

GEOLOGÍA DE LA MINA DE ORO "ROUND MOUNTAIN" EN NEVADA, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y POTENCIAL DE EXPLORACIÓN DE YACIMIENTOS SIMILARES EN LOS ANDES

Alberto LOBO-GUERRERO S.

Consultor en exploración minera: ageo@iname.com; ageo@logemin.com

RESUMEN

Round Mountain es uno de los principales yacimientos de oro del mundo alojado en rocas volcánicas. Es considerado como yacimiento epitermal de baja sulfuración típico. Viene explotándose interrumpidamente desde 1905, y contiene reservas superiores a 500 toneladas de oro. Este artículo presenta de forma abreviada sus características más relevantes observadas durante una visita a la mina, y contiene algunos comentarios para la exploración de yacimientos similares en la Cordillera de los Andes.

El yacimiento presenta concentraciones de oro del orden de diez partes por billón y una ley de corte de 0.2799 g/t. La mineralización de oro ocurre en tobas porosas y permeables limitadas por capas de tobas compactadas, impermeables. Fracturas concéntricas asociadas con un borde de caldera y fracturas radiales de la misma caldera sirvieron de rutas para la migración de fluidos mineralizantes. La alteración hidrotermal y se presenta bordeando delgadas vetillas mineralizadas. Están presentes la alteración propilítica, filica, silicificación y argilización. No se observa una relación directa entre alteración y tenor de oro. Es preciso realizar estudios detallados para determinar el contenido de oro en esta clase de depósitos, donde el tenor puede variar hasta cuatro órdenes de magnitud en una distancia de 10 cm. Esporádicamente se hallan concentraciones auríferas en forma de grandes pepitas que pesan más de quinientos gramos.

La mina emplea un sistema de lixiviación novedoso, con camas reutilizables.

Colombia, Ecuador y Perú tienen potencial para hallar yacimientos de oro confinados en rocas volcánicas similares al observado en *Round Mountain*.

Palabras clave: alteración hidrotermal, baja sulfuración, caldera, Colombia, Cuaternario, Ecuador, Estados Unidos de América, exploración minera, lixiviación, metales preciosos, Nevada, Oro, Perú, piroclasto, roca volcánica, toba, yacimiento hidrotermal, yacimiento mineral.

ABSTRACT.- GEOLOGY OF ROUND MOUNTAIN GOLD MINE, NEVADA, USA, AND EXPLORATION POTENTIAL FOR SIMILAR ORE DEPOSITS IN THE ANDES

Round Mountain is one of the world's largest volcanic rock-hosted gold deposits. Some authors consider it to be a typical epithermal low sulfidation deposit. It has been mined since 1905, and its reserves amount to more than 500 metric tons of metallic gold. This article offers a brief version of the mine's relevant issues, and some comments on the exploration of similar deposits in the Andes.

Gold content at this deposit is in the order of ten parts per billion, and the lowest economic concentration is 0.2799 g/ton. Porous and permeable tuffs bounded by impermeable welded tuffs host mineralization. Concentric fractures related to caldera margins and radial fractures of the same caldera served as routes for mineralized fluid flow; hydrothermal alteration and mineralization extend outward from these thin mineralized fractures. Alteration types are propylitic, phyllic, silicification and argillization, and there is no direct relationship between ore grade and alteration. Establishing average gold grade in this type of deposits requires detailed studies, since grade may vary up to four orders of magnitude within 10 centimetres. Occasional gold nuggets (some of which weigh over five hundred grams) are found and they are sought with metal detectors.

The mine uses novel, re-usable heap leaching pads.

Colombia, Ecuador and Peru have a reasonable potential for gold deposits hosted in volcanic strata such as those present at *Round Mountain*.

Keywords: caldera, Colombia, Ecuador, gold, hydrothermal alteration, hydrothermal ore deposit, leaching, low sulfidation, mineral exploration, Nevada, ore deposit, Perú, precious metal, pyroclastic rock, Quaternary, tuff, United States of America, volcanic rock.

INTRODUCCIÓN

El 5 de mayo de 1999, el suscrito visitó la mina *Round Mountain* en Nevada, junto con varios estudiantes de postgrado de Queen's University¹ y tres profesores. La visita tuvo lugar durante como parte integral del programa de maestría en Geología de Exploración Minera de la mencionada universidad. El Dr. Herb Healmsteadt dirigió la excursión; durante la visita Chris Ekstrom, geólogo de la mina, ofreció explicaciones detalladas y descripciones de campo de los diferentes características geológicas del yacimiento.

Round Mountain es uno de los mayores yacimientos de oro, de tipo epitermal de baja sulfuración alojado en rocas volcánicas, que se conocen en el mundo. Algunos autores consideran que es una de las mejores localidades tipo de yacimientos epitermales de baja sulfuración (Hayba et al, 1986; Hedenquist et al., 1996; Henley, 1991; Robertetal., 1997; Sillitoe, 1993; Sillitoe, 1997). Se viene explotando interrumpidamente desde 1905, y contiene reservas de más de 500 toneladas métricas de oro metálico. En 1999, la mina era propiedad de Echo Bay Inc. (50%), Case, Pomeroy and Co., Inc. y Homestake Mining Company (cada una con el 25%). Este artículo presenta una versión abreviada de los aspectos relevantes observados en la mina, y contiene algunos comentarios sobre la exploración de yacimientos similares a *Round Mountain* en la Cordillera de los Andes.

En Colombia existe potencial para hallar yacimientos de oro confinados en estratos volcánicos similares a *Round Mountain*. Varios cientos de calderas cuaternarias se han detectado en los departamentos de Nariño y Cauca, y muchas de ellas contienen diseminaciones de metales preciosos, según la experiencia del autor. El Ecuador también cuenta con numerosos edificios volcánicos recientes, bien expuestos por erupciones laterales. Las grandes extensiones de rocas volcánicas del Perú, aunque algo más antiguas y erodadas que su contraparte de los Andes del norte, ofrecen excelentes posibilidades para encontrar diseminaciones de oro en estratos permeables.

UBICACIÓN

El yacimiento de *Round Mountain* está ubicado en el condado Nye de Nevada, en el sur-oeste de los Estados Unidos de América. Como se ilustra en la Fig. 1, la mina se encuentra en el costado oriental del Valle Big Smoky, al occidente de la Montaña Toquima, una de numerosas montañas con rumbo N-NE en la denominada región de la "Gran Cuenca" (*Great Basin*). Las poblaciones más cercanas son Tonopa y Austin, localizadas respectivamente 89 km al sur y 96 km al norte, a lo largo de la carretera estatal 376.

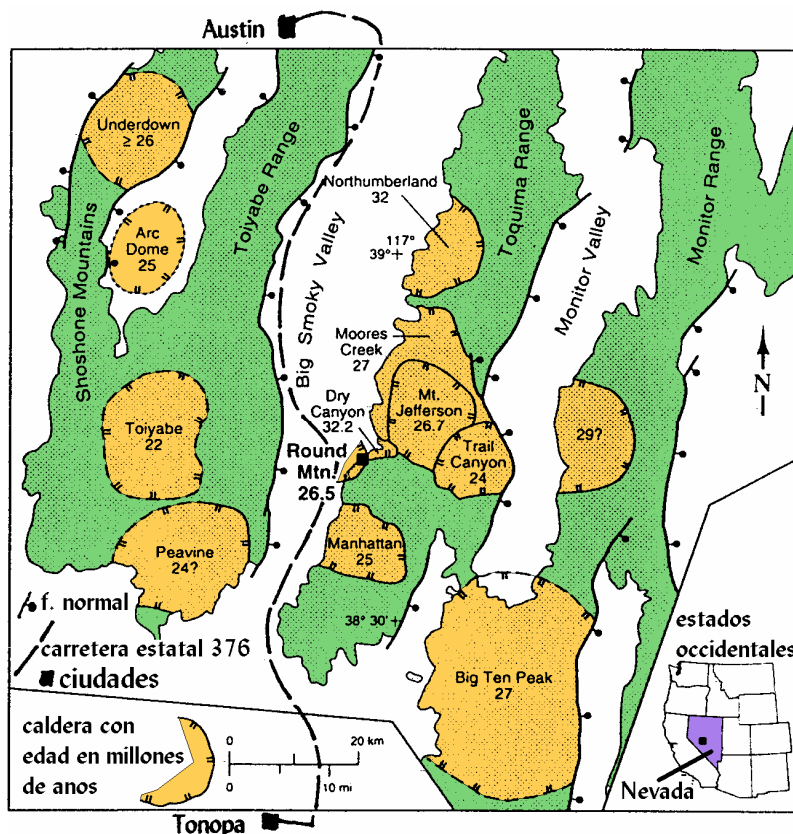


Fig. 1 Ambiente geológico regional del yacimiento de oro *Round Mountain*. La mina está ubicada en el borde occidental de la Serranía de Toquima, una de numerosas serranías orientadas con dirección N-NE en el centro de la "Gran Cuenca" (*Great Basin*) de Nevada. Al menos 13 calderas del Terciario medio se hallan en la Serranía de Toquima, las Montañas Shoshone, y las serranías de Toiyabe y Monitor. *Round Mountain* se encuentra en el borde oriental de la caldera *Round Mountain*, que se extiende hacia el occidente dentro del Valle Big Smoky. La carretera principal de la región comunica Austin con Tonopa (Henry et al, 1997).

¹ Queen's University, en Kingston, Ontario, Canadá.

GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

Generalidades

Al menos 13 calderas del Terciario Medio se hallan en la Serranía de Toquima, las Montañas Shoshone, y las Serranías de Toiyabe y Monitor; sus productos volcánicos se depositaron en toda la región (ver figs. 1 y 2 a, b). El yacimiento *Round Mountain* se encuentra en el borde oriental de la caldera *Round Mountain*, que se extiende hacia el occidente dentro del Valle Big Smoky (Henry et al, 1997).

En términos generales, el yacimiento se encuentra en rocas piroclásticas riolíticas sub-horizontales, con espesores superiores a 1000 m, depositadas en un solo evento sobre rocas graníticas y meta-sedimentarias (Fig. 3). Los geólogos de la mina subdividen las rocas piroclásticas en cuatro tobas fluidas de ceniza (*ashflow tuffs*) en base a su contenido amigdalario y grado de compactación.

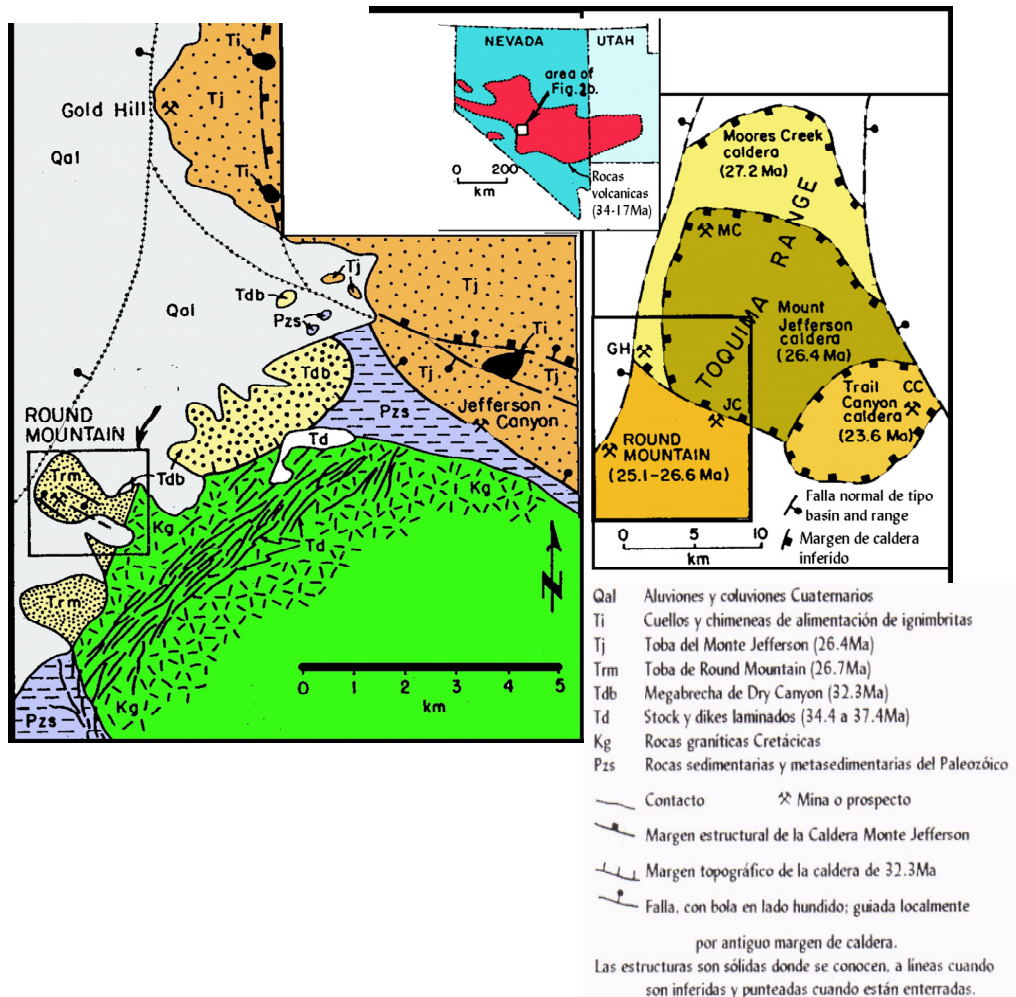
Mientras avanzó la erupción de piroclastos, se fue desocupando la cámara magmática subyacente, y las rocas que estaban por encima colapsaron y rellenaron el espacio vacío, formándose una caldera. Parte de las tobas se acumularon en una porción de la antigua caldera y en la fractura anular de la misma (Ver cortes geológicos A-B y C-D en la Fig. 3). Al presente sólo permanece una porción de la caldera original, porque fallas normales de tipo "*Basin and Range*" que predominan en la región, hundieron la

porción restante hacia el occidente bajo el Valle Smoky (Fig. 1). Algunas brechas intrusivas también fueron mineralizadas y se explotaron en el pasado por métodos subterráneos.

En base a dataciones radiométricas, se ha determinado que la actividad hidrotermal y mineralización en *Round Mountain* duró aproximadamente entre 0.05 y 0.50 millones de años (Henry et al, 1997). "Hacia los 26.5 Ma, se presentó la erupción del flujo de toba y el colapso de la caldera; una toba tardía o post-alteración que reposa sobre la roca mineralizada tiene edad radiométrica de 26.0 Ma. Es poco probable que la circulación de fluidos hidrotermales se haya establecido inmediatamente después del colapso de la caldera, y por lo tanto se considera que el período de mineralización tomó considerablemente menos de 0.5 Ma" (Henry et al, 1997).

La base y porción superior del flujo de toba se enfrió rápidamente, pero el intenso calor de su interior la fusionó, soldándose en una densa capa de toba, luego de liberar la mayor parte de los gases por la parte superior. El peso del material volcánico que se depositó encima ayudó a comprimir la capa de toba. Poco tiempo después de depositada la toba, ocurrió un intenso fracturamiento NW, que corresponde aproximadamente con el borde de la caldera. Al mismo tiempo, los fluidos hidrotermales migraron hacia arriba, guiados por fallas y diaclasas N W, "lateralmente hacia la parte inferior de la toba débilmente soldada, y a nivel local fluyeron hacia la superficie por zonas de fracturas paralelas con fuerte buzamiento (*sheeted*

Fig. 2 Ubicación de la mina Round Mountain con respecto a: a) Nevada, b) el complejo caldérico de Toquima (según Boden, 1986), y c) la geología del flanco occidental de la Serranía de Toquima (según Boden, 1986; y Shawe et al, 1986). Las abreviaciones para otros yacimientos minerales son CC = Corcaran Canyon, GH = Golden Hill, JC = Jefferson Canyon, MC = Moore's Creek (Sander et al, 1990).



fractures) en la parte central de la toba, que estaba densamente soldada" (Sander et al, 1990). El margen de la caldera colapsada actuó como el mejor conducto para la mineralización aurífera. Los fluidos mineralizantes con metales preciosos y otras sales, luego circularon desde fuentes profundas del sistema magmático, hacia las rocas volcánicas porosas y sus fracturas, donde eventualmente fueron depositados. Las rocas huésped probablemente aún se hallaban calientes en el momento de la mineralización. Se presume que el agua meteórica fue el componente predominante de los fluidos hidrotermales en *Round Mountain* (Gerike, 1997).

Se sospecha que la fuente de calor para la mineralización es distal, no habiéndose detectado aún con perforaciones profundas. Se piensa que fue el motor de múltiples sistemas de mineralización aún no identificados. Otras calderas de la región (Figs. 1 y 2) pudieron haber sido originadas y mineralizadas por la misma actividad magmática, porque tienen edades radiométricas similares.

Cuatro Unidades Volcánicas

Las unidades de toba asociadas con el Complejo de Calderas de Toquima, ubicado en la porción meridional de la Serranía del mismo nombre, que a su vez forma parte de un cinturón de rocas volcánicas silíceas del Oligoceno al Mioceno con dirección W-NW que se extiende desde el SW de Utah, cruza Nevada y llega al W de California (Fig. 2a). La excavación a cielo abierto de *Round Mountain* esencialmente contiene el paquete de tobas de las *rocas volcánicas de Round Mountain*, de composición química similar. Las cuatro unidades o "tipos de tobas" se describen a continuación de la parte superior a la base (Ver cortes geológicos en la Fig. 3). Un plutón granítico metamorfoseó las cuatro y predata la mineralización (Fig. 2c). Parte de las tobas está cubierta por eluviones con concentraciones auríferas que dieron origen a operaciones de placer. Esto es lo que originalmente llevó a los mineros a explorar oro en la región. *Tipo 1* Toba de caída densamente soldada, sin evidencias de flujo, 60 m de espesor; sin lapilli de pómez, con biotita oxidada de color crema y contenido de cuarzo relativamente alto. Esta unidad sirve como acuífero para el sistema mineralizante, debido a su pobre porosidad y permeabilidad primaria. Sólo hay oro sobre superficies de fracturas, y la mineralización depende de la densidad de tales fracturas. Esta unidad fue explotada en los primeros días de la mina y ya no se observa en el tajo abierto actual. *Tipo 9* Zona transicional hacia toba pobremente-soldada, de 27 m de espesor, muy porosa, con textura eutaxítica debida a compresión, con relación 9:1 a 2:1 (*aspect ratio*¹) en las amígdalas. Esta unidad actuó como tapa e inhibió la mineralización, pero sin embargo, tiene oro a lo largo de fracturas. El soldamiento transicional en esta unidad inhibió el ascenso de

los fluidos mineralizantes e impidió la diseminación de oro en la roca de Tipo 2. Sirvió como "roca sello" (*caprock*), para usar términos aplicados en hidrogeología o exploración petrolera. La roca de Tipo 9 puede denominarse un acuífero (-relativamente impermeable). No se aprecia mucha mineralización en ella. Aún en zonas donde las fracturas permitieron el paso de fluidos mineralizantes, la mineralización está muy restringida o no existe. La alteración hidrotermal también está restringida a las paredes de las fracturas; por lo tanto la mineralización en este tipo de roca es débil. A simple vista es diferente de los otros tipos litológicos de la mina. *Tipo 2* Toba porosa, pobremente soldada, de 100-120 m de espesor; con grandes fragmentos de lapilli de pómez y grandes fenocristales de cuarzo. Esta unidad es la mejor roca huésped; actúa como una esponja que recibió la mayor parte de la mineralización aurífera. En los frentes visitados en la mina, la roca de Tipo 2 está intensamente caolinizada y altamente fracturada; esto último refleja el fallamiento normal de tipo *Basin and Range*. Por lo general esta roca se halla menos alterada y conforma bloques más grandes que las demás.

Tipo 3 Toba rica en fragmentos líticos, densa, con fragmentos de rocas paleozoicas, fenocristales de cuarzo con diámetro inferior a los 2 mm, y algo de lapilli de pómez. Es la más antigua de las tobas y conforma una mala roca huésped. También tiene tobas bien estratificadas, con laminación fina, que indican una deposición lagunar en la caldera ancestral.

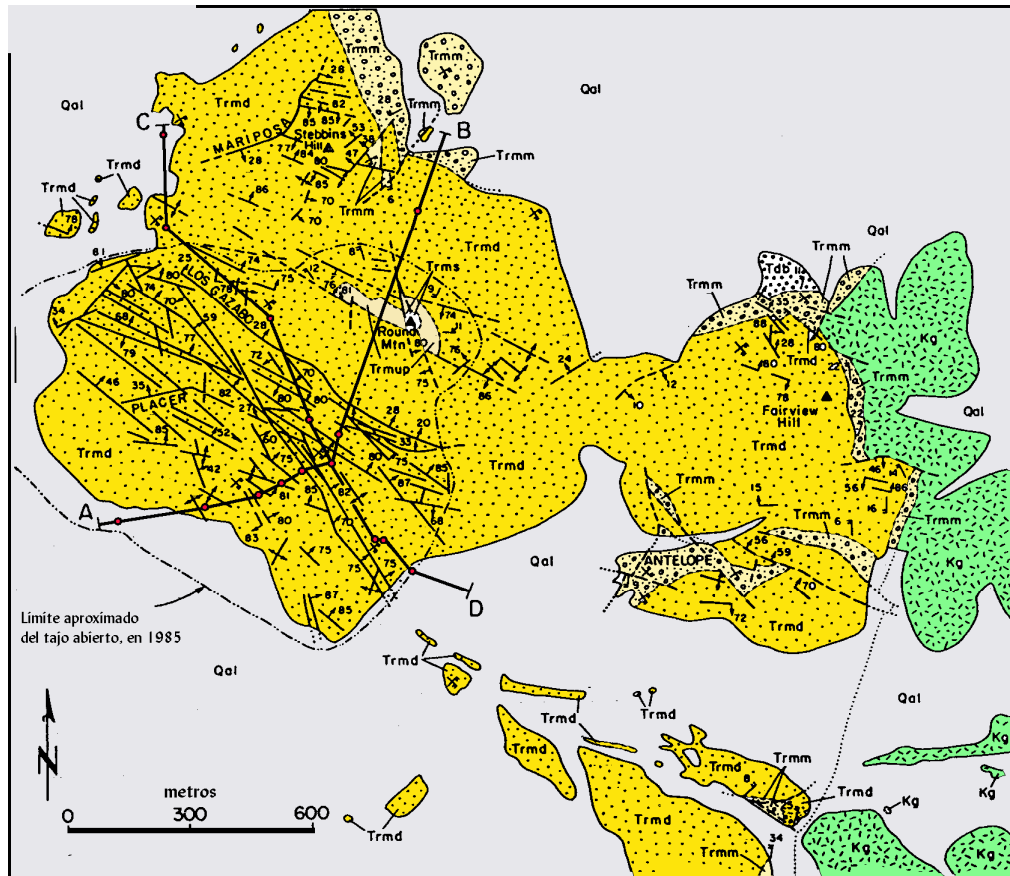
Tipo 4 Roca compuesta por unidades meta-sedimentarias del Paleozoico, filitas rojas, nudosas y oxidadas, esquistos y lutitas negras. Algunas veces se encuentra mineralizada cerca del contacto. Contiene fragmentos muy gruesos de oro, como se aprecia en la Foto 1.

Aspectos Estructurales

El control estructural jugó un importante papel en la mineralización y es un factor favorable para la extracción de la mena. Las fracturas sirvieron de conductos para la migración de fluidos ricos en oro hacia las rocas porosas del Tipo 2. Existen al menos tres clases de fracturas: unas producidas por el enfriamiento de las tobas; otras por colapso de la caldera; y otras, de orientación NW, producidas mucho más tarde durante el tectonismo *Basin and Range*³. Muchas fracturas pre-condicionaron las rocas para la localización de la mineralización en el borde del margen de la caldera. Las zonas más ricas son aquellas donde la roca sufrió mayor fracturamiento. La intersección de fracturas anulares principales, que son tangentes a la caldera, y aquellas radiales producidas durante el enfriamiento del sistema, controlaron las rutas

² El *aspect ratio* es la relación entre longitud y altura de las amígdalas debida a compresión de una toba. Originalmente las amígdalas eran esféricas.

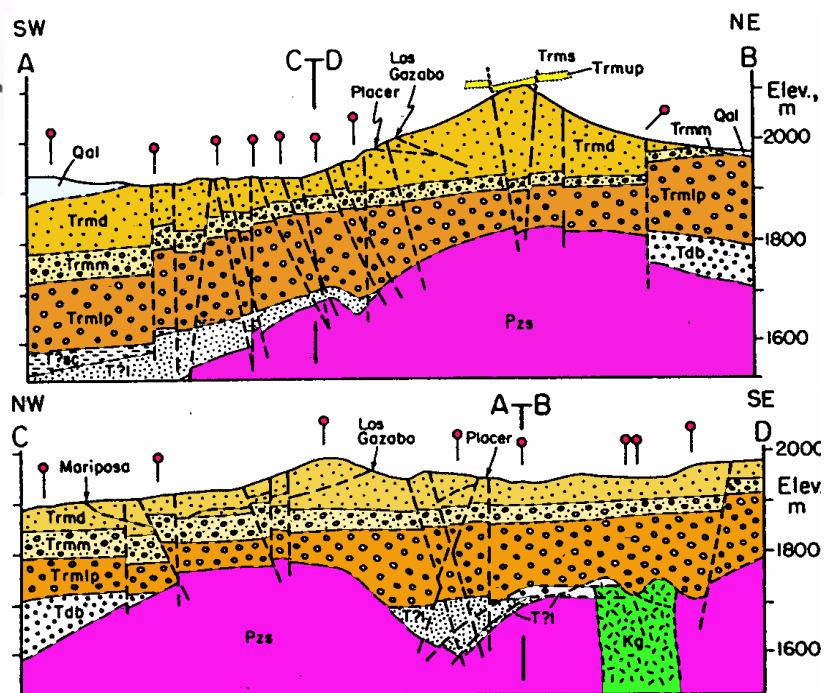
³ La provincia tectónica norteamericana denominada *Basin and Range* (literalmente de "cuencas y serranías") se compone de horsts y grabens producidos por extensión cortical.



ROCA TIPO		
Qal	Aluviones y coluviones cuaternarios	
Trms	Rocas sedimentarias volcánicas	
Trmup	Toba superior mal soldada	1
Trmd	Toba del medio densamente soldada	9
Trmm	Toba moderadamente soldada	2
Trmlp	Toba inferior mal soldada	3
T7sc	Arenisca y conglomerado volcánico	3
T?l	Secuencia lítica mal soldada	3
Tdb	Megabrecha de Dry Canyon	
Kg	Rocas graníticas cretácicas	
Pzs	Rocas sedimentarias y metasedimentarias paleozóicas	4

---	Contacto, sólido cuando es conocido, líneas cuando es inferido, punteado cuando es proyectado o enterrado
---	Falla, con inclinación; sólida cuando conocida, líneas cuando inferida, punteada cuando proyectada/enterrada
PLACER	Veta de bajo ángulo con nombre, de importancia histórica
R 10	Rumbo y buzamiento de foliación por compactación
A1-O-B	Perforación en el mapa
O	Perforación en el corte

Fig. 3 Mapa geológico y cortes verticales del área de la mina Round Mountain (Sander et al, 1990)



de erupción de las rocas piroclásticas y definieron los conductos para los fluidos mineralizantes. En las intersecciones se ubicaron las chimeneas (*pipes*) o tubos alimentadores (*feeders*). Parte de las brechas descritas en el anexo se hallaron en la intersección de fracturas.

Hacia los 10 a 12 Ma comenzó a desarrollarse la topografía actual de valles y serranías tipo *Basin and Range*, a lo largo de fallas normales con alto buzamiento, y orientación NE (Fig. 1). En base a dataciones radiométricas en alunita, se sabe que el levantamiento, erosión y meteorización del yacimiento se produjo como consecuencia de fallamientos normales del tipo *Basin and Range*. Durante ese período extensivo, se presentó fallamiento post-mineral. En el tajo abierto, las fallas normales desplazan la mineralización entre 30 y 50 m (Ver cortes de la Fig. 3). El tectonismo *Basin and Range* también sirvió para fragmentar la mena. Algunas zonas tienen fracturas con espaciamento cada 30 a 60 cm, y constituyen lo que se denomina "mena triturada" (*crushed ore*) en la mina. El espaciamento de fracturas a 4.5 m de distancia produce lo que se llama "mena normal para lixiviación en pilas" (*run-of-mine-heap leach ore*). Las zonas de fracturas tienen un parámetro de corte económico muy estricto.

La descripción macroscópica de muestras de mano que se incluye en el anexo ofrece algunos aspectos detallados de la relación mineralización-alteración-estructuras.

Mineralización

La mineralización en la mina *Round Mountain* está compuesta por eléctrum con una relación de Au:Ag igual a 65:35, que se presenta como partículas libres en vetillas de cuarzo-adularia-pirita y como inclusiones en pirita. El eléctrum se encuentra finamente diseminado en la roca, pero en ocasiones "se halla en masas que pesan 6.5 kilos o más" (Round Mountain Gold Corp., 1999). Además hay cantidades traza de varios telururos de oro-plata, así como otros sulfuros. La pirita es el sulfuro dominante; gran parte se halla oxidada y el eléctrum se encuentra libre. La mena pirítica sin oxidar debe molerse muy fino para liberar el eléctrum y optimizar la recuperación de metales preciosos y constituye un proceso oneroso. No se conocen cantidades significativas de minerales refractarios en la mena que interfieran con el proceso metalúrgico. Algunas veces hay oro grueso (ver Foto 1). El tamaño de las partículas de oro oscila entre 30 micrones



DESCRIPCIÓN DE LA FOTOGRAFÍA

Foto 1. Vista panorámica de las pilas de lixiviación con el Valle Smoky en el fondo. Hacia el centro de la toma, las pilas de lixiviación reutilizables están siendo cargadas automáticamente por un sistema móvil sobre rieles para uniformizar la selección y evitar la compactación excesiva producida por los camiones. La primera pila ya se depositó atrás y está siendo lixiviada. Nótese la tubería para humedecer el material, y el color de las diferentes capas húmedas al ser lixiviadas. La base de estas pilas de lixiviación está cubierta con concreto, y el material allí depositado será removilizado, re-colocado y lixiviado nuevamente para producir una cantidad equivalente de solución preñada. El proceso se repetirá tres veces, con el fin de extraer la mayor cantidad posible de metales preciosos.

En la parte de atrás, los camiones están colocando una segunda capa de material encima de la primera. Obsérvese que las volquetas continuamente mueven mena de bajo tenor a la pila. Estas pilas permanecerán en su lugar y serán lixiviadas continuamente hasta el fin de la vida de la mina. Véase la rampa de acceso, y los diferentes colores del material que compone la pila de lixiviación. Hasta cinco pisos de material serán colocados uno encima del otro, con pendientes similares, para acomodar los materiales de tenor bajo, y conformarán estructuras piramidales cuando la mina finalmente cierre. En el interim, todo el material será lixiviado con soluciones de cianuro, y las capas inferiores serán lixiviadas repetidamente. Las soluciones para lixiviación percolarán a través de cada piso de la pila, adquiriendo la mayor cantidad posible de metales preciosos en el proceso. A la izquierda, en la parte de atrás, en color azul se aprecia una presa de colas.

Las pilas de lixiviación constituyen un detallado trabajo de ingeniería. Se utilizó tecnología de punta en el diseño de las pilas, su base impermeable, las pendientes, y los sistemas de drenaje, para producir la más eficiente recuperación de la mena. La pericia de numerosos ingenieros metalurgistas, civiles, químicos, de minas y mecánicos se puso a prueba en esta extraordinaria obra de ingeniería. El proceso de lixiviación aquí descrito recupera 0.65 g de oro por tonelada para generar ganancia. Usar agua en una región árida como esta para mover una operación tan grande y controlar el impacto ambiental son otra proeza de ingeniería.

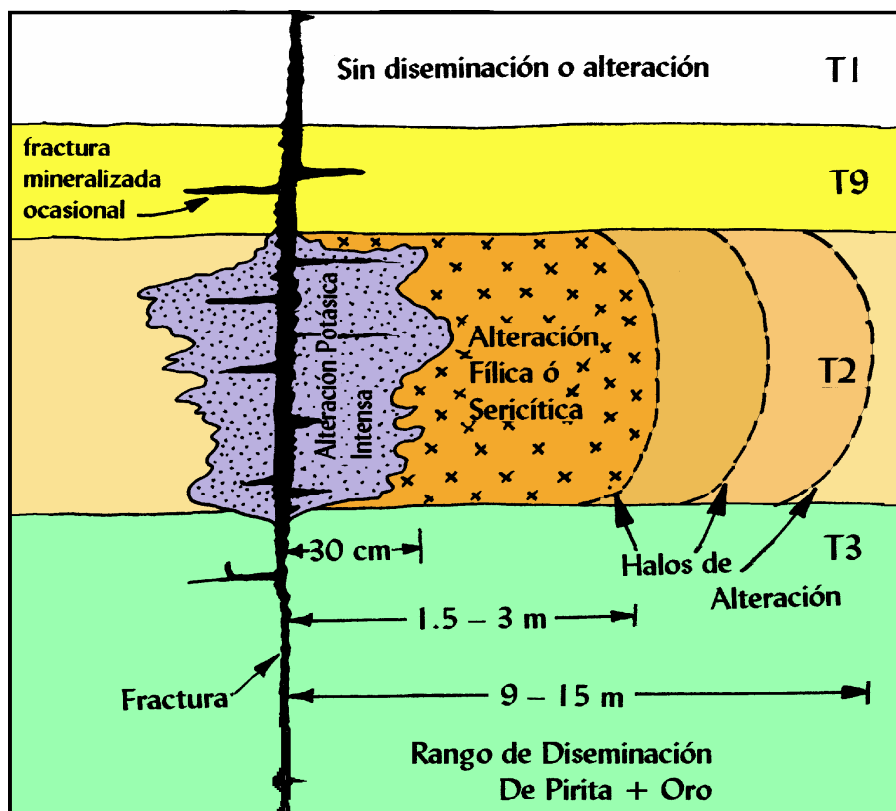


Fig. 4 Rangos de alteración en diferentes tipos de roca (Ekstrom, 1999 y observaciones del autor)

y oro muy grueso (más de veinte cm de diámetro). El geólogo de la mina ha recogido "chicharrones"⁴ de 7.5 a 10 kilos en ciertas áreas (Ekstrom, 1999). Existe una correlación directa entre tenor, "chicharrones" y tamaño del oro.

Según el geólogo de la mina, "A veces una delgada fracturita estéril se convierte en una veta de oro sólido a pocos metros de distancia. Esto puede suceder en la roca de Tipo O, o en la roca de desecho. Por su parte, la roca encajante de la fractura, a lado y lado, puede dar una o dos "moz"⁵. Aún así, la veta obviamente contiene... muchas onzas de oro por tonelada y es de oro sólido." (Ekstrom, 1999).

La descripción de las muestras de mano obtenidas en la mina, que se incluye en el anexo ilustra algunas otras formas de mineralización en vetas y brechas hidrotermales.

Siguiendo la clasificación de yacimientos auríferos propuesta por Robert et al., 1997, la mina *Round Mountain* se puede clasificar en el Tipo 4: "Epitermal de Adularia-Sericita", comúnmente denominado "de Baja Sulfuración" (*Low Sulfidation*). De hecho, se cita como uno de los ejemplos clásicos para este tipo de yacimiento epitermal.

Alteración

"Las rocas huésped sufrieron una intensa

alteración propilítica, potásica, silicificación, así como argilización moderada. Estas se interpretan con una secuencia temporal desde propilítica temprana hasta silícica y argílica tardía, o como progresión espacial partiendo de un núcleo potásico hacia un halo propilítico" (Henryetal, 1997).

La Fig. 4 ilustra el tipo de alteración que puede verse en las diferentes tobas de *Round Mountain*. Fluidos hidrotermales que migraron a lo largo de fracturas, y alejándose de estas por tobas permeables, produjeron la alteración. En términos generales, la mineralización aumenta con el grado de alteración, pero donde hay alteración fuerte no necesariamente existe mineralización. Como se mencionó antes, el Tipo de roca 9 sólo contiene mineralización a lo largo de fracturas. El Tipo 2 casi siempre se ve alterado en el tajo abierto. Se observan pirita diseminada y metales preciosos en una extensión de hasta 15 m a partir de las principales fracturas individuales. El grado de mineralización se incrementa en zonas de estovercas⁶, donde hay mayor densidad de fraturamiento. Las vetas espaciadas aproximadamente entre 30 y 60 cm producen mena con importante contenido de elctrum. Generalmente están cubiertas por mezclas de goetita, hematita, jarosita, óxidos de manganeso, kaolinita e ilita.

Una comparación estadística de la media de los tenores de oro con asociaciones minerales, ubicación de muestras y orientación de vetas/fracturas demostró que:

⁴ El término "chicharrón" se usa en Colombia para las pepitas o *nuggets* de oro.

⁵ El término "moz" se usa coloquialmente en la mina *Round Mountain*. Literalmente significa mili-onzas troy de oro por tonelada corta inglesa, equivalentes a 0.03125 g de oro por tonelada métrica.

⁶ "Estoverca" es el término castizo usado para su contraparte inglesa, *stockwork*.

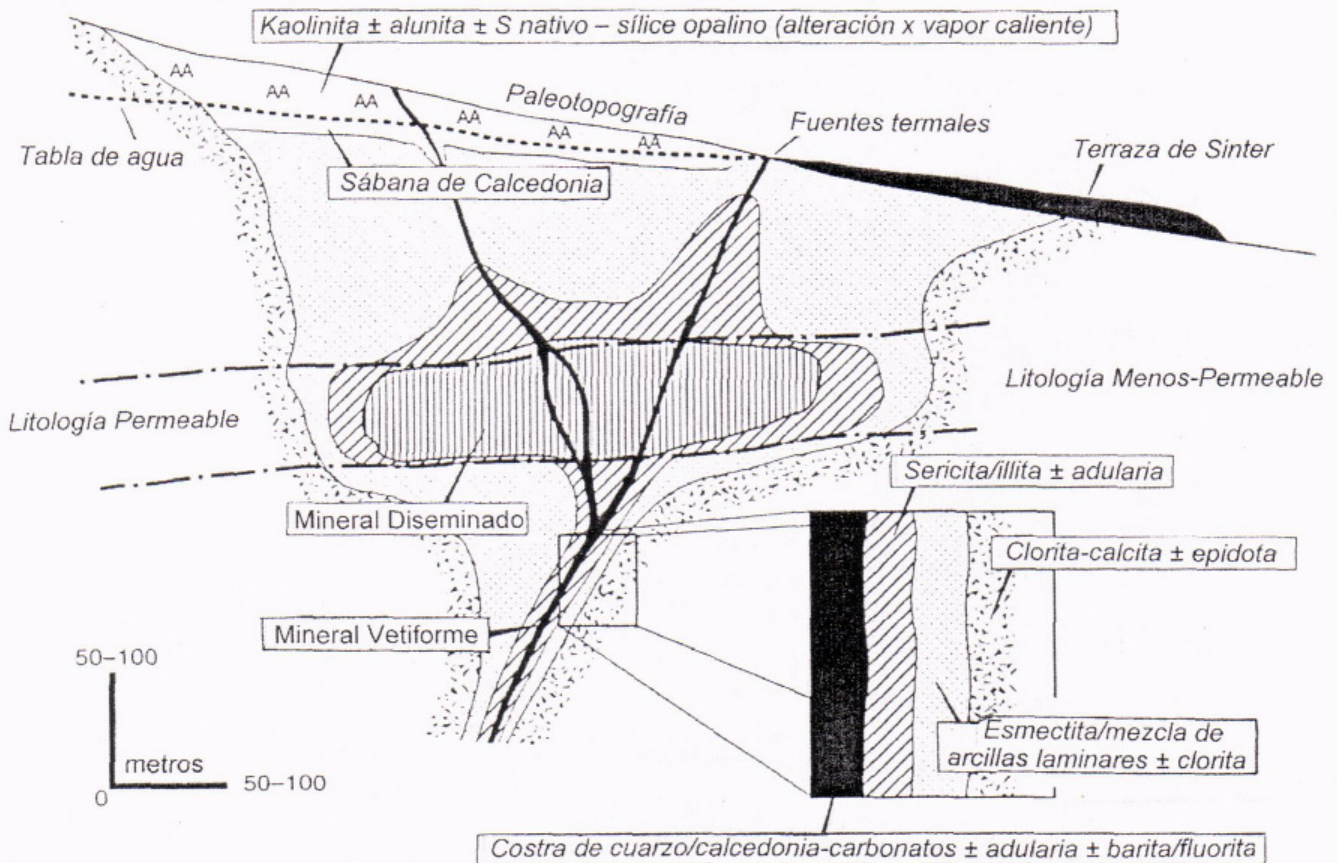


Fig. 5 Corte esquemático que generaliza los patrones de alteración en un sistema de baja sulfuración, mostrando las variaciones en profundidad, y típica alteración hidrotermal, incluyendo la distribución de sinter, capa de alteración argílica avanzada (AA), alteración por calentamiento con vapores, y silicificación asociada con el nivel freático (según Buchanan, 1981 y Sillitoe, 1993). Las variaciones geológicas de los diversos yacimientos presentan múltiples desviaciones de esta generalización (Hedenquist et al, 2000).

"Las vetas están enriquecidas en oro con relación a la roca encajante (0.290 y 0.100 ppm Au⁷, respectivamente), y las vetas microbrechadas de cuarzo están enriquecidas en oro con relación a las vetas de alunita ± óxido de Fe/ Mn (2.357 y 0.177 ppm Au, respectivamente). La ubicación de muestras dentro de un sistema de vetas/fracturas tiene poco efecto sobre el tenor de oro; sin embargo, en el tajo abierto la ubicación de muestras en áreas de vetas microbrechadas de cuarzo sí influye sobre el tenor, pues generalmente tienen mucho más oro. No se observa efecto significativo de la orientación de las vetas sobre el tenor de oro. El oro hipogénico se depositó en vetas microbrechadas de cuarzo. La meteorización del depósito produjo la liberación del oro en los sulfuros primarios y redepositación con óxidos de Fe/Mn y alunita. Aunque el oro secundario contribuye a la producción actual de la mina, aún queda por determinar si la redistribución del oro durante el intemperismo produce enriquecimiento o disminución de los tenores primarios de oro" (Gerike, 1997). Ver la descripción de la Muestra ROUND-BX-7 en el anexo. Sobre correlación entre contenido de oro y alteración, el Sr. Eckstrom, geólogo de la mina, hizo una observación interesante: "La primera cosa que hice al llegar aquí (a la mina *Round Mountain*) fue mirar las rocas de tajo abierto.

Entonces salí y comencé a recoger muestras de mano. Porque me dijeron... 'si uno se encuentra en (alteración) potásica, uno está en mena rica. Cuando uno vé la (alteración) fílica, uno está en mena. Alteración argílica, probablemente no se encuentra uno en mena.' Entonces salí a la cantera y vi una hermosa alteración argílica que dio 3.22 g Au/ton. Y encontré una zona de intensa alteración potásica que dio 0.032 g Au/ ton. Entonces tomé esa regla, la boté por la ventana, y comencé a buscar otras evidencias, parámetros estructurales que explicaran la situación (...) Como todo lo demás en geología, hay excepciones para cada regla" (Ekstrom, 1999).

El anexo presenta descripciones resumidas de varias de las muestras tomadas en *Round Mountain*. Allí se describe la alteración a nivel macroscópico.

Recapitulando, las alteraciones y mineralizaciones más significativas se presentan en la unidad de roca Tipo 2, de mayor permeabilidad y porosidad, que es una roca huésped excelente limitada por rocas mucho menos permeables o impermeables (Fig. 4). La característica estilo "emparedado" para la alteración queda ilustrada con la representación de Hedenquist et al., (3b) (Fig. 5). Allí se tipifican los rangos de alteración de la roca encajante para sistemas de baja sulfuración.

⁷ Partes por millón se pueden interpretar como gramos de oro por tonelada métrica.

Geoquímica

Los únicos metales que se recuperan de la mina *Round Mountain* son oro y plata. Algunos elementos traza, de comprobada efectividad en la exploración de estos objetivos hidrotermales y la roca mineralizada que los engloba, son As, Sb, Hg y Se. Las anomalías producidas por tales elementos no son intensas, pues el contenido de elementos traza es muy bajo. El selenio produce algunos problemas metalúrgicos, porque tiende a enmascarar el oro y la plata.

PARÁMETROS ECONÓMICOS DE LA MINA

Las reservas conocidas al momento de la visita eran de 234 millones de toneladas métricas con un tenor

promedio de 0.65 g Au/t (ver Tabla 1). Esto representa 152.1 toneladas de oro. La vida estimada de la mina se encuentra entre 12 y 15 años. Las pilas de almacenamiento para el molino contienen aproximadamente 127 millones de toneladas. Hay 142 millones de toneladas en recursos indicados, que aún no se incorporan en las reservas. Ocho años después de la vida de la mina, el molino continuará sus operaciones de molienda y lixiviación en pilas.

Las dimensiones del tajo abierto son aproximadamente 1700 por 1500 m (Véase el perímetro de 1995 en la Fig. 3). La profundidad del tajo es de 460 m. El tenor promedio en la mina es 0.7465 g Au/t. Los costos de producción en la fecha de la visita eran de US \$205 a \$210 por onza (Entre US \$6.59 a \$6.75 por gramo de oro), y la relación de descapote promedio (*strip ratio*) era de 2:1

TABLA 1
Reservas de la Mina (Mayo del 1999)

RESERVAS	TONELADAS (X10 ³)	gAu/ton	TOTAL (tons de Au)
Tajo Abierto	233,638	0.65	151.864
Pilas de Almacenamiento	127,271	0.311	39.581

OPERACIÓN DE LA MINA

La mina *Round Mountain* opera todo el año, excepto durante las fiestas de Acción de Gracias y Navidad. Un promedio de 199,580 toneladas métricas de mena se extraen del tajo abierto cada día. Una cantidad adicional de 64,411 toneladas de mena en las pilas de almacenamiento y material previamente lixiviado se mueven cada día a la pila dedicada (*dedicated pile*). El personal de la mina maneja un promedio de 264,000 toneladas de material por día. El laboratorio puede procesar 300 perforaciones para voladura por día. Hay volquetes de 77,136 y 172.41 de carga. La refinera produce *doré* como producto final de la mina, con 60% de oro y 40% de plata. Un total de entre 7,258 y 8,165 toneladas de mena se procesan por día (Ekstrom, 1999; Round Mountain Gold Corp, 1999).

Las perforaciones para voladura se espacian cada 6.7 m. En ocasiones la perforación se reduce a 4.8 m cerca de las zonas de mayor mineralización, para obtener la fragmentación y el control de tenor adecuados. La roca Tipo 2 actúa como un "caucho" y tiende a absorber gran parte de la energía de la onda explosiva. Las terrazas del tajo abierto se perforan, vuelan y explotan en niveles de 10.7 m de altura. Se toma una muestra en cada perforación para representar todo el nivel, y 165 g de muestra del ripio de perforación son cuarteados para llevar al laboratorio y analizar al fuego. Esto se hace para evitar el efecto pepita (*nugget effect*).

La mena se acarrea en volquetes hasta una trituradora de quijadas para conminución más fina y posterior lixiviación en la pila de lixiviados reutilizable. La

mena de bajo tenor se acarrea a la pila de lixiviación fija denominada "*dedicated leach pad*" sin molienda de ninguna clase. Allí se coloca en capas de 15.24 m de espesor para ser lixiviada. La roca sin mineralización se lleva a unas pilas permanentes de "desecho". La mena con tenor superior a los 23 g Au/ton se almacena para hacer mezclas. Cuando las pilas de desecho alcanzan su tamaño final, son contorneadas y sembradas para mitigar el impacto ambiental (Ekstrom, 1999; Round Mountain Gold Corp, 1999).

La mena para molino se tritura a menos de 15 cm de diámetro, luego a menos de 2 cm y posteriormente se coloca en las pilas de lixiviación reutilizables. Estas tienen inclinación de 2° con una canal en el fondo para capturar la solución de cianuro ya preñada. La mena de tenor alto se lixivia allí por 120 días. Luego se recoge de la pila, se revuelca, y se vuelve a colocar para un segundo ciclo de lixiviación. La segunda lixiviación produce una nueva recuperación igual a la primera (55%). Este proceso se denomina doble-lixiviación, y en ocasiones se repite más veces. Hasta ocho pisos de pilas se acumulan uno encima del otro, para una altura total de 122 m. Una vez que la mena se lixivia en las pilas reutilizables, se lleva a las pilas dedicadas para lixiviación adicional.

La tabla de agua se halla 91 m por debajo del nivel del tajo abierto. La mina opera un acuífero independiente del que aprovechan los agricultores y finqueros, para evitar problemas de contaminación. El agua de la presa de colas no puede descargarse al sistema fluvial del valle debido a su alto contenido de arsénico y es reciclada en la mina.

El control de la mena se lleva a cabo por medio de

las perforaciones de voladura. Constantemente se comunican los departamentos de ingeniería de minas, geología, operación de mina y laboratorio de ensaye, para asegurar que la mena y los desechos se detectan eficientemente y se llevan al lugar correcto para lixiviación o desecho. En el taladro se georeferencian con GPS los análisis de todas las perforaciones para voladura. Las palas eléctricas y los cargadores tienen paneles de control

computarizados que muestran lo que van a excavar y mover, y a dónde debe ir ese material. De igual manera, el mismo sistema le informa a las volquetas dónde llevar el material que cargan. Con frecuencia los geólogos cambian de planes cuando se hallan zonas ricas, con oro libre (Ekstrom, 1999). La Tabla 2 presenta los tipos de menas que se explotan, junto con sus tenores y porcentaje de recuperación

TABLA 2
Tipos de Mena, Tenor y Recuperación

MATERIAL	ÓXIDO (g/ton)	RECUERACIÓN (%)	MATERIAL REDUCIDO (c/sulfuro) (g/ton)	RECUPERACIÓN (%)
Desecho	0.0-0.1555	N/A	0.0-0.2799	N/A
"Run-of-Mine" ⁸	0.1866-0.5288		0.3110-0.5288	15
Mena para Trituradora ⁹	0.5599	55	N/A	65-70-80
Mena con tenor de Molino ¹⁰		65	0.5599	80
Mena de Alto Tenor ¹¹	0-1244	80-85		80-85

COMENTARIOS FINALES

La concentración de metales preciosos en depósitos del tipo de *Round Mountain* es del orden de diez partes por billón. Este es un bajo grado de mineralización, y debe tenerse en mente al muestrear y evaluar cualquier mineralización potencial en rocas volcánicas. Durante la exploración para yacimientos epitermales de oro de bajo tenor diseminados en rocas volcánicas, cada afloramiento de tobas debe analizarse para hallar su contenido de metales preciosos, y el nivel de detección debe ser tal que ubique anomalías del orden de partes por billón.

Los indicadores geoquímicos asociados deben determinarse en las primeras etapas del programa de exploración, por medio de detallados estudios mineralógicos y geoquímicos en las áreas de mineralización conocida dentro del yacimiento.

En *Round Mountain* no existe relación directa entre alteración y contenido de metales preciosos. Deben realizarse estudios cuidadosos para establecer los tenores al explorar en estos depósitos de tan bajo contenido aurífero, más aún cuando el tenor puede variar hasta cuatro órdenes de magnitud en distancias de 10 cm.

Un aspecto interesante de esta mina es la forma en que se lleva a cabo la lixiviación de la mena. Las pilas de lixiviación reutilizables son una novedad entre las minas de oro. Al percolar, los fluidos abren su camino a través de la pila de lixiviación, y pasado un tiempo, sólo pasan por los mismos canales, y un alto porcentaje de la roca

permanece sin lixiviar. La repetida remoción y re-colocación de las pilas de lixiviación permite que una mayor porción de la mena triturada sea lixiviada. Esto es algo bastante comprendido en *Round Mountain* y se usa ventajosamente.

RECOMENDACIONES

Una porción importante de la caldera de *Round Mountain* se encuentra bajo los sedimentos del Valle Smoky. Valdría la pena explorar allí para hallar porciones del yacimiento. Las vetas ricas y brechas intrusivas podrían explotarse bajo tierra. Con métodos de exploración geofísica se podrían detectar dichos cuerpos enterrados. Sistemas sencillos, como una serie de líneas de sondeos eléctricos verticales en dirección oriente-occidente podrían producir resultados interesantes con pequeñas inversiones y ayudar a definir el salto vertical de las fallas normales al occidente de la Serranía de Toquima. También pueden servir estudios sísmicos. Un paso posterior podría incluir abrir pozos de exploración inclinados y/o perforaciones, dependiendo de las profundidades descubiertas con los sondeos eléctricos verticales.

Por analogía, se puede esperar que existan otros yacimientos similares a *Round Mountain* en las calderas y rocas volcánicas circundantes. Una forma de explorar esos sistemas puede ser mapear las rocas volcánicas en detalle a lo largo de líneas perpendiculares al buzamiento de las capas, y excavar trincheras de hasta un metro de profundidad donde sea necesario, para establecer el

⁸ El término inglés "*run-of-mine*" se usa para la mena que llega directamente del tajo abierto y se transporta a las pilas de lixiviación sin trituración previa, como "mena cruda" (*raw ore*). Todo va a las pilas permanentes para lixiviación.

⁹ En inglés, "*crusher ore*". Este material va a las pilas de lixiviación reutilizables y permanece allí durante 120 días.

¹⁰ En inglés, "*mill grade*".

¹¹ La mena de alto tenor no depende del tenor, más bien de la naturaleza del oro en la mena.

modelo estratigráfico de los cuerpos de tefra. Debe intentarse hacer correlación de los tipos de tobas de *Round Mountain*. Una cartografía geológica detallada, a escala 1:2500 con plancheta y alidada puede mostrar muchas características geológicas antes desconocidas. Patrones densos de muestreo geoquímico en superficie podrían ser un paso razonable a seguir, para detectar zonas mineralizadas. Como el control de la mineralización es estratigráfico y estructural, se deben llevar a cabo detallados estudios estratigráficos y de fracturas.

Las tobas riolíticas (del tipo "caída de ceniza") se presentan en ambientes volcánicos específicos que tienden a ser altamente explosivos. Tales rocas normalmente son porosas y conforman capas permeables. Si están cubiertas por flujos de lava bien cementados (aspecto común en sistemas volcánicos bimodales) se puede formar un entorno similar al de *Round Mountain*, donde la lava actúa como acuífero. Es probable que rocas mineralizadas a profundidades de medio kilómetro hayan sido expuestas durante repetidas explosiones de los edificios volcánicos, y constituyen el objetivo lógico para enfocar la exploración de metales preciosos. El problema de esta estrategia radica en que la mayor parte de las regiones volcánicas están cubiertas por gruesas capas de ceniza. No es fácil hallar afloramientos de roca en los ambientes volcánicos recientes, excepto en valles excavados por quebradas en los márgenes de calderas. Tales "ventanas" son el lugar donde los geólogos de exploración deben dirigir su atención.

Los entornos epitermales del Terciario fueron sometidos a la erosión, y probablemente ya han desaparecido. Esto es especialmente cierto en los sistemas volcánicos más antiguos. Creo que la exploración de rocas mineralizadas en la parte superior de sistemas volcánicos puede dar más frutos en edificios volcánicos del Terciario Superior y Pleistoceno.

POSIBILIDADES DE EXPLORACIÓN EN LOS ANDES

Colombia tiene un enorme potencial para la exploración de yacimientos de oro del tipo de *Round Mountain*. Se han detectado varios cientos de calderas cuaternarias en los departamentos de Nariño y Cauca, y muchas de ellas tienen diseminaciones de metales preciosos. La repetida actividad explosiva de los sistemas volcánicos del sur de Colombia ha expuesto numerosas tobas mineralizadas y algunas tobas soldadas. El Volcán Galeras, uno de los mejor estudiados en la región, expele 0.5 kg de oro por día a la atmósfera en sus fumarolas, y probablemente está depositando más de 0.06 kg/día de oro dentro del edificio volcánico. Si tales tasas permanecen constantes, un yacimiento de metales preciosos de tamaño moderado (más de 200 toneladas de oro contenido) se formaría en sólo 10,000 años (Gerike, 1997). Si una cantidad equivalente se deja atrás en las rocas volcánicas porosas, un corto lapso de tiempo bajo actividad hidrotermal puede producir yacimientos similares a *Round*

Mountain. Estas observaciones no toman en cuenta los momentos de gran actividad y de vulcanismo explosivo, cuando se incrementa la actividad fumarólica y se conforman brechas hidrotermales de diversas clases. Se supone que el flujo de oro y plata por el sistema volcánico también aumenta en esos momentos.

Otro sistema volcánico Cuaternario estudiado por el autor, que tiene mineralización epitermal de oro asociada con capas de toba limitadas por acuíferos de lava es el Nevado del Ruiz en el límite entre los departamentos de Tolima y Caldas en el eje de la Cordillera Central Colombiana. Algunos aspectos del yacimiento *Round Mountain* se han observado allí, especialmente el condicionamiento de la mineralización a capas permeables y porosas de tobas ricas en pómez. En este caso, más de ocho capas de ceniza tienen mineralización. Las características del sistema mineralizado son del tipo alta sulfuración, pues la alunita conforma buena parte de la matriz de las brechas y tobas mineralizadas. El volumen del sistema es extremadamente grande, y si el tenor de mineralización tiene la distribución apropiada, el prospecto puede convertirse en un yacimiento de oro de clase mundial.

El Ecuador también cuenta con numerosos edificios volcánicos recientes, bien expuestos por erupciones laterales. El régimen de vientos en buena parte de la cima de las Cordilleras ecuatorianas es unidireccional. Los edificios volcánicos tienden a explotar por el lado de sotavento (W) donde hay mayor debilidad, al tener menor recubrimiento de piroclastos y lavas intercaladas.

Los depósitos de oleada piroclástica son comunes en los Andes del norte. Varios volcanes del Graben Interandino del Ecuador, como el Guagua-Pichincha están abiertos hacia el occidente. Los cráteres han ido colapsando preferencialmente en esa dirección. Los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Bravo, ubicados en el eje de la Cordillera Central colombiana también presentan formas irregulares y edificios volcánicos con claras evidencias de explosiones laterales.

En los alrededores del Volcán Tungurahua, Ecuador, se hallan depósitos de múltiples facies piroclásticas. Allí los fenómenos de mezcla de magmas, produjeron enorme variedad eruptiva. Ahora es un estratovolcán, pero en su historia hay diversa actividad volcánica que oscila entre alta explosividad riolítica y efusiones de lava basáltica. Varios ríos cortan la base del edificio volcánico, conforman cañones profundos y exponen zonas mineralizadas con oro.

Grandes extensiones de rocas volcánicas de edad Eocena a Oligocena afloran en los Andes peruanos. Son más antiguas y están más erodadas que su contraparte en los Andes del norte, y en algunos casos presentan condiciones ideales para entrapamiento de metales preciosos en capas permeables del tipo *Round Mountain*. Numerosos eventos riolíticos de alta explosividad intercalados con eventos piroclásticos, cineríticos y de tobas soldadas produjeron secuencias monótonas de capas volcánicas porosas y no-porosas.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al revisor del BSGP por las sugerencias realizadas al manuscrito.

REFERENCIAS

EKSTROM R. (1999).- Geology of the *Round Mountain* Mine. Presentación en el lugar de la mina, durante la visita técnica del programa de maestría en exploración minera, de Queen's University por el SW de los Estados Unidos de América, Mayo 5.

GERIKE G.N. (1997).- *Stable Isotope Systematics of Hydrothermal and Oxidation Minerals at Round Mountain, Nevada; Conditions of Gold Deposition and Remobilization*. Tesis de maestría de la Southern Illinois University, Carbondale, Carbondale, Illinois, 109 p.

GOFF F., STTJVIAC A., LAROCQUE C.L., HULEN J.B., McMURTRY G.M., ADAMS A.J., ROLDAN-M., TRUJILLO RE., COUNCE D., CHIPERAS.J., MANN D. & HEIZLER M. (1994).- Gold Degassing and Deposition at Galeras Volcano, Colombia. *GSA Today*, Geological Society of America, v. 4 No. 10,241-247.

HAYBA D.O., FOLEY N.K. & HEALD-WETLAUFER P. (1986).- Characteristics that Distinguish Types of Epithermal Deposits, en Conference on Volcanic-Hosted Precious Metals, *Journal of Geochemical Exploration*, 25,231-260.

HEDENQUIST J.W., IZAWA E., ARRIBAS A. & WHITE, N.C. (1996).- *Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration*. Resource Geology Special Publication No. 1, Society of Resource Geology, Tokio, 18 p + afiche. Traducción al castellano Re-editada por *Mundo Minero*, 205, 75-85, Lima.

HEDENQUIST J.W., ARRIBAS A. & GONZALEZ-URIEN E. (2000).- Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Society of Economic Geologists, Reviews*, 13,245-277.

HENLEY R.W. (1991).- Epithermal Deposition of Gold During Transition from Propylitic to Potassic Alteration at *Round Mountain*, Nevada - A Discussion. *Economic Geology*, 86, 892-894.

HENRY CD, ELSON HB. McENTOCH W.C., HEIZLER T. & CASTOR S.B. (1997).- Brief Duration of Hydrothermal Activity at *Round Mountain*, Nevada, Determined from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology. *Economic Geology*, 92, 802-826.

MILLS B.A., BODEN D.R. & SANDER M.V. (1988).- Alteration and Precious Metal Mineralization Associated

with the Toquima Caldera Complex, Nye County, Nevada, en Schafer, R.W., Cooper, J.J. & Vikre, P.G. (eds.) *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States*, Symposium Proceedings, Geological Society of Nevada, Reno, Nevada, 303-331.

ROBERT F., POULSEN K.H. & DUBE B. (1997).- Gold Deposits and Their Geological Classification, artículo 29 en Gubins, A.G., (ed.) *Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, Toronto, pp. 209-220.

ROUND MOUNTAIN GOLD CORPORATION (1999).- *Round Mountain Gold - An Introduction for Visitors*, revisado en marzo de 1999, fotocopias, 38 p.

SANDER M.V. (1988).-Geologic Setting and the Relation of Epithermal Gold-Silver Mineralization to Wall rock alteration at the *Round Mountain* Mine, Nye County, Nevada, en Schafer, R.W, Cooper, J.J. & Vikre, P.G. (eds.) *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States*, Symposium Proceedings, Geological Society of Nevada, Reno, Nevada, pp. 375-416.

SANDER M.V. & EINAUDI M.T. (1990).- Epithermal Deposition of Gold During Transition from Propylitic to Potassic Alteration at *Round Mountain*, Nevada. *Economic Geology*, 85, 285-311.

SANDER M.V. & EINAUDI M.T. (1991).- Epithermal Deposition of Gold During Transition from Propylitic to Potassic Alteration at *Round Mountain*, Nevada - A Reply. *Economic Geology*, 86, 894-897.

SHAWE D.R. (1988).- Complex History of Precious Metal Deposits, Southern Toquima Range, Nevada, en Schafer, R.W, Cooper, J.J. & Vikre, P.G. (eds.) *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States*, Symposium Proceedings, Geological Society of Nevada, Reno, Nevada, pp. 333-373.

SHAWE D.R., MARVIN R.F., ANDRIESEN P.A.M., MEHNERT H.H. & MERRITT V.M. (1986).- Ages of Igneous and Hydrothermal Events in the *Round Mountain* and Manhattan Gold Districts, Nye County, Nevada. *Economic Geology*, 81,388-407.

SILLITOE R.H. (1993).- Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and Shallow Features, en Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. & Duke, J.M., (eds.) *Mineral Deposit Modelling*. Geological Association of Canada, Special Paper 40, Toronto, pp. 403-417.

SILLITOE R.H. (1997).- Characteristics and Controls of the Largest Porphyry Copper-Gold and Epithermal Gold Deposits in the Circum-Pacific Región. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44, 373-388

APÉNDICE

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE MANO
COLECTADAS EN LA MINA *ROUND MOUNTAIN*

ROCAS. La roca huésped de este yacimiento se compone principalmente de materiales vulcanoclásticos, que incluyen: tobas soldadas contexturas de flujo; tobas líticas y de flujo de ceniza; brechas y escoria. Las muestras 1, 3, 8, 10, 12, 15 y 17 son ejemplos de rocas huésped.

ESTRUCTURA. No se hallaron evidencias de mineralización relacionada con estructuras en las muestras de mano. Se observaron sulfuros diseminados en las muestras 1, 3, 17 y 22. Parte de la mineralización mostró prelación por las espículas alteradas y los fragmentos de pómez, como en la muestra 10. Otras mineralizaciones están asociadas con la matriz de la roca. En algunos casos, la mineralización estaba relacionada con relleno de oquedades, como en la muestra 15. Sólo se vio vetillo de cuarzo asociado con mineralización en la muestra 8. Hay evidencias de brechamiento múltiple y re-cementación con sílice. Esto se aprecia en la muestra 15. Probablemente hay oro libre cerca de los sulfuros oxidados. Las principales brechas estaban ubicadas en intersección de fracturas radiales con fracturas concéntricas.

COMPOSICIÓN DE LA MENA. La composición de la mena no se aprecia en las muestras 3, 10 y 12. Otras, como la 1, 8, 13, 15, 17 y 22 contienen cristales de pirita que se ven a simple vista, o su residuo de goetita, y por lo tanto tienen potencial de mineralización aurífera. Solamente se identificó pirita fresca en las muestras 1 y 17; se asume que el oro y la plata están asociados con esta. En general el material tipo "ore grade" no presenta mineralización observable a simple vista. No hay contenido importante de sulfuros.

ALTERACIÓN. Se observaron varios tipos de alteración hidrotermal en las muestras: propilítica, muestras 1 y 17; fílica, muestras 3 y 8; silicificación, muestras 8, 12 y 15; argilización, muestras 3, 10, 12, 13 y 22.

PEPITAS. Tuve la oportunidad de estudiar varias pepitas o "chicharrones" de oro colectados en la mina. En las zonas de brecha hay oquedades grandes y ocasionalmente se encuentran pepitas de dos y tres centímetros de diámetro. Algunos chicharrones que se exhiben en oficina de la mina pesan más de libra y media.

Una parte de las muestras de pepitas conserva finas láminas de oro, que parecen papel aluminio; otra se compone de grandes masas de oro macizo. Los especímenes provienen de fracturas en las tobas o de vetas. Normalmente, los chicharrones no se detectan a simple vista, debido a la constante capa de arcilla amarilla que lo cubre todo. Según comenta el geólogo de la mina,

"el oro libre sólo se aprecia después de los períodos de lluvia, cuando se lava el lodo de la superficie de las rocas; y entonces sólo el ojo entrenado las puede descubrir" (Ekstrom, 1999). En general, la seguridad no constituye un problema en la mina, porque la mayor parte del oro es sub-microscópico y no se detecta a simple vista o bajo el microscopio.

Se usan detectores de metales en las zonas donde se esperan bonanzas con el fin de recuperar la mayor parte del oro y evitar que pepitas grandes vayan a las pilas de lixiviación. Un grano grande de oro no sería lixiviado por completo.

BRECHAS HIDROTERMALES. Múltiples tipos de brechas hidrotermales se encuentran en o alrededor de las zonas mineralizadas. Es común hallarlas en la intersección de fallas normales. Algunas presentan oro grueso, visible. El cemento por lo general es sílice en forma de calcedonia, en varias combinaciones con alunita, arcillas y óxidos de hierro y/o manganeso; también hay ópalo que tapiza las superficies de fracturas y cubre localmente a óxidos de Fe-Mn, alunita-calcedonia porcelanosa, y cuarzo en druzas tipo *cockscomb*.

El estudio detallado de las brechas obtenidas en la mina no se incluye aquí por cuestiones de espacio y límite al número de fotografías. Parte de las descripciones se presentan en el anexo.

RESUMEN. La variedad de tipos de alteración hidrotermal ilustrada en el juego de muestras, así como el tipo de rocas huésped son evidencias para clasificar el yacimiento en la clase Hidrotermal de Baja Sulfuración. En la mina hay pocas vetas de cuarzo, pero no se muestrearon durante la visita de campo. Pocas muestras presentan mineralización clara. No es fácil identificar las clases de alteración, porque las rocas originales tienen color blanco y los productos de alteración también son blancos.

ROUND-1. Pórfido volcánico (toba soldada) con textura de flujo, que contiene fenocristales de cuarzo hialino y sanidina. Color gris claro a verde, matriz granular muy fina. Cubos euhedrales de py de 0.5 mm Ø. La muestra tiene alteración propilítica (el reemplazando bio, ep+ab reemplazando plagioclasa, presencia de py en fracturas y fragmentos blancos alterados). Mena de Tipo I.

ROUND-3. Toba lítica soldada con textura de flujo. Caolinización. Vidrio que se alteró a arcillas. Contiene porfiroclastos de cuarzo hialino y ninguna mineralización aparente. Mena Tipo I, y alteración fílica (biotita a sericita, kaolinita e ilita a sericita).

ROUND-8. Brecha de cristales y líticos, con fragmentos silicificados y cuarzo-alunita que llena parcialmente las oquedades; matriz de cuarzo y turmalina, intensamente alterada por silicificación. Algunas fracturas están cementadas con cuarzo. El vetillo de cuarzo tiene óxidos de hierro; esto refleja oxidación de los sulfuros que pudieron alojar oro. No se aprecia mineralización. Mena de Tipo I (silicificación, alteración filica luego de alteración propilítica - note aglomerados remanentes de clorita/pirita; también contiene algunos fragmentos de jaspe negro).

ROUND-10. Escoria con >60% conformado por amígdalas y pórfidos de cuarzo. Matriz blanca con fragmentos clásticos angulares y esquirlas de vidrio. No se aprecian sulfuros a simple vista. La muestra es mena del Tipo 2. Toba de flujo de ceniza, no soldada, con mineralización de oro diseminado. Alteración argílica (la muestra está bien distante de la veta más cercana). Oro asociado con las espículas alteradas y los fragmentos de pómez.

ROUND-12. Toba lítica de flujo de ceniza con alteración argílica selectiva, que contiene grandes fragmentos de origen explosivo y grandes cristales de cuarzo. No hay mineralización aparente. Constituye mena de Tipo 2 y contiene alteración hematítica/argílica. Las manchas claras parecen estar parcialmente silicificadas?

ROUND-13. Muestra completamente caolinizada y cizallada, con pequeños restos de sulfuros oxidados. Harina de falla, rica en arcilla (montmorillonita ?).

ROUND-15. Brecha angular silicificada compuesta por fragmentos líticos de toba soldada, que muestra estructuras de flujo. Matriz blanca de microcristales silíceos. Algunas hoquedades están llenas de sulfuros, que se encuentran oxidados en la muestra de mano. Algo de alunita rellena delgadas venillas y hoquedades. Esta muestra presenta evidencia de brechamiento y silicificación múltiple.

ROUND-17. Toba de líticos y cristales bien cementada, con estructuras de flujo. Alteración a clorita y albita. Contiene pirita diseminada y es la única muestra con oro anómalo. Alteración propilítica (biotita a clorita, plagioclasa a epidota, albita), nótese el incremento en alteración cuarzo-clorita adyacente al relleno de fractura con clorita-pirita.

ROUND-22. Toba intensamente alterada a arcilla, con amígdalas y sericita. Levemente oxidada. 1-2% de pequeños sulfuros oxidados <0.25 mm.

ROUND-BX-3. Brecha que rellena una fractura. La zona brechosa se ensancha entre 1 y 12 cm (longitud total = 26 cm). Presenta relleno de material brechoide alóctono. La matriz está conformada por sílice opalino y cuarzo, que mantienen los fragmentos angulares en su lugar; la matriz también tiene proporciones variables de pirita y elctrum. Hacia el centro de la muestra se encuentra una porción pequeña con elctrum libre.

ROUND-BX-6. Veta con relleno brechoide y 3.2 cm de espesor promedio. El relleno con oquedades es lo que conforma la veta, y contiene sílice opalino con oro libre. Esta clase de vetas ricas se explotaron bajo tierra luego de agotar los ricos placeres en superficie.

ROUND-BX-7. Fractura intruida por una microbrecha mineralizada con oro. El espesor promedio de la estructura es 6cm. Esta clase de brecha puede clasificarse como una "brecha de mosaico" o "brecha de rompecabezas" dentro de una fractura. Nótese el tamaño de los fragmentos y su escasa rotación y separación. La matriz es de cuarzo y adularia, con pirita y poco oro. "Las alteraciones silícica (cuarzo-adularia-pirita) y argílica intermedia (cuarzo-ilita/esmectita-pirita, con relictos de feldespatos potásico) se desarrollaron en niveles altos del sistema, tarde en la historia hidrotermal. Esta clase de vetas se ha denominado coloquialmente *cockscomb* (y contiene cuarzo-adularia+pirita+calcita±oro). Las vetas de microbrecha y de tipo *cockscomb* presentan altos tenores de oro a nivel local; pequeños mineros las explotaron selectivamente en el pasado, pero contienen menos del diez por ciento del total de oro en el sistema" (Sander et al., 1990).

ROUND-BX-10. Porción mineralizada de la roca de "Tipo 4". Está conformada por una brecha de rompecabezas que grada hacia una veta microbrechada de cuarzo. La roca encajante y los fragmentos de brecha son lodolitas y areniscas ligeramente metamorfoseadas. Nótese la laminación de óxidos de hierro que reemplazaron horizontes ricos en pirita introducidos durante la mineralización. Esta muestra tenía oro libre en las porciones oxidadas, así como en las vetas microbrechadas.