>						Recuperación Zona C <b>91%</b>					

Figura 53. Leyes de bloques en Mina La Herradura utilizando recuperaciones a partir de cianuración en botella - 200 mallas.

Contenido de Mineral Zona A -- Recuperación Utilizada 94%					
Cut Off	Ton	Ley	Cont Gr	Onzas	Oz Rec
All blocks	1,456,850,227	0.095	139,041,151	4,470,276	4,202,060
> 0.3	136,210,969	0.895	121,862,756	3,917,978	3,682,899
> 1.5	17,926,124	2.298	41,195,458	1,324,465	1,244,997
> 3.0	1,993,484	5.007	9,980,850	320,892	301,638

Contenido de Mineral Zona B -- Recuperación Utilizada 98%					
Cut Off	Ton	Ley	Cont Gr	Onzas	Oz Rec
All blocks	3,623,551,669	0.050	181,431,964	5,833,173	5,716,509
> 0.3	196,542,674	0.777	152,808,661	4,912,912	4,814,654
> 1.5	17,549,734	2.177	38,209,754	1,228,472	1,203,903
> 3.0	1,733,347	4.214	7,303,768	234,822	230,125

Contenido de Mineral Zona C -- Recuperación Utilizada 91%					
Cut Off	Ton	Ley	Cont Gr	Onzas	Oz Rec
All blocks	3,889,041,478	0.032	124,067,902	3,988,875	3,629,876
> 0.3	148,297,603	0.597	88,491,360	2,845,063	2,589,007
> 1.5	3,981,510	1.810	7,204,969	231,645	210,797
> 3.0	18,000	3.166	56,988	1,832	1,667

Tabla 23. Recuperaciones utilizando datos experimentales de cianuración en botella usando una granulometría de p80 @ -0.075 mm (-200 mallas).

#### VIII.4. Comparaciones de los cálculos efectuados.

Se hizo una comparación del oro recuperado con los tres grupos de constantes de recuperación, los resultados se presentan en la figura 54.

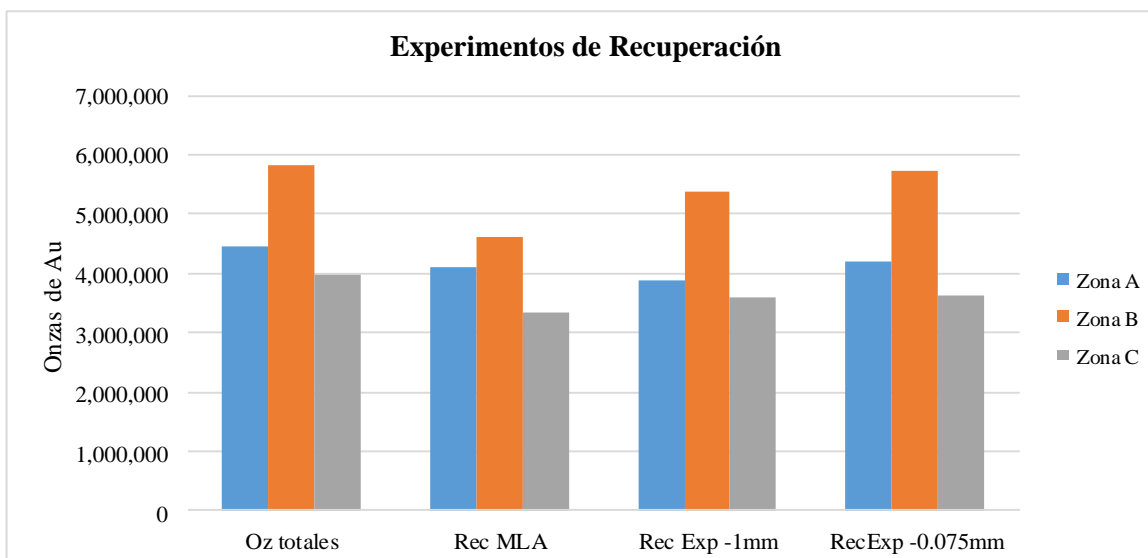


Figura 54. Onzas totales de Au recuperado calculado según las diferentes constantes de recuperación.

Explicación:

- Oz totales: onzas totales calculadas.
- Rec MLA: onzas recuperables calculadas con MLA con una granulometría de -1 mm (-20 mallas).
- RecExp -1mm: onzas recuperables calculadas con pruebas de cianuración en botellas con partícula a -1mm (-20 mallas).
- RecExp -0.075mm: onzas recuperables calculadas con pruebas de cianuración en botellas con partícula a -0.075mm (-200 mallas).

De acuerdo con la gráfica anterior se observa que los cálculos efectuados con MLA en relación con los efectuados con pruebas experimentales sólo son significativos para la Zona B. Esto significa que es posible efectuar cálculos de recuperación confiables a partir de MLA; es posible observar también que no existe una diferencia significativa en recuperación utilizando un tamaño de partícula a -1 mm (-20 mallas) en relación con un

tamaño de partícula a  $-0.075$  mm (-200 mallas) y que el proceso de remolienda puede ser innecesario, con un probable ahorro importante en energía.

## **IX. CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la realización de este estudio, se obtuvo información de gran importancia para conocer el comportamiento de los sulfuros primarios durante un proceso de beneficio, para diferentes zonas de la mina La Herradura. Con esto se podrá identificar los mejores destinos para cualquier mineral de oro que se quiera procesar de las diferentes zonas de estudio identificadas.

A continuación se enlistan algunas de las conclusiones más importantes que se desprenden de este trabajo:

- Aunque no es una conclusión del presente trabajo, hay que decir que el yacimiento de la Herradura corresponde a varios yacimientos individuales de tipo oro orogénico, el cual se formó durante el período laramide, como ha sido ya definido por otros autores.
- La mineralización está controlada por estructuras de rumbo NW-SE limitada por 2 estructuras llamadas Victoria y Ocotillo. A pequeña escala la mineralización se ubica en vetas y vetillas de cuarzo que siguen diferentes familias ya descritas anteriormente.
- Las rocas huéspedes de la mineralización son principalmente gneises cuarzo-feldespáticos, los cuales son más favorables a generar estructuras en un ambiente dúctil-frágil.
- La mayor concentración de oro se ubica en el Tajo Mega\_Centauro, en el cual se definieron 3 zonas geometalúrgicas llamadas zonas A, B y C. La primera y la última son zonas de sulfuros primarios, mientras que la zona B es de transición óxidos – sulfuros primarios. El muestreo a base de compósitos de cada una de las zonas fue la base para la materia prima de este trabajo.



- Se hicieron concentrados gravimétricos para concentrar la suficiente cantidad de oro para utilizar el método de *Mineral Liberation Analyzer* (MLA), que permitiera respondernos a las preguntas inicialmente planteadas.
- En general, los concentrados están constituido por una ganga rica en cuarzo y por pirita. Las especies de oro identificadas fueron *oro electrum* y *petzita*, este último, es de suma importancia ya que puede ser complejo obtener una buena recuperación de este tipo de oro.
- Las principales especies de no metálicas son cuarzo, albita, muscovita y ankerita, entre otras.
- Se identificaron un total de 79 partículas de oro de las cuales 64 corresponden a *oro electrum* y 14 a *petzita*. El contenido de plata detectada en las partículas de oro electrum se encuentran en cantidades variables de entre 20% y 30%, aproximadamente.
- Las principales asociaciones de oro identificadas consisten de oro libre, oro en inclusiones en pirita o en diversas gangas como cuarzo, albita, ortoclasa, ankerita. También se detectó oro bordeando a la pirita.
- Los tamaños de las partículas de oro detectadas varían desde los 3 $\mu$ m a 200 $\mu$ m de largo x 1.5 $\mu$ m a 80 $\mu$ m de ancho.
- A partir de los datos de MLA se calcularon constantes de recuperación de oro de 92 % para la Zona A, 79 % para la Zona B y de 84 % para la Zona C.
- Datos experimentales de muestras testigo presentan constantes de recuperación de 87 % para la Zona A, 92 % para a Zona B y 90 % para la Zona C a una molienda de -1 mm (20 mallas); así también, se obtuvieron constantes de recuperación de 94 % para la Zona A, 98 % para la Zona B y 91 % para a Zona C.
- La cantidad total de oro recuperado con las constantes obtenidas por MLA y las experimentales sólo muestran diferencias significativas para la Zona B (transición óxidos-sulfuros). Lo cual valida el método MLA como confiable para elaborar un modelo geometalúrgico.
- Los datos de recuperación obtenidos para las diferentes zonas geometalúrgicas indican buenas recuperaciones a una granulometría con un p80 @ -0.075 mm (-200 mallas), sin embargo, se detectó una recuperación no muy diferente para una

granulometría con un p80 @ 1.00mm (-20 mallas). Esto puede indicar que no hay necesidad de remolienda de alimentación para la planta de cianuración dinámica, lo cual puede representar un beneficio económico para la unidad minera.

- Los beneficios que se obtendrían a partir de un ahorro en remolienda serían: disminución de cambio de aceros, reducción de consumo de energía eléctrica, reducción de consumo de reactivos, disminución de paros por mantenimiento a los molinos, entre otros.
- La utilización del modelo geometalúrgico mejoraría el manejo y administración en el destino del mineral económico que proviene de la operación.
- Utilizar este modelo en la estimación de recursos y reservas de mina La Herradura podría aportar una ganancia debido a que se tienen identificadas buenas recuperaciones para la zona de sulfuros primarios.
- La aplicación de este modelo en nuevos proyectos mineros ayudará mucho para conocer las condiciones geometalúrgicas del sitio, el modo de ocurrencia de la mineralización y podría ser de ayuda en el proceso de evaluación de proyectos mineros.

## **X. BIBLIOGRAFÍA**

- Albinson, T.F., 1989, Vetas mesotermales auríferas del sector norte del estado de Sonora, Memorias Técnicas, XVIII Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C., 20-40.
- Araux-Sánchez, Elizabeth, 2000, Geología y yacimientos minerales de la Sierra Pinta, Municipio de Puerto Peñasco, Sonora: Hermosillo, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, tesis de maestro en ciencias, 121 p. (inérita).
- Caddey S. W., 2002. Structural setting, tectonic deformation history, vein relations, structural model and ore controls, La Herradura Gold Deposits Northern Sonora, México. Internal report Minera Penmont. 25 p.
- Caddey S. W. and Garcia R. E., 2003. District structural mapping, structural analysis, documentation and prioritization of district exploration target areas, La Herradura Gold Deposits Northern Sonora, México. Internal report Minera Penmont. 29 p.
- De la Torre, 2005. Geología del yacimiento mina La Herradura: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, XXVI Convención Internacional, Acta de Sesiones, p. 31-38.
- Goldfarb, R.J.; Groves, D.I.; y Gardoll, S., 2001, Orogenic gold and geologic time—a global synthesis: Ore Geology Reviews, v. 18, p. 1–75.
- Goldfarb, R.J., Phillips, G.N., Nokleberg, W.J., 1998. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. Ore Geol. Rev. 13, 185–218 this issue.
- González-León, C.M., 1980, La Formación Antimonio (Triásico Superior-Jurásico Inferior) en la Sierra del Álamo, Estado de Sonora: Revista Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 4, 13-18.
- Groves, D.I.; Goldfarb, R.J.; Gebre-Mariam, M.; Hagemann, S.G.; y Robert, F., 1998, Orogenic gold deposit—a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types: Ore Geology Reviews, v. 13, p. 7–27.
- Groves, D.I.; Goldfarb, R.J.; Knox-Robinson, C.M.; Ojala, J.; Gardoll, S.; Yun, G.Y.; Holyland, P.; (2000) Late-kinematic timing of orogenic gold deposits and

- significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgam Block, Western Australia. *Ore Geol Rev* 17:1-38.
- Haxel, G.B., Tosdal, R.M., May, D.J., and Wright, J.E., 1984, Latest Cretaceous and early Tertiary orogenesis in south-central Arizona: Thrust faulting, regional metamorphism, and granitic plutonism: *Geological Society of America Bulletin*, v. 95, p. 631–653.
  - Herrera-Urbina, Saúl y Pérez-Segura, Efrén, 1990. Facies de metamorfismo en las secuencias de las inmediaciones del poblado Estación Llano, Sonora: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora (UNI-SON), Departamento de Geología, Boletín v. 7, p. 7-28.
  - Iriondo, A., 2001, Proterozoic basements and their Laramide juxtaposition in northwestern Sonora, Mexico: Tectonic constraints on the southwestern margin of Laurentia [Ph.D. thesis]: Boulder, Colorado, University of Colorado, 222 p.
  - Iriondo A., Martínez-Torres I. M., Kunk M. J., Atkinson Jr. W. W., Premo W. R. and McIntosh W. C., 2005. Northward Laramide thrusting in the Quitovac region, northwestern Sonora, Mexico: Implications for the juxtaposition of Paleoproterozoic basement blocks and the Mojave-Sonora megashear Hypothesis. In Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., and Steiner, M.B., eds., *The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives: Geol. Soc. Amer., Special Paper 393*, p. 631-669.
  - Izaguirre-Pompa, A. and Iriondo, A., 2007, Mesoproterozoic (~1.2 Ga) quartzite and intruding anorthosite (~1.08 Ga) from Sierra Prieta, NW Sonora: Mexican additions to the Precambrian history of SW Laurentia: Ores and Orogenesis, Program with Abstracts, Arizona Geological Society Ores and Orogenesis Symposium, Tucson, Arizona, September 24-30, 147 p
  - Izaguirre-Pompa, 2009, El basamento paleoproterozoico (~1.71–1.68 Ga) Yavapai en el área Mina La Herradura en el NW de Sonora: Sus implicaciones para el desarrollo del arco magmático continental Mesozoico-Cenozoico del NW de México, M. Sc. Thesis Submitted to the Universidad Nacional Autónoma de México. 201 p.
  - Lang J., 2003, Fluid Inclusion Study of the La Herradura Deposit, Caborca, Sonora, Mexico. Internal report Minera Penmont 29p.

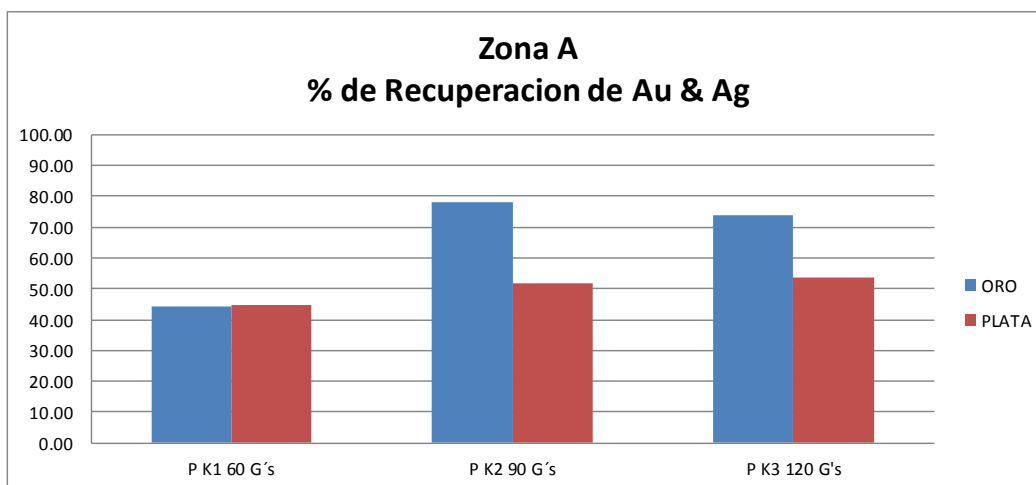
- López, M., and Díaz de León, C., 1995, Litología y alteración del yacimiento La Herradura. Caborca, Sonora. Internal report Minera Penmont 9 p.
- Molina-Garza R. S. and Iriondo A., 2007, The Mojave-Sonora megashear: The hypothesis, the controversy, and the current state of knowledge. In the Alaniz-Álvarez S. A. and Nieto-Samaniego A. F., eds., *Geology of Mexico: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México* Geol. Soc. Amer., special paper 422. p. 233-260.
- Noriega-Martínez, O., 2006, Evidencias de dos etapas de mineralización de oro mesotermal en las áreas de Tajitos, Juárez-San Francisco, en la región de Caborca, Sonora, México: Hermosillo, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, tesis de maestro en ciencias, 81 p. (inérita).
- Ochoa-Landín, L; Pérez-Segura, Efrén; Del Rio-Salas, Rafael y Valencia-Moreno, Martín, 2011, Depósitos minerales de Sonora, México, *in* Calmus, Thierry, ed, *Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 10, p. 2 – 2, 6 figs., 5 tablas.*
- Pérez-Segura, Efrén, 1993, Los yacimientos de oro y plata de Sonora, México y sus relaciones con la geología regional, *in* Delgado-Argote, Luis, y Martín-Barajas, Arturo, eds., *Contribuciones a la tectónica del Occidente de México: Unión Geofísica Mexicana, Monografía 1, p. 147–174.*
- Poole, F., Sandberg, C.A., and Amaya-Martínez, R., 2004. Biostratigraphy and paleotectonic setting of Paleozoic rocks north of Estacion Sahuaro, Northwestern Sonora, Mexico [abs.]: Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 36, no. 5, p. 99.
- Quintanar-Ruiz, F., 2008, La Herradura ore deposit—an orogenic gold deposit in northwestern Mexico: Tucson, University of Arizona, tesis de maestro en ciencias, 97 p. (inérita).
- Raisz, E., 1964, *The Landforms of Mexico: Geography Branch, Office of Naval Research, 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge, Massachusetts.*
- Rhys D. A., 2006, Structural study of the La Herradura mine area, Sonora, Mexico with exploration implications. Internal report Minera penmont. 89 p.

- Romero-Valle, J., 2005, Geología y métodos de exploración mina La Herradura, municipio de Caborca: Hermosillo, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, tesis de licenciatura, 55 p.
- Salvatierra and Novelo, 1995, Geology and Exploration of La Herradura Deposit, H. Caborca, Sonora: Internal report Minera Penmont. 15 p.
- Silberman, M.L.; Giles, D.A.; y Graubard, C., 1988, Characteristics of gold deposits in northern Sonora—a preliminary report: *Economic Geology*, v. 83, p. 1966–1974.
- Silver, L.T., Anderson, T.H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North American Craton margin: *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 6(7), 955–956.
- Thompson, T.B. (ed.), 1998, Gold deposits of Northern Sonora, Mexico: *Society of Economic Geologists, Guidebook Series, Vol. 30*, 252 p.
- Titley S. R. and Zürcher L., 2008, Regional geology and ore-deposit style of the trans-border region, southwestern North America, *Arizona geological society digest* 22. p 275-294.

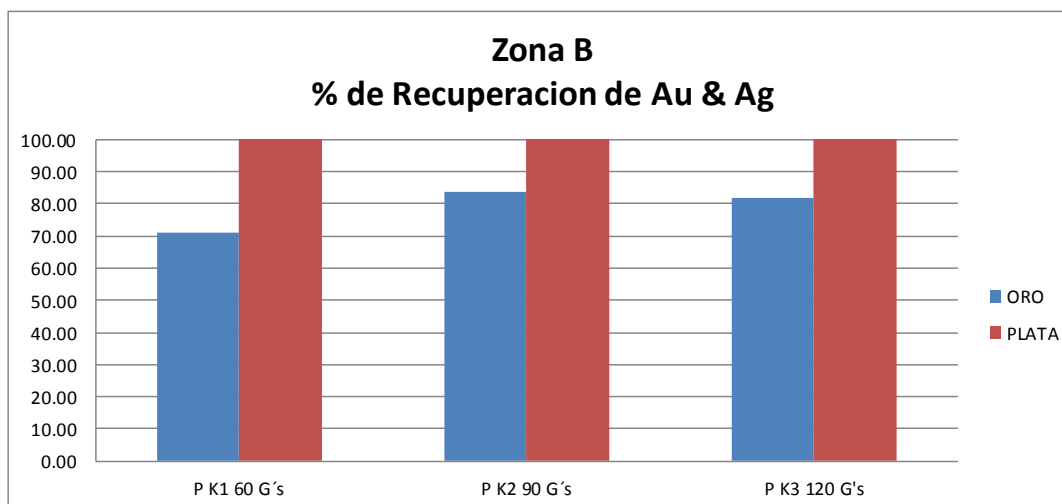
## XI. APENDICE

Características de las condiciones de trabajo para los concentrados gravimétricos de las muestras estudiadas y resultados obtenidos.

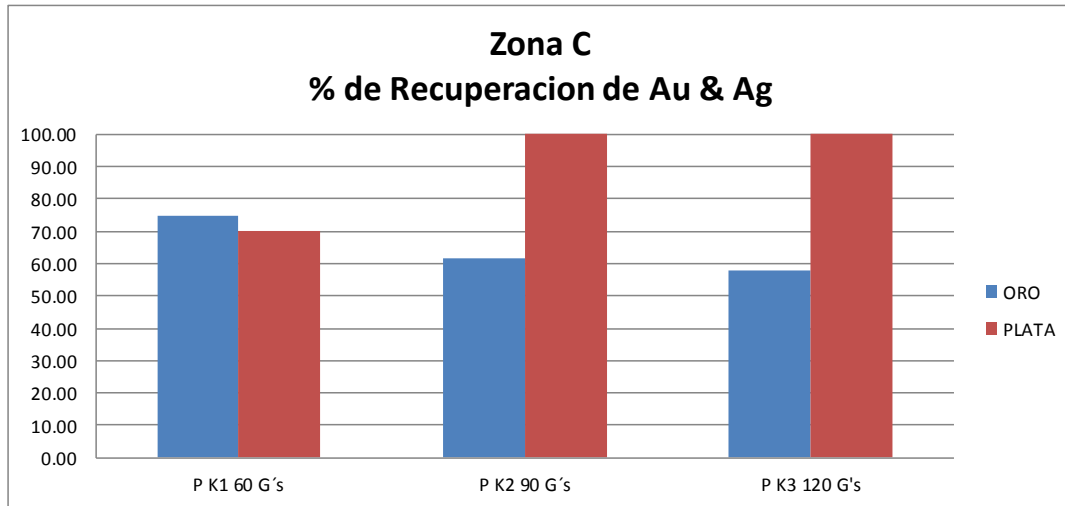
ID	FRACCIÓN	ACELERACIÓN (G's)	ALIMENTACIÓN kg/min	FLUIDIZACIÓN psi	CONTENIDO (mg)		Recuperacion (%)	
					Au	Ag	Au	Ag
Zona A								
P K1 60 G's	Conc	60	0.30	7	23.45	855.53	44.43	44.73
P K2 90 G's	Conc	90	0.54	8	44.82	993.37	78.10	51.94
P K3 120 G's	Conc	120	0.66	9	35.49	750.04	73.76	53.84
Oro Libre								
TOTAL					103.76	2598.94		



ID	FRACCIÓN	ACELERACIÓN (G's)	ALIMENTACIÓN kg/min	FLUIDIZACIÓN psi	CONTENIDO (mg)		Recuperacion (%)	
					Au	Ag	Au	Ag
Zona B								
P K1 60 G's	Conc	60	0.35	7	11.35	207.82	71.00	100.00
P K2 90 G's	Conc	90	0.37	8	12.98	179.48	83.79	100.00
P K3 120 G's	Conc	120	0.62	9	12.15	209.61	81.85	100.00
Oro Libre								
TOTAL					36.48	596.91		



ID	FRACCIÓN	ACELERACIÓN (G's)	ALIMENTACIÓN kg/min	FLUIDIZACIÓN psi	CONTENIDO (mg)		Recuperacion (%)	
					Au	Ag	Au	Ag
Zona C								
P K1 60 G's	Conc	60	0.33	7	13.33	226.12	74.60	70.15
P K2 90 G's	Conc	90	0.66	8	5.07	235.66	61.74	100.00
P K3 120 G's	Conc	120	0.63	9	4.34	89.59	57.78	100.00
Oro Libre								
TOTAL					22.75	551.37		



ID	FRACCIÓN	ACELERACIÓN (G's)	Recuperacion (%)				Contenido (mg)				
			Zona A	Au	Zona B	Au	Zona C	Au	Zona A	Zona B	Au
60 G's	Conc	60	44.43	71.00	74.60	23.45	11.35	13.33			
90 G's	Conc	90	78.10	83.79	61.74	44.82	12.98	5.07			
120 G's	Conc	120	73.76	81.85	57.78	35.49	12.15	4.34			

