

DEPOSITOS DE METALES PRECIOSOS DE GRAN TONELAJE EN LA REGION DEL CARIBE

Carl E. Nelson ¹⁾ & Alejandro Arauz C. ²⁾

¹⁾ Consultor, 2360 23rd St. Boulder, Colorado 80304, EEUU

²⁾ Consultor, Apdo. 3708-1000 San José, Costa Rica

ABSTRACT: Shallow epithermal stockworks hosted by maar eruption craters contain over ninety percent of the bulk mineable gold identified to date in the Circum-Caribbean region. Pueblo Viejo (Dominican Republic) and Santa Rosa (Panama) contains combined gold reserves of over 600 tonnes. Bulk mineable gold deposits are also being discovered in and around veins that were formerly mined underground. Bellavista, El Recio and San Martin (Costa Rica) contain combined announced gold reserves of over 50 tonnes.

Two hundred ninety one representative samples collected at 8 bulk mineable gold deposits were analyzed for Au, Ag, As, Hg, and Sb and include veins, vein stockworks, hydrothermal eruption breccias, sinter, variably altered host, unaltered host, nearby intrusive rocks, and basement. Analyses completed to date show that Circum-Caribbean epithermal ores are enriched in arsenic, mercury and antimony as well as gold and silver.

Exploration efforts in the region naturally focus on districts with past production. However, an order of magnitude more bulk mineable gold has been discovered in maar-hosted shallow epithermal stockworks outside of the old bonanza vein camps. Exploration guides include basal island arc volcanic sequences, hydrothermal and hydrovolcanic (maar) eruption breccias, thinly-bedded carbonaceous maar sediments, and hot spring-related silicification and argillic alteration.

RESUMEN: Los sistemas de enjambre de vetas o "stockworks" ubicados en centros eruptivos maáricos contienen más del noventa por ciento del oro extraíble a cielo abierto, identificado hasta la fecha en la región del Circumcaribe. Los yacimientos de Pueblo Viejo (República Dominicana) y Santa Rosa (Panamá) contienen en conjunto reservas por encima de las 600 toneladas de oro.

Otros depósitos de gran tonelaje están siendo explorados en las cercanías de vetas que han sido explotadas subterráneamente. Las minas Bellavista, El Recio y San Martín (Costa Rica) han publicado reservas conjuntas que superan las 50 toneladas de oro.

Un total de 291 muestras representativas de 8 diferentes depósitos fueron analizadas para Au, Ag, As, Hg y Sb. Se incluyen muestras de vetas y "stockworks", brechas eruptivas hidrotermales, sinter, diversos tipos de roca alterada, rocas no alteradas, intrusivos cercanos y del basamento. Los resultados analíticos obtenidos hasta la fecha indican que las menas epitermales del Caribe poseen altos contenidos de arsénico, mercurio y antimonio, a la vez que oro y plata.

Como es natural, la mayoría de los esfuerzos exploratorios en la región van dirigidos hacia aquellos antiguos distritos productores. Sin embargo, el oro explotable a cielo abierto que ha sido descubierto hasta la fecha en los antiguos distritos de bonanzas no es ni la décima parte del oro descubierto en sistemas de "stockworks" en centros eruptivos maáricos. Algunos parámetros para la exploración en estas nuevas áreas incluyen las secuencias basales del arco volcánico, las brechas hidrotermales o de erupciones hidrovolcánicas (maáricas), sedimentos maáricos carbonosos laminados y la silicificación y la argilitización asociadas con fuentes termales.

INTRODUCCION

Los depósitos epitermales de metales preciosos en la región del Caribe están formados por vetas y enjambres de vetillas (stockworks) muy similares a aquellas encontradas en el oeste de los Estados Unidos o en cualquier lugar del Circumpacífico. Todos estos depósitos se originaron a partir de sistemas geotérmicos ahora fósiles, pudiéndose distinguir entre dos tipos principales.

Los depósitos del tipo bonanza están constituidos por vetas fisurales bien definidas o por "stockworks" encajadas en rocas volcánicas propilitizadas. Estas vetas están formadas por cuarzo lechoso groseramente cristalino y por cantidades variables de calcita y adularia. El oro, en estado libre, se encuentra comunmente asociado a la piritita y algunas veces a galena, esfalerita y a calcopiritita. Alrededor de las vetas tiende a formarse un halo de alteración sericitica cuyo espesor no es mayor de un metro. Con base en la presencia de alteración sericitica y propilitica se infiere que los yacimientos tipo bonanza se formaron a temperaturas entre los 200 y 300 °C.

El Rosario (San Juancito) en Honduras es uno de los depósitos de tipo bonanza más ricos del Caribe, habiendo producido 4000 toneladas (129 millones de onzas) de plata y 23 toneladas (746 000 onzas) de oro durante el período comprendido entre 1882 y 1954. En Costa Rica, los distritos de Abangares y Miramar, produjeron durante el siglo pasado y principios del actual, más de 60 toneladas (1,9 millones de onzas) de oro a partir de minas subterráneas. En la actualidad, los distritos de bonanzas en Costa Rica y en todo el Caribe son objeto de exploración con el fin de descubrir depósitos de alto tonelaje de mena de baja ley.

El segundo tipo lo constituyen los depósitos ligados a "stockworks" epitermales superficiales desarrollados a partir de fuentes termales. De los ocho yacimientos estudiados, este tipo es el que contiene la mayor parte del oro descubierto hasta la fecha (Cuadro 1). En este segundo tipo de depósitos hay evidencias claras de un origen cercano a la superficie, como el sinter y los depósitos de erupciones hidrotermales. Las rocas cajas incluyen brechas máficas, brechas de erupción hidrotermal y sedimentos máficos finos, rocas que por lo general están rodeadas por coladas de

lava y unidades piroclásticas. La acción hidrotermal da lugar a una intensa silicificación en los conductos por donde se desplazaron los fluidos hidrotermales y a la vez origina el remplazamiento local por feldespatos potásico. La alteración argílica está ampliamente distribuida mientras que localmente la alteración es de tipo argílica avanzada. Partiendo de la evidencia de paleosuperficies, se infiere que los depósitos superficiales de "stockworks" se formaron a temperaturas entre 100 y 200 °C. Nelson (1988) da la descripción geológica y muestra algunas secciones esquemáticas de los "stockworks" superficiales y de los depósitos de bonanza.

El presente trabajo proporciona una descripción geológica de ocho depósitos epitermales de metales preciosos de la región circumcaribeña considerados de gran tonelaje. El cuadro 1 presenta las producciones pasadas y las reservas actuales de estos depósitos mientras que la ubicación de los mismos se presenta en la figura 1. El cuadro 2 muestra los contenidos de oro, plata, arsénico, antimonio y mercurio de los depósitos antes mencionados. Las recomendaciones exploratorias se basan en la asociación existente entre los depósitos de gran tonelaje con los sistemas de "stockworks" epitermales superficiales y con brechas eruptivas máficas.

Cuadro 1
DEPOSITOS DE METALES
PRECIOSOS DE GRAN TONELAJE
EN LA REGION CIRCUM-CARIBEÑA

Depósito	Tamaño en toneladas
Pueblo Viejo, Rep. Dom.	3066 Ag 570 Au
Bellavista, Costa Rica	40 Au
Santa Rosa, Panamá	24 Au
San Martín, Costa Rica	9 Au
Santa Clara, Costa Rica	5 Au
El Recio, Costa Rica	4 Au
San Andrés, Honduras	3 Au
Río Chiquito, Costa Rica	1 Au

Nota: el tamaño en toneladas métricas incluye tanto las producciones pasadas como las reservas publicadas hasta 1991.

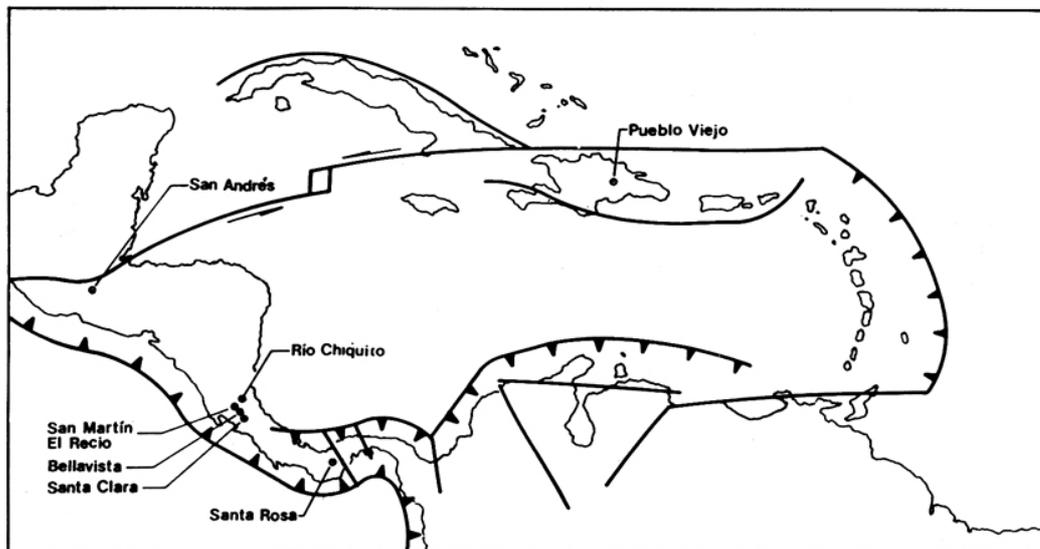


Fig. 1: Mapa de ubicación para la región del Circum-Caribe.

DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS

Pueblo Viejo, República Dominicana

El yacimiento de metales preciosos Pueblo Viejo es un sistema de vetas en "stockwork" asociado a un cráter de erupción maárica (Sillitoe and Bonham, 1984; Russell et al., 1986). La erupción maárica tuvo lugar durante la depositación de la Formación Los Ranchos, de edad Cretácico Inferior, la cual es una secuencia basal de arco volcánico. La mayor parte de la mena del depósito se presenta como "stockworks" que atraviezan los finos sedimentos carbonosos del maar. Parte adicional de la mena se encuentra dentro de brechas gruesas con soporte de matriz y sin clasificar, resultado de la erupción maárica. Estas brechas se encuentran alrededor del margen del cráter y sobreyacen flujos de basaltos espilíticos. Kesler et al. (1981) proporciona mapas geológicos esquemáticos y perfiles de la región.

La Formación Los Ranchos tal y como fue descrita por Russell et al. (1981), consiste de flujos de keratófiros y de cuarzo-keratófiros, intrusiones pequeñas, tobas (miembro inferior Quito Sueño), sedimentos volcanoclásticos (miembro Zambrana), basaltos espilíticos, sedimentos volcanoclásticos con calizas (miembro Platanal), sedi-

mentos carbonosos y tobas con pórfidos de cuarzo (miembro Pueblo Viejo). La Formación Los Ranchos es una secuencia volcánica de arco de islas primitivo, con un bajo contenido de elementos litófilos tales como K, Rb, Th y U (Donnelly y Rogers, 1981). Está separada por fallamiento inverso de la Formación Maimon, una secuencia de materiales volcánicos ácidos metamorizados que contiene sulfuros masivos ricos en oro. La Formación Los Ranchos está sobreyacida discordantemente por la Formación Caliza Hatillo (Cretácico Inferior).

La litología del área de la mina consiste en basaltos espilíticos (Miembro Platanal) sobreyacidos discordantemente por una unidad clástica de grano grueso y sin clasificar que contiene fragmentos volcánicos silicificados y pequeños trozos de madera carbonizada. Esta unidad clástica (Fig. 2), de origen hidrovolcánico, fue depositada durante el Cretácico Inferior por erupciones maáricas, que formaron un cráter de aproximadamente dos kilómetros de diámetro. El origen maárico de la cuenca de Pueblo Viejo fue propuesto inicialmente por Sillitoe y Bonham (1984).

La cuenca maárica está rellena por sedimentos carbonosos finamente laminados que contienen pirita diseminada de grano fino (Miembro Pueblo Nuevo). Esta unidad (Fig. 3) está interdi-



Fig. 2: Brecha máfica del depósito Pueblo Viejo.

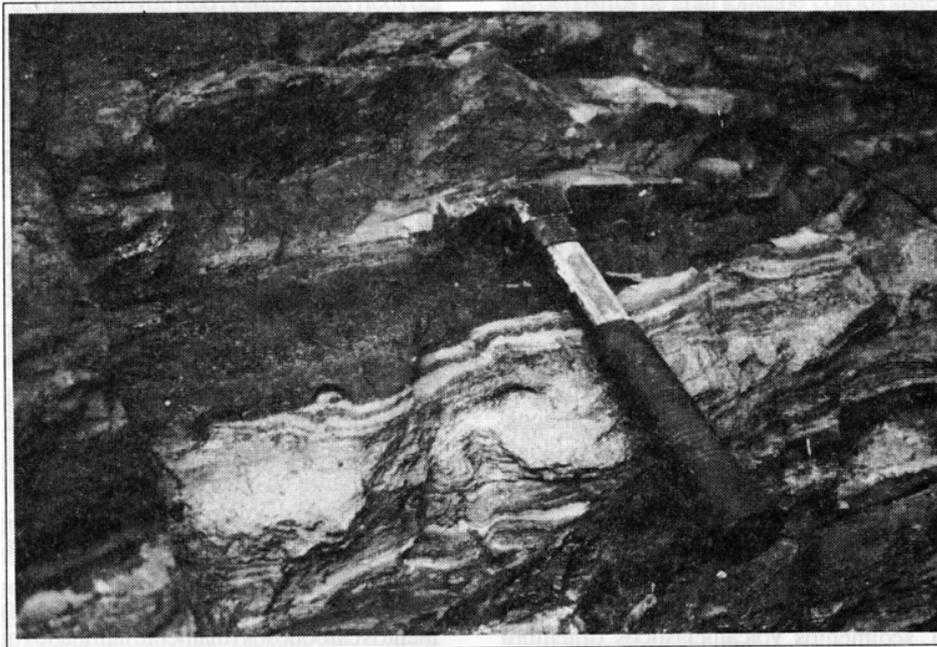


Fig. 3: Sedimentos carbonosos máficos de Pueblo Viejo.

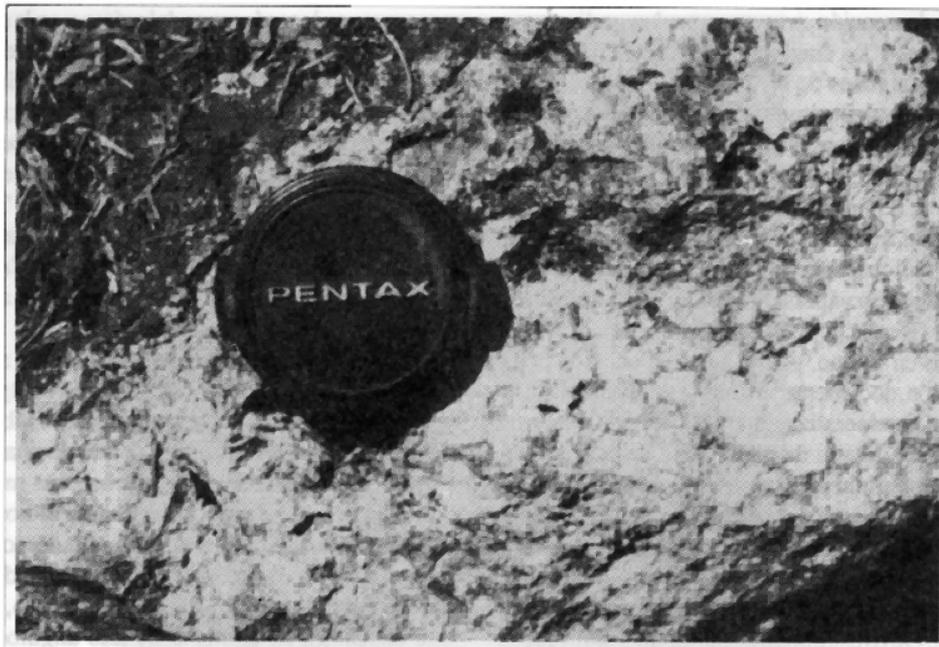


Fig. 4: Brecha máfica del depósito Santa Rosa.

gitada e intercalada con las brechas gruesas de la erupción máfica. El oro está asociado con "stock-works" de cuarzo y sulfuros que forman cinco cuerpos separados (Monte Negro, Moore, Mejita Este, Cumba, Mejita Dos) dentro y alrededor del margen del cráter máfico.

La espilitización regional (albita-epidota-calcita-clorita) fue reemplazada por alteración argílica y argílica avanzada en un sector de 40 kilómetros cuadrados que cubre todo el distrito de Pueblo Viejo (Kesler et al., 1988). La mineralización se encuentra dentro de un sistema de alteración con forma de embudo que gradúa en profundidad a un núcleo de reemplazamiento cuarzo-alunitico (Kesler et al., 1981). Este patrón cónico se encuentra superimpuesto y delimita la forma del cráter máfico, ensanchándose la alteración a partir del núcleo de alunita y ocupando todo el conducto máfico. Por último, la alteración argílica avanzada (pirofilita-diásporo-cuarzo-pirita) está sobreimpuesta a este cono de alteración y a la mineralización (Kesler et al., 1988).

La mineralización es contemporánea a la depositación del miembro Pueblo Viejo ya que den-

tro de las brechas que se interdigitan con los sedimentos máficos mineralizados se pueden encontrar fragmentos silicificados ricos en sulfuros. A su vez, las edades isocrónicas de Pb reportadas por Cumming et al. (1982) para la mineralización de sulfuros (110 millones de años) son similares a la edad del la Formación Los Ranchos que los contiene (105 millones de años).

El oro se presenta tanto en pequeñas partículas de metal nativo a lo largo de los anillos de crecimiento de la pirita (Kesler et al., 1988), como diseminado junto con cuarzo y baritina en granos de hasta 100 μm de diámetro (Russell et al., 1981), y como teluros auríferos (Kesler et al., 1981). Como minerales asociados se encuentran enargita-famatinita, esfalerita, galena, sulfosales de plomo, tetraedrita-tenantita, estibina y baritina (Kesler et al., 1988).

Hay numerosos artículos que se refieren a Pueblo Viejo como un depósito de fuente termal, entre ellos Kesler, et al. (1981), Russell et al. (1981), Cumming et al. (1982). Las evidencias que sugieren la cercanía de una paleosuperficie son: la forma cónica del cráter máfico, las grietas

tas de desecación presentes en los sedimentos laminados y los fragmentos de árboles carbonizados en algunas de las brechas de erupción. La alteración y los estudios de inclusiones fluidas coinciden con un origen epitermal superficial, indicando estas últimas bajas salinidades y temperaturas de homogeneización de 130 a 190 °C (Kesler et al., 1981). La coexistencia de inclusiones fluidas ricas en fase líquida con inclusiones ricas en vapor sugieren la ebullición de los fluidos (Kesler et al., 1981). Kesler et al. (1988), basados en el tipo, paragénesis y zonación de la alteración, documentan un fuerte gradiente térmico durante la mineralización (100 °C en 300 metros verticales), lo que también coincide con un ambiente epitermal cercano a la superficie.

Estudios isotópicos realizados por Kesler et al. (1981) indican que el carbono es de origen orgánico y que la mayor parte del azufre fue reducido orgánicamente del sulfato del agua marina. Otros estudios por Cummings et al. (1982) indican que la fuente del plomo y por inferencia, del oro, fue la formación circundante Los Ranchos. El oro pudo haber sido introducido por bisulfuros complejos que interactuaron con hierro reducido y materia orgánica (Kesler et al., 1987). Por otra parte, el carbono del sector Monte Negro ha sido removilizado localmente originando vetas de cuarzo, pirita e hidrocarburos.

Pueblo Viejo es el mayor depósito aurífero epitermal de la región del Caribe. Las producciones pasadas junto con las actuales reservas oxidadas suman 47 millones de toneladas con un promedio de 4,23 ppm de oro y 21,6 ppm de plata. Russell et al. (1986) indican que las reservas de la zona de sulfuros llegan a 101 millones de toneladas con un promedio de 3,67 ppm de oro y 20,3 ppm de plata. Pueblo Viejo empezó a operar en 1975 y en sus primeros años produjo anualmente 11 000 kg de oro y 45 000 kg de plata. Este yacimiento pertenece a la Rosario Dominicana, una compañía minera estatal.

Santa Rosa, Panamá

El depósito Santa Rosa está formado por "stockworks" auríferos de tipo fuente termal y está asociado con un cráter de erupción maárica (Tippet & Trever, 1989). La mineralización se

presenta en los márgenes del cráter y en la cubierta piroclástica adyacente (Ward, 1989) estando encajada por brechas maáricas, brechas hidrotermales y sedimentos carbonosos maáricos finamente estratificados. Las rocas caja están sobreyacidas discordantemente por coladas andesíticas sin alteración que han sido datadas en 17,5 millones de años (Wleklinski, 1969). Todas estas unidades forman parte de la Formación Cañazas, que es una secuencia volcánica basal de arco de isla.

Las brechas maáricas de Santa Rosa son polimícticas y poco clasificadas y están compuestas por fragmentos volcánicos gruesos subredondeados a veces silicificados dentro de una matriz tobácea muy fina (Fig. 4). Las brechas maáricas se ensanchan y se engruesan hacia el borde del cráter donde se intercalan con unidades tobáceas de mayor espesor. En algunas localidades está expuesta la brecha maárica del conducto, la cual se encuentra en contacto de alto ángulo con el anillo tobáceo de los alrededores. La brecha del conducto está compuesta por grandes bloques de andesita alterada sin clasificar que localmente se encuentran flotando dentro de una matriz tobácea. El cráter maárico está relleno por sedimentos carbonosos finamente laminados, ricos en pirita, que muestran gradación y deformación sinsedimentaria. Estos sedimentos, idénticos a los encontrados en Pueblo Viejo, están intercalados con brechas eruptivas maáricas y brechas epiclásticas (Fig. 5).

Las brechas del conducto hidrotermal cortan el anillo de tobas que rodean el margen norte del cráter maárico. Estas contienen fragmentos de andesitas silicificadas y ocasionalmente fragmentos de los sedimentos maáricos mineralizados (Fig. 6). Localmente los fragmentos están inmersos en una matriz de harina de roca reemplazada por sílice microcristalino, siendo este último rico en sulfuros. Los depósitos producto de las erupciones hidrotermales son de mayor espesor cerca de los conductos y son más abundantes hacia la parte superior del anillo de tobas. Las brechas de erupción hidrotermal se distinguen de las brechas maáricas por la ausencia de matriz tobácea en las primeras siendo sus fragmentos más angulares y mostrando muchos de ellos varias fases de silicificación.

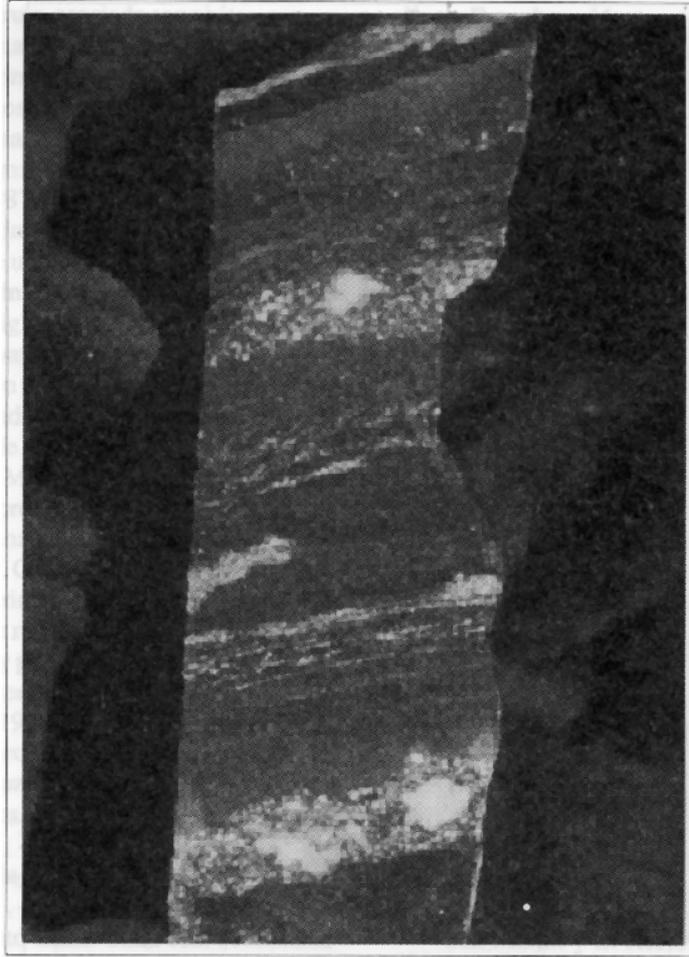


Fig. 5: Sedimentos carbonosos máficos del depósito Santa Rosa.

La presencia de fragmentos alterados tanto en los depósitos de explosión hidrotermal como en los hidrovulcánicos, el buzamiento muy suave (30°) de los depósitos hacia la pared del conducto máfico y la presencia de sedimentos máficos estratificados son evidencias de una paleosuperficie. Además, cerca del depósito aflora un sintier calcedónico con fragmentos de plantas.

La alteración propilítica es común en la parte inferior de la Formación Cañazas. En las cercanías del depósito, la alteración consiste en una fuerte silificación (reemplazamientos de cuarzo microcristalino con textura sacaroidea) cortada por enjambres de vetillas de cuarzo y rodeada por 20 kilómetros cuadrados de alteración argílica y

argílica avanzada. Los conductos de la brecha hidrotermal están intensamente silificados y localmente reemplazados por una mezcla de cuarzo y adularia de grano muy fino, por lo que pueden ser confundidos fácilmente con riolitas. Estas brechas hidrotermales contienen las leyes más altas del depósito.

Freeport de Panamá, subsidiaria de Freeport Gold, visitó Santa Rosa por primera vez en 1985, luego de la publicación de varios reportes por parte de la Dirección de Recursos Minerales de Panamá acerca del descubrimiento de una mineralización aurífera en varias perforaciones conducidas en 1975 (Tippett & Trever, 1989). A partir de 1987 se han perforado más de 30 000 me-

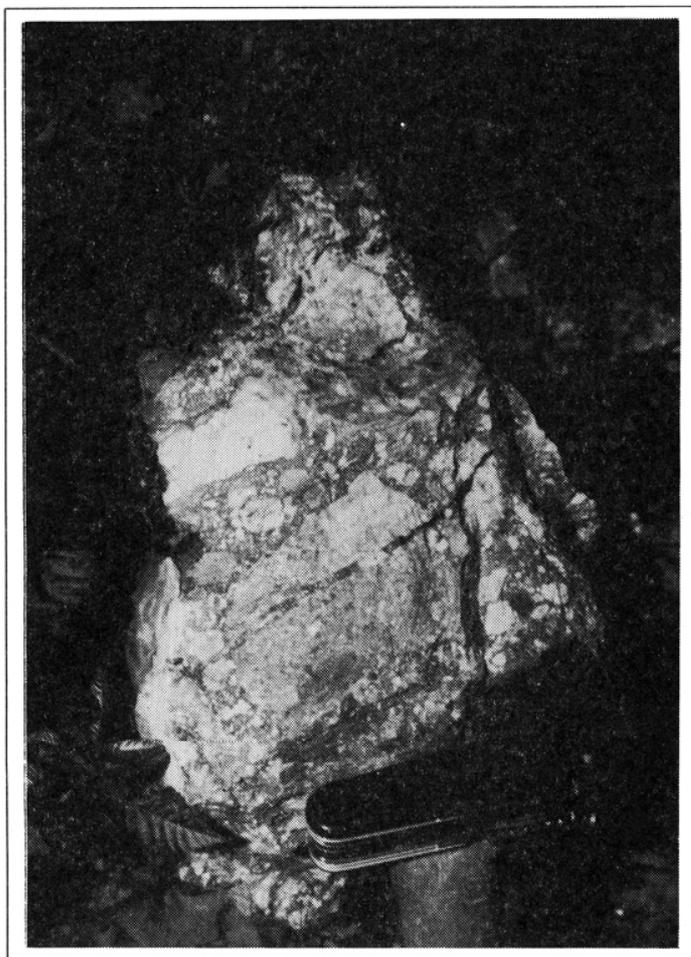


Fig. 6: Brecha hidrotermal del depósito Santa Rosa.

tros. En 1990, Freeport vendió sus derechos mineros a las empresas Boliden International y Greenstone Resources quienes publicaron reservas geológicas de 12 426 000 toneladas de 0,061 oz Au/t.

Bellavista, Costa Rica

El depósito Bellavista está ubicado en el distrito minero Miramar, uno de los distritos de tipo bonanza de Costa Rica. El yacimiento está formado por varias vetas y "stockworks" epitermales de cuarzo ubicadas a lo largo de una zona de cizallamiento de rumbo norte. La mineralización afectó lavas basalto-andesíticas y brechas

tobáceas que pertenecen al Grupo Aguacate (Mioplioceno). Regionalmente, el Grupo Aguacate consiste de coladas de lava, brechas de flujo, tobas, brechas tobáceas y sedimentos volcánoclasticos de naturaleza toleítica, calcoalcalina y alcalina, que varían en composición desde basaltos hasta riolitas (Schulz et al., 1987).

La alteración propilítica regional (cuarzo, pirita, sericita, clorita, epidota y calcita) normalmente aumenta en las vecindades de las vetas y los "stockworks", siendo reemplazada en el contacto con las vetas por una fuerte alteración sericitica (cuarzo, sericita, pirita e ilita). La mineralización que se desarrolla mejor en las cercanías de intersecciones entre fracturas tensionales,

consiste de electrum, asociado con pirita y menormente con galena, esfalerita, calcopirita y arsenopirita. Los principales minerales de la ganga son cuarzo lechoso groseramente cristalino con adularia y calcita. En algunos sitios, el cuarzo muestra bandeamiento crustiforme y calcedonia. Alán et al. (1987) muestra las características geológicas más importantes del yacimiento.

A través de una intermitente actividad subterránea, que se inicia en el distrito Miramar desde finales del siglo pasado hasta mediados del actual, se extrajo aproximadamente 300 000 toneladas de mena con una ley promedio de 0,29 onzas de oro por tonelada (10 ppm) (Alán et al., 1987). En el período de mayor actividad, previo a la Primera Guerra Mundial, dos molinos de veinte masos cada uno procesaban diariamente unas 100 toneladas de mena de 0,40 onzas de oro por tonelada. En 1987, COMISA, empresa conjunta de Westlake Industries Ltd. y Minera Rayrock Inc., dieron a conocer reservas de 5 millones de toneladas con una ley promedio de 0,11 onzas de oro por tonelada, reservas que fueron incrementadas a 10 millones en 1988 y a 22 millones de toneladas con 1,7 ppm de oro en 1989. Para 1989 se habían perforado 158 pozos con un total que sobrepasa los 24 000 metros.

Santa Clara (Macacona), Costa Rica

El yacimiento Santa Clara esta constituido por vetas y enjambres de vetillas dentro de brechas tobáceas y coladas basáltico-andesíticas del Grupo Aguacate (Mio-Plioceno). La mineralización, oxidada a una profundidad de más de 50 metros, está controlada por una falla de alto ángulo cuyo techo está fuertemente fracturado. La veta principal, llamada veta Mondongo ha sido explotada a lo largo de más de 1000 metros extendiéndose la mineralización fuera de la zona minada tanto hacia el este como hacia el oeste.

El oro, en estado libre, está asociado con limonita y pirolusita en vetas de cuarzo calcedónico bandeadas y a brechas de falla. Debajo de la zona de oxidación, el oro se encuentra asociado con pirita y en menor grado con calcopirita y covelita. La veta Mondongo aflora en tramos irregulares de sílice calcedónico bandeado dentro de una zona de falla con alteración arci-

llosa. Esta alteración es más fuerte en el techo de la veta y acompaña a la estructura por varios kilómetros. En niveles erosivos más profundos, expuestos varios kilómetros al norte de Santa Clara se observan rocas volcánicas del Grupo Aguacate con alteración propilítica y mineralización en vetas del tipo bonanza.

La compañía Minera Macacona, empresa conjunta entre United Hearne Resources y Canadian Barranca, inició la evaluación del depósito Santa Clara en 1975. Hasta abril de 1988 la producción alcanzó un total de 39 000 onzas de oro como resultado de la extracción de 1 091 050 toneladas de mena con una ley de 0,036 oz/t. La mina cerró en agosto de 1989 luego de que sus reservas de mena oxidada se agotaron. La mena era extraída de las canteras sin necesidad de explosivos siendo únicamente quebrada con los desgarradores y las orugas de los tractores, para posteriormente ser aglomerada y transferida a pilas de lixiviación de 10 000 toneladas de capacidad. El oro era procesado en cinco columnas de carbón y finalmente separado por métodos electrolíticos. Una evaluación de reservas en 1988 reportó 2 925 000 toneladas con 0,053 oz/t de oro en una área inmediata a la mina (Prochnau, 1988), siendo a mayoría de éstas, reservas no oxidadas.

San Martín y El Recio, Costa Rica

San Martín y El Recio son dos minas antiguas que se localizan en el distrito minero de Abangares, una área con vetas de bonanza similar metalogénicamente pero mayor en términos de producción histórica que Miramar. Por lo menos quince minas (Tres Hermanos, Tres Amigos, San Lucas, La Luz, El Silencio, Cuatro Vientos, Guaitilar, Pozo Azul, Guacimal, San Martín, La Fortuna, San Rafael, Boston, Gongolona y Año Nuevo) estaban activas a principios de siglo en la región. Como rocas caja se incluyen brechas tobáceas y en menor proporción lavas, del Grupo Aguacate de edad Mio-Plioceno. La mineralización, de tipo veta fisural, está controlada por una serie de estructuras de rumbo norte a noreste. La alteración propilítica, que es común en las litologías del Aguacate, (clorita, hematita, cuarzo, epidota, calcita y pirita) grada a alteración sericitica (sericitita, cuarzo y pirita) en el contacto con las

vetas. Este último tipo de alteración tiende a desarrollarse mejor en los alrededores de las zonas productivas de las vetas. La meteorización ha producido zonas locales de caolinita, goetita y pirolusita, particularmente en las áreas de "stockworks".

El oro se presenta asociado con piritita, arsenopiritita y cantidades menores de sulfuros de metales básicos en una ganga de cuarzo microcristalino, calcita y adularia. Las vetas de cuarzo lechoso con diseminaciones de piritita y oro, muestran una sucesión compleja de brechificaciones y silicificaciones que a su vez están cortadas por vetillas de cuarzo gris ricas en pirolusita, piritita, galena, esfalerita y oro. En algunas localidades se encuentra antimonita en forma de agujas, rellenando cavidades en el cuarzo.

La producción registrada del distrito Abangares para el período entre 1900 a 1930 es de 936 000 onzas de oro y 600 000 onzas de plata (Chaves & Sáenz, 1974). La producción de las vetas Boston, San Rafael y Tres Hermanos durante el período de 1892 a 1928 fue evaluada en \$33 millones, lo que implica un total de 1,6 millones de onzas. En la actualidad únicamente la mina Tres Hermanos, una operación subterránea, está activa y produce unas 200 toneladas por día con un promedio de 0,15 oz/t de oro.

El depósito El Recio pertenece a la empresa Greenstone Resources la cual anunció en 1989 una combinación de reservas para cielo abierto y subterráneo de 576 658 toneladas con una ley promedio de 0,277 oz/t de oro. En la actualidad este depósito está inactivo.

San Martín es el mayor de los depósitos minables a cielo abierto descubierto hasta la fecha en el distrito de Abangares. La producción histórica alcanza las 20 000 toneladas con una ley promedio de 0,6 oz/t de oro. La veta San Rafael, una rama de la veta San Martín ha sido explotada por una longitud de 300 metros hasta una profundidad de 130 metros. En 1988, NorQuest Resources Ltd. publicó un potencial para cielo abierto de 2,6 millones de toneladas con 2,6 ppm de oro, luego de 2000 metros de perforación con circulación inversa. Las reservas evaluadas durante 1989 subieron estas cifras a 3,9 millones de toneladas con 2,21 ppm de oro y 15 ppm de plata.

San Andrés, Honduras

El depósito San Andrés es un "stockwork" epitermal superficial que se encuentra dentro de la Formación Matagalpa. Esta formación es una secuencia de rocas volcánicas terrestres de arco de islas de edad Oligoceno a Mioceno que incluye lavas, brechas de flujo, tobas, brechas tobáceas y sedimentos volcanoclásticos de composición muy variable (basaltos a riolitas). Al igual que su equivalente en Costa Rica el Grupo Aguacate, la Formación Matagalpa está dividida en un miembro superior y otro inferior. Estas dos formaciones son importantes rocas caja de los depósitos de metales preciosos epitermales en América Central. Las rocas volcánicas en San Andrés sobreyacen el basamento de esquistos de grafito (Formación Petén) y sedimentos arcillosos sin metamorfismo (Formación El Plan).

El depósito de San Andrés representa una porción fósil del campo geotérmico activo de Platanares, uno de los diez campos geotérmicos de alta entalpía de la Cuenca Circuncaribeña. Los geotermómetros químicos indican una temperatura en el reservorio de 225 °C (Goff et al., 1989). Tanto el depósito de San Andrés como el campo geotérmico Platanares son parte del distrito Trifinio, una área de 7500 Km² en la región fronteriza entre Honduras, El Salvador y Guatemala. Producciones pasadas del distrito incluyen oro, plata, antimonio, cobre, plomo, hierro y zinc.

La alteración en San Andrés consiste en un núcleo de silicificación por reemplazo rodeado por alteración agilitica superimpuesta a la alteración propilitica regional. Las coladas andesíticas y las unidades piroclásticas están silicificadas y a la vez cortadas por vetas y enjambres de vetillas de cuarzo en bandas crustiformes con contenidos menores de calcita. La mena está mejor desarrollada en zonas de fallas con alteración argílica con rumbo norte, las cuales contienen vetas de cuarzo de hasta 3 metros de ancho.

La mayor parte de la mena se encuentra dentro de depósitos de erupciones hidrotermales. Estos depósitos subhorizontales, localmente presentan abundantes clastos angulares sin clasificar de andesita alterada y mineralizada, soportados por una matriz de roca pulverizada. Hacia el cen-

tro del depósito se encuentra un conducto el cual dió origen a una brecha que contiene mena de alta ley. Esta ha sido alterada a cuarzo, caolinita y alunita, asociación mineral típica de la alteración argílica avanzada. En el cercano campo geotérmico Platanares aflora sinter, lo cual, junto con los depósitos de erupciones hidrotermales, proporciona evidencias de la paleosuperficie y confirma un origen epitermal superficial (tipo fuente termal) para la alteración y la mineralización.

Los registros de producción para el período 1948-1954 incluyen 300 000 toneladas a partir de labores subterráneas y 100 000 a partir de tajos con una ley promedio de 5,6 ppm de oro. Minerales de Copán inició una explotación a cielo abierto en 1983, donde la mena es desgarrada, aglomerada y lixiviada en siete pilas. El producto final es un precipitado tipo Merrill-Crowe que es exportado a los Estados Unidos para su refinación. En 1987, la producción alcanzó un total de 75 kilos (2 500 onzas) de oro a partir de 32 100 toneladas de mena. Las reservas evaluadas previo al inicio de la operación alcanzaron 165 000 toneladas con un promedio de 3,5 ppm de oro.

Río Chiquito, Costa Rica

Río Chiquito es un depósito epitermal superficial con desarrollo de vetas y enjambres de vetillas dentro de coladas andesito-basálticas y brechas tobáceas pertenecientes al Grupo Aguacate. Tanto vetas como brechas hidrotermales se desarrollan en una zona de fracturas tensionales que se ha originado en respuesta al movimiento lateral derecho de un cizallamiento regional.

La silicificación se presenta en forma de pequeñas bolsas que conforman un patrón escalonado dentro de la zona de cizallamiento. Esta grada hacia el exterior a zonas de alteración argílica (cuarzo, pirlita y caolinita) y hacia el interior a brechas hidrotermales silicificadas. Las brechas contienen fragmentos andesíticos silicificados angulares dentro de una matriz de cuarzo microcristalino rico en sulfuros (pirita-marcasita). Las litologías antes descritas están cortadas por numerosas vetas bandeadas y porosas de cuarzo microcristalino a cristalino. Todas las alteraciones se superponen a la alteración propilitica regional (cuar-

zo, pirlita, clorita y contenidos menores de epidota).

La andesita alterada en Río Chiquito está sobreyacida discordantemente por una brecha maárica con alteración argílica (arcillas-pirlita), cuyo conducto no ha sido identificado aún. Esta brecha no presenta clasificación y contiene fragmentos subredondeados de andesita alterada y ocasionalmente fragmentos de madera carbonizada en una matriz tobácea barroza. A su vez, la brecha eruptiva maárica es sobreyacida discordantemente por cenizas recientes no alteradas que cubren gran parte de una zona de cizallamiento de rumbo este-oeste. Esta zona de cizallamiento, alterada y localmente mineralizada, se extiende por diez kilómetros como mínimo. La amplia distribución de la alteración y la ubicación del cráter maárico indican que el área tiene un buen potencial para el desarrollo de nuevas reservas.

El oro, en partículas micrométricas, está asociado con los sulfuros pirlita-marcasita, argentita-acantita, esfalerita, galena, arsenopirlita y metacinnabrio. Como minerales de ganga se incluyen cuarzo microcristalino y adularia en cantidades menores. Hay además vetas de cuarzo calcedónico bandeado y de suave buzamiento que son relativamente estériles.

La Corporación de Minerales Mallon inició la exploración en Río Chiquito en 1983, comenzando la construcción de la planta de tratamiento en 1987. La mina, que entró en producción en ese mismo año, tiene una capacidad de 1500 toneladas por día y está diseñada para producir un precipitado tipo Merrill-Crowe que posteriormente es procesado en los Estados Unidos. Hasta 1989 se habían producido un total de 3 313 onzas de oro y 22 200 onzas de plata a partir de 90 891 toneladas de mena. En la actualidad la planta de tratamiento está cerrada. Tomando en cuenta el potencial aurífero del área, Minerales Mallon conduce en estos momentos un intenso programa de exploración con el cual esperan reactivar la producción a corto plazo.

BRECHAS ERUPTIVAS MAARICAS

El depósito Pueblo Viejo contiene más del noventa por ciento del oro explotable a cielo abierto, identificado hasta la fecha en la región cir-

cumcaribea. El reconocimiento de un ambiente geológico de tipo maárico en Pueblo Viejo, y la identificación de otros depósitos en ambientes similares en otras áreas (Santa Rosa y Río Chiquito) indican que los cráteres maáricos son receptores importantes para los depósitos de oro de gran tonelaje en la región del Caribe. Depósitos similares han sido descritos en los arcos de islas del Pacífico Occidental (Sillitoe, 1988), Chile y el oeste de los Estados Unidos (Sillitoe & Bonham, 1984).

Algunos cráteres maáricos tienen varios kilómetros de diámetro y están rodeados por brechas masivas. Estas brechas por lo general presentan clastos líticos subredondeados y alterados además de fragmentos ocasionales de pómez, todos pobremente seleccionados y soportados por una matriz tobácea barrosa. Además poseen características comunes con rocas sedimentarias tales como estratificación y estratificación cruzada lo que ocasionalmente crea confusión. Las erupciones maáricas han sido descritas por Cas &

Wright (1987) y su relación con la mineralización ha sido enfatizada por Sillitoe & Bonham (1984) y por Baker et al. (1986). Las figuras 2, 4 y 8 muestran brechas de erupciones maáricas provenientes de Pueblo Viejo y Santa Rosa en la región del Caribe y del depósito McLaughlin en California.

La figura 9 muestra un perfil esquemático de un cráter de erupción maárica que contiene en su interior un depósito epitermal. Este esquema hace énfasis en las características más importantes de depósitos como Pueblo Viejo y Santa Rosa que son los típicos sistemas de "stockworks" epitermales de poca profundidad formados en cráteres de erupciones maáricas dentro de secuencias volcánicas andesíticas de arco de islas. Los cráteres maáricos de Pueblo Viejo y de Santa Rosa están rellenos de sedimentos carbonosos finamente laminados, depositados en un ambiente marino somero, los cuales contienen la mayor parte de la mena. Las figuras 3 y 5 muestran porciones representativas de estos sedimentos.

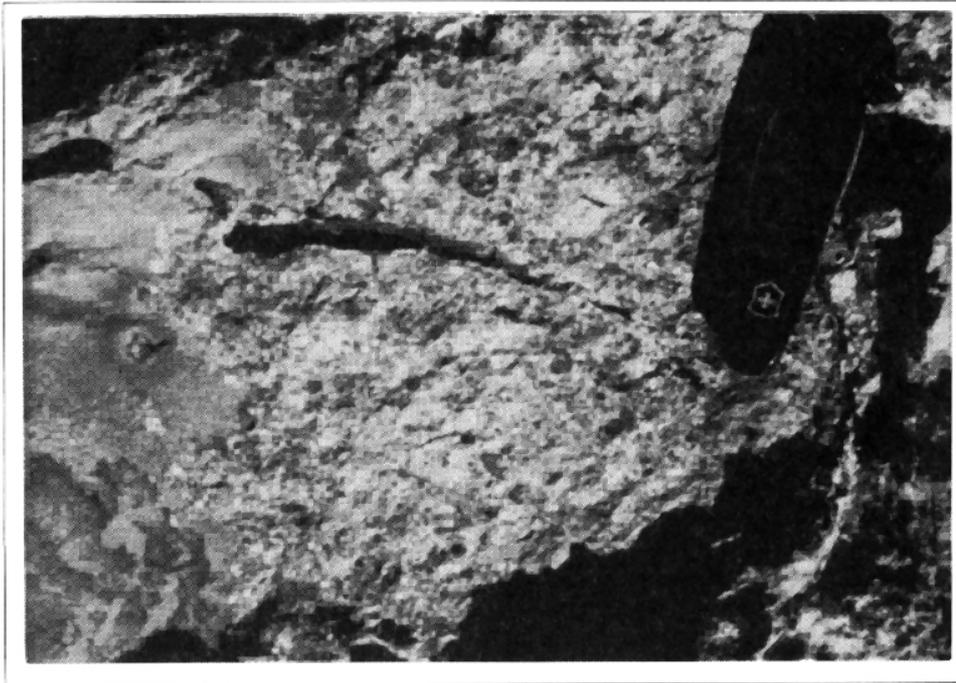


Fig. 8: Brecha maárica del depósito McLaughlin.

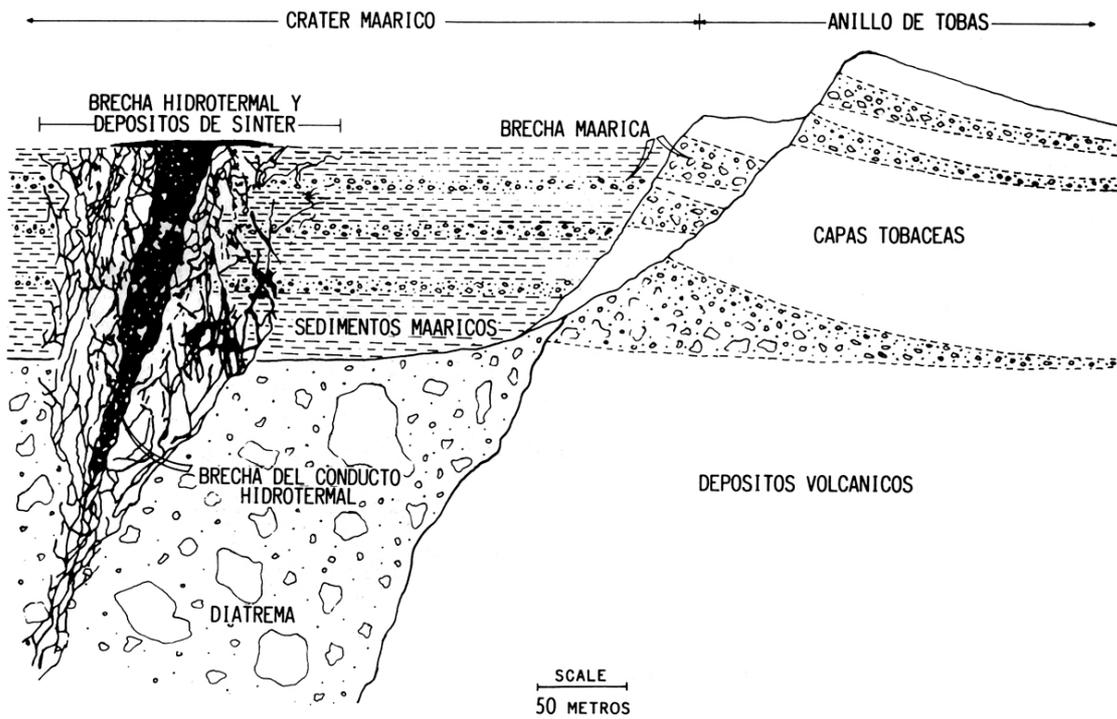


Fig. 9: Perfil esquemático de un cráter maórico y los "stockworks" superficiales.

Una característica importante de los yacimientos de "stockworks" epitermales de poca profundidad es la presencia de brechas hidrotermales que se formaron a lo largo del conducto hidrotermal. Los conductos de la erupción hidrotermal proporcionaron canales para los fluidos mineralizantes y típicamente contienen menas de alta ley. Las figuras 6 y 7 muestran ejemplos de este tipo de brechas provenientes de Santa Rosa y McLaughlin. El papel de las brechas hidrotermales en el desarrollo de depósitos epitermales poco profundos de oro es discutido por Nelson & Giles (1985) y por Nelson (1988).

GEOQUIMICA

Un total de 291 muestras fueron recolectadas en los 8 diferentes depósitos que se enlistan en el

cuadro 1. Las muestras incluyen rocas caja con diferentes grados de alteración (sin alterar, propilítica, argílica, sericítica, silícea, feldespática), sinter, brechas hidrotermales, vetas y enjambres de vetillas (stockworks). El conjunto de las muestras es representativo de los diferentes tipos de alteración y de la variabilidad geoquímica de cada depósito.

Como protección contra la contaminación analítica se incluyeron junto con las muestras, doce fracciones de una muestra estándar que fueron previamente reenumeradas al azar. Cada muestra fue quebrada a menos de un cuarto de pulgada y posteriormente cuarteada a una fracción de aproximadamente 500 g para por último ser pulverizada usando discos de cerámica. Las muestras fueron analizadas mediante absorción atómica por Chemex Labs, Inc. utilizando un



Fig. 7: Brecha hidrotermal del depósito McLaughlin.

procedimiento de ensayo al fuego para el oro, corrección de fondo para la plata y el antimonio y extracción de vapor en frío para el mercurio. Los resultados se muestran en el cuadro 2, en el que también se proporcionan los rangos analíticos para las muestras recogidas en cada depósito. Se incluye además una lista de los valores promedio de las muestras de mena (contenido de oro mayor de 0,5 ppm y/o valores de plata sobre 50 ppm). En el futuro estas muestras podrían ser analizadas para otros elementos adicionales.

La información presentada en el cuadro 2 muestra que tanto Ag como As, Hg y Sb son

anómalos en los depósitos de alto tonelaje en la región del Caribe, oscilando los valores promedio para la plata entre 5 ppm en Santa Clara y 142 ppm en Río Chiquito. Los valores de arsénico y antimonio son los más bajos en Bellavista, un "stockwork" tipo bonanza y los más altos en Santa Clara, un "stockwork" epitermal superficial mientras que los valores de antimonio más altos se detectaron en Río Chiquito, otro "stockwork" epitermal poco profundo.

Las proporciones plata a oro varían notablemente entre los depósitos, oscilando entre 2,1 en Bellavista y 26 en Río Chiquito. Ambos depósi-

Cuadro 2
VALORES DE ORO, PLATA, ARSENICO, MERCURIO Y ANTIMONIO
EN LOS DEPOSITOS PRECIOSOS DE GRAN TONELAJE
DE LA REGION DEL CIRCUMCARIBE

Depósito	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Sb (ppm)	Ag/Au
Pueblo Viejo, República Dominicana						
Promedio (29)	3,0	32	795	25,8	72	10
Rango (68)	11,0	18 240	22 000	350,0	980	
Bellavista, Costa Rica						
Promedio (25)	10,8	23	35	0,6	9	2,1
Rango (40)	60,1	298	100	5,0	50	
Santa Rosa, Panamá						
Promedio (22)	5,839	747	0,6	16	6,6	
Rango (42)	48,4	435	10000	10,0	120	
Abangares (El Recio y San Martín), Costa Rica						
Promedio (19)	5,5	20	208	1,4	36	3,7
Rango (40)	37,9	83	630	8,4	1000	
Santa Clara, Costa Rica						
Promedio (15)	2,2	5	4314	52,2	167	2,2
Rango (26)	4,6	20	32000	450,0	1200	
San Andrés, Honduras						
Promedio (29)	2,8	14	169	3,4	8	4,8
Rango (47)	13,3	88	800	54,0	55	
Río Chiquito, Costa Rica						
Promedio (21)	5,4	142	1360	5,0	208	26
Rango (28)	47,0	1361	5000	30,0	570	
Pueblo Viejo, República Dominicana						
Promedio (12)	3,2	29	68	25,7	30	
Desv. Estandard	4	2	14	8,2	4	

Nota: los números entre paréntesis indican que en el caso de los valores promedio se contabilizaron únicamente las muestras mineralizadas (con contenidos de oro y plata superiores a 0.5 ppm y 50 ppm respectivamente) mientras que para los rangos se tomaron en cuenta todas las muestras recolectadas en cada depósito.

tos se encuentran en Costa Rica, donde el basamento se considera como de tipo oceánico por lo que al parecer no existe una tendencia regional en la variación de la proporción plata a oro, al menos para los depósitos de gran tonelaje.

Se puede llegar a una diferente conclusión si se dejan de lado los "stockworks" epitermales superficiales, estudiando únicamente los sistemas de vetas tipo bonanza. El cuadro 3 muestra las proporciones plata a oro de los once depósitos de metales preciosos tipo bonanza de la región circumcaribea. Las vetas de bonanza y los sistemas de enjambre que ocurren en áreas subyacidas por corteza continental tienen proporciones de plata a oro mayores que aquellos subyacidos por corteza de tipo oceánico. Esta relación, primeramente observada por Kesler (1978), proporciona evidencias de que la composición del basamento cortical influye en la composición de los fluidos epitermales.

Aparentemente no hay gran diferencia en el tamaño de los depósitos epitermales de metales

preciosos de Guatemala, El Salvador y Honduras (subyacidos por corteza continental) comparados con los de Costa Rica, Panamá y las Antillas orientales (subyacidos por corteza oceánica). Sillitoe (1988) llegó a una conclusión similar para los arcos de islas de Pacífico occidental.

CONCLUSIONES

Los ocho depósitos de gran tonelaje descubiertos hasta la fecha en la región circumcaribea contienen más de 600 toneladas de oro. Más del 90 por ciento de estas reservas se encuentran en cráteres maáricos y están asociadas con "stockworks" epitermales superficiales. Aún cuando Pueblo Viejo es el mayor de los depósitos auríferos en la región del Caribe, algunos descubrimientos recientes como Santa Rosa y Río Chiquito indican que su marco tectónico no es único.

Cuadro 3
VALORES DE ORO, PLATA, ARSENICO, MERCURIO Y ANTIMONIO EN
LOS DEPOSITOS DE METALES PRECIOSOS DEL TIPO BONANZA
EN LA REGION DEL CIRCUMCARIBE

Depósito:	Guatemala, El Salvador y Honduras (subyacidos por corteza continental)					
	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Sb (ppm)	Ag/Au
San Pantaleon, Guatemala Promedio (14)	0,5	1952	15279	4,2	1467	3698
Rosario, Honduras Promedio (17)	7,5	1007	95	0,8	41	134
Yuscarán, Honduras Promedio (14)	5,2	643	77	0,6	46	124
Divisadero, El Salvador Promedio (8)	0,8	57	130	0,1	178	68
Moramulca, Honduras Promedio (6)	1,4	130	26	0,9	8	90

Costa Rica, Panamá y las Antillas Orientales
(subyacidos por corteza oceánica)

Depósito:	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)	Sb (ppm)	Ag/Au
Abangares, Costa Rica Promedio (19)	5,5	20	208	1,4	36	3,7
Bellavista, Costa Rica Promedio (25)	10,8	23	35	0,6	9	2,1
Remance, Panamá Promedio (18)	12,3	21	487	3,1	9	1,7
Moncada, Costa Rica Promedio (10)	80,1	19	86	0,04	6	0,2
Guacimal, Costa Rica Promedio (4)	2,2	45	74	0,01	6	21
Restauración, República Dominicana Promedio (6)	1,1	21	578	3,2	29	19

Nota: los números entre paréntesis indican que para los valores promedio se contabilizaron únicamente las muestras mineralizadas (con contenidos de oro y plata superiores a 0,5 ppm y 50 ppm respectivamente).

Los esfuerzos exploratorios de la región se han concentrado, naturalmente, en aquellos distritos con producciones históricas documentadas. La exploración de los distritos de bonanzas ha llevado al descubrimiento de varios depósitos de gran tonelaje como lo son Bellavista, El Recio y San Martín. Sin embargo, fuera de los distritos de bonanza, se han descubiertos depósitos de mayor tamaño, en sistemas de "stockworks" epitermales de poca profundidad dentro de cráteres de erupciones maáricas. Pueblo Viejo, con más de 570 toneladas de oro extraídas o en reservas probadas, demuestra el tamaño potencial de este tipo de depósitos. Es por esto que la búsqueda de yacimientos auríferos de gran tonelaje en la región del Caribe, debería de concentrarse en los cráteres maáricos y en los "stockworks" auríferos epitermales asociados.

Como herramientas exploratorias regionales, derivadas de las descripciones geológicas antes proporcionadas, se incluyen: el estudio de las secuencias volcánicas basales de los arcos insulares (Formación Los Ranchos, Grupo Aguacate, For-

mación Cañazas, Formación Matagalpa), la identificación de cráteres maáricos y el reconocimiento de zonas con extensa alteración arcillosa. Como herramientas exploratorias de tipo local se indican: el sinter, las brechas de conductos hidrotermales y los sedimentos carbonosos maáricos finamente laminados. El arsénico, el antimonio, el mercurio y la plata asociados pueden ser anómalos pero pueden variar notablemente tal y como lo indica el cuadro 2.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen toda la cooperación brindada por el personal de las minas y a los dueños corporativos de los depósitos mencionados en el cuadro 1. El reconocimiento de los depósitos epitermales de metales preciosos en la región del Caribe se llevó a cabo mientras el primer autor gozaba de una beca Fulbright para investigación docente en asocio con la Universidad de Costa Rica. Los análisis químicos fueron ejecutados por los laboratorios Chemex Inc. y fueron

financiados con contribuciones de Homestake Mining Company y de Freeport Exploration Inc. El manuscrito en inglés fue mejorado gracias a la revisión oportuna de Jeffrey Hedenquist, Jay Hodgson y Steven Kesler. Se agradecen las recomendaciones del Dr. Siegfried Kussmaul y del Dr. Alfonso Monge quienes amablemente revisaron el manuscrito en español.

REFERENCIAS

- ALAN, M. A., ARAUZ, A. J. & COATES, T., 1987: The Bellavista-Montezuma project. - Unpubl. field trip guide; 4 págs.
- BALER, E. M., KIRWIN, D. J. & TAYLOR, R. G., 1986: Hydrothermal breccia pipes. - 45 págs. James Cook Univ. of North Queensland, Economic Geology Research Unit, Contribution No. 12.
- CAS, R. A. F. & WRIGHT, J. V., 1987: Volcanic successions - modern and ancient. 528 págs. Allen and Quinn, London.
- CHAVEZ R. & SAENZ R., 1974: Geología de la Cordillera de Tilarán. - 49 págs. Dir. de Geología, Minas y Petróleo, San José.
- CUMMING, G. L., KESLER, S. E. & KRSTIC, D., 1982: Source of lead in sulfide ore at the Pueblo Viejo gold-silver oxide deposit, Dominican Republic. - *Econ Geol.*, 77: 1939-1942.
- DONNELLY, T. W. & ROGERS, J. J. W., 1981: Igneous series in island arcs: The northeastern Caribbean compared with worldwide island arc assemblages. - *Bull. Volcanol.*, 43: 347-382.
- GOFF, F., GOFF, S., HEIKEN, G., DUFFIELD, W. A., TRUESDELL, A. H., LAUGHLIN, A. W. & FLORES, W., 1989: Prefeasibility geothermal assessment of Platanares, Department of Copan, Honduras. - (abs.) Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Council Symposium on Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region, San José, Costa Rica.
- HUBER, D. F., PAGE, N. J., HOWE, S. S. & SOLANO, C., 1987: Mines, prospects and mineral occurrences in Costa Rica. - *U. S. Geol. Surv. Misc. Inv. Ser. Map I - 1865*: 18-33.
- Kesler, S. E., 1978: Metallogensis of the Caribbean Region. - *Jour. Geol. Soc. London*, 135: 429-441.
- KESLER, S. E., RUSSELL, N., SEAWARD, M., RIVERA, J., MCCURDY, K., CUMMING, G. L. & SUTTER, J. F., 1981: Geology and geochemistry of sulfide mineralization underlying the Pueblo Viejo gold-silver oxide deposit, Dominican Republic. - *Econ. Geol.*, 76: 1096-1117.
- KESLER, S. E., MUNTEAN, J. L. & RUSSELL, N., 1988. Spatial and temporal zoning of acid-sulfate ore and alteration, Pueblo Viejo Au-Ag deposit Dominican Republic. - *Geol. Soc. of Aust. Abs Series*, 22: 173-176.
- KETTLER, R. M., KESLER, S. E., MEYERS, P. A., RUSSELL, N. & POLANCO, J., 1987: Precious metal mineralization by sulfidation of ferrous iron and organic matter in the Moore gold-silver deposit, Pueblo Viejo, Dominican Republic. - *Geol. Soc. Amer. Abs. with Progs.*, v. 197: 726.
- NELSON, C. E., 1988: Gold deposits in the hot spring environment. - *En*: R. W. Schafer, J. J. Cooper & P. G. Vikre (Eds): Bulk mineable precious metal deposits of the western United States. *Geol. Soc. Nevada Symposium Proceedings*: 417-432.
- PROCHNAU, J., 1988: Report on the Macacona mine property, Puntarenas Province, Costa Rica. - 16 págs., informe inédito para la Minera Macacona S.A.
- RUSSELL, N., SEAWARD, M., RIVERA, J. A., MCCURDY, K., KESLER, S. E. & CLOKE, P. L., 1981: Geology and geochemistry of the Pueblo Viejo gold-silver oxide ore deposit, Dominican Republic. - *Trans. Inst. Min. and Metall. (Sect. B Appl. Earth Sci.)*, 90: 153-162.
- RUSSELL, N., POLANCO, J. & KESLER, S. E., 1986: Geology of the Monte Negro gold-silver deposit, Pueblo Viejo district, Dominican Republic. - *Gold '86 Symposium Proceedings*: 497-503.
- SCHULTZ, K., KOEPPEN, R., LUDINGTON, S., KUSSMAUL, S. & GRAY, K., 1987: Volcanological framework for the gold deposits in the Cordillera de Tilaran and Montes del Aguacate, Costa Rica. - *U. S. Geol. Surv. Misc. Inv. Ser. Map I-1865*: 34-43.

- SILLITOE, R. H., 1988. Environments, styles and origins of gold deposits in western Pacific island arcs. - *En*: A. D. T. Goode and L. I. Bosma (Eds.), *Bicentennial Gold 88*. Geol. Soc. Australia Abs. Ser., 22: 127-138.
- SILLITOE, R. H. & BONHAM, H. F., JR., 1984: Volcanic landforms and ore deposits. - *Economic Geol.*, 79: 1286-1298.
- TIPPETT, M. C. & TREVER, P. F., 1989: The isthmus of Panama - a forgotten El Dorado. - *Soc. of Min. Eng. preprint*, 89-56: 5 págs.
- WARD, M. B., 1989: The geology of the Santa Rosa deposit, Veraguas, Panama. - (abs) *Symposium on Energy and Mineral Potential of the Circum-Caribbean Region*, San Jose, Costa Rica.
- WLEKLINSKI, S., 1969: Gold deposits of northern Veraguas, Republic of Panama. - 113 págs. *United Nations Devel. Prog. Mineral Survey of the Azuero area*, vol. 1.