

EL ORO EN LA CORDILLERA SURORIENTAL DEL PERU: EL PLACER
FLUVIOGLACIAL DE SAN ANTONIO DE POTO (DEPARTAMENTO
DE PUNO) Y SUS RELACIONES CON LA MINERALIZACION
PRIMARIA DE LA RINCONADA

Michel Fornari *
Gérard Herail **
Gérard Laubacher *

* ORSTOM, La Mariscala 115, Lima 27, Perú y 24, rue Bayard, 75008, París

** Institut de Géographie Daniel Faucher, Université Toulouse Le Mirail 31058
TOULOUSE Cedex, Francia.

RESUMEN

En el área de La Rinconada, el oro se encuentra en niveles sulfurados (pirita y arsenopirita) y mantos de cuarzo ahumado, ambos intercalados en los esquistos y cuarcitas de la formación Ananea de edad siluro-devónica. Dichas ocurrencias se relacionan a un hidrotermalismo sinsedimentario submarino; son las fuentes del oro detrítico del placer cuaternario de San Antonio de Poto. El oro fue arrastrado del substrato por la acción de los heleros cuaternarios y más luego concentrado por procesos variados de los cuales, la acción del agua y otros fenómenos climáticos han jugado un papel primordial. La composición y las características morfológicas de las partículas de oro evolucionan en función del ambiente y de la distancia del transporte.

ABSTRACT

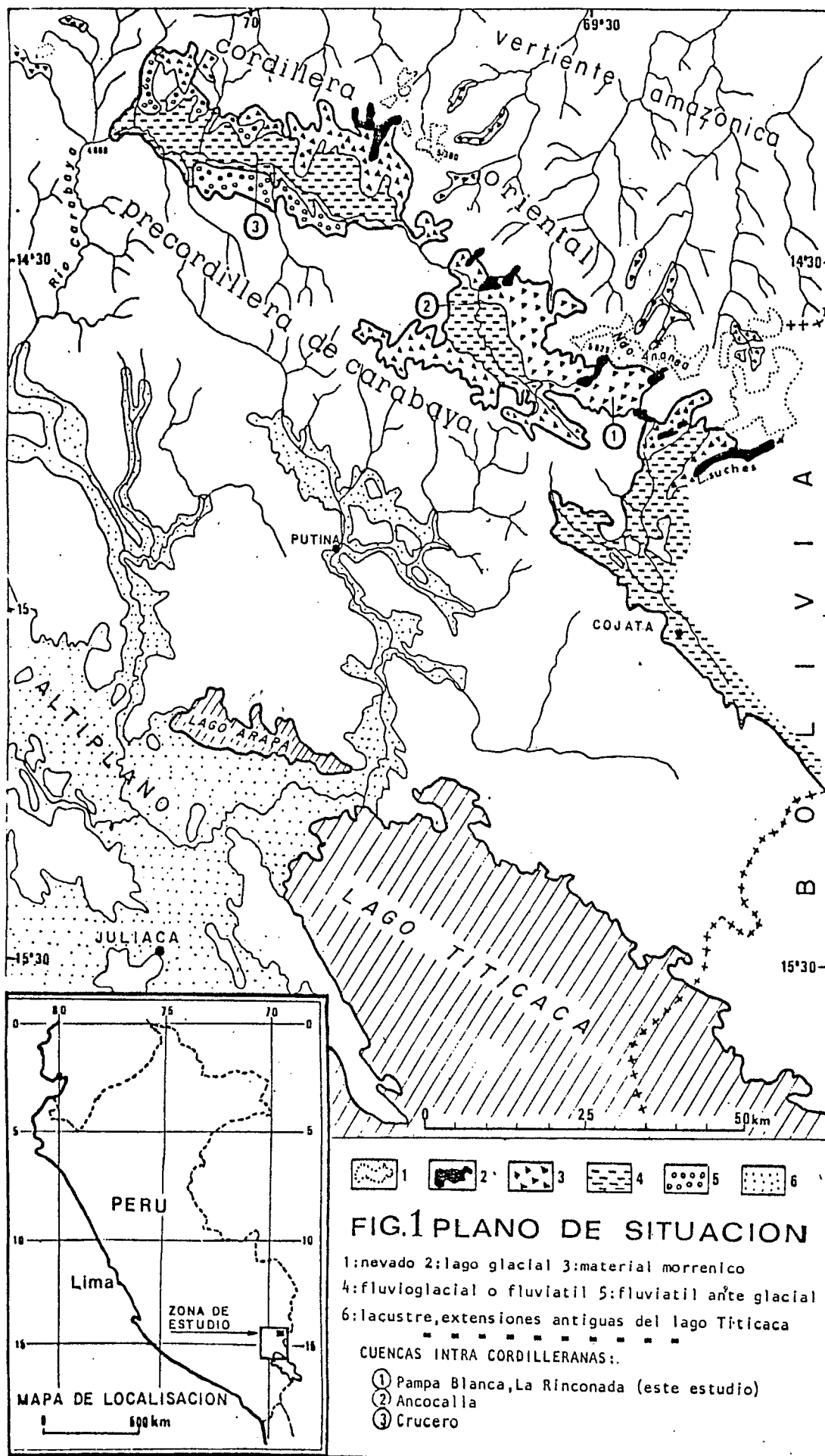
In the area of La Rinconada gold occurs associated as well to stratabounded sulphide ores (essentially pyrite and arsenopyrite) that in grey-blue quartz layered "mantos", intercalated into slates and quartzites of the Ananea formation (Siluro-Devonian) and related to a sinsedimentary submarine hydrothermal activity. This primary gold occurrences are the sources of the neighbour quaternary fluvio-glacial gold placer - from San Antonio de Poto. The study of the plio-quaternary geomorphological evolution combined with a sampling of the formations emphasize the importance of the geomorphological history for the supergene gold concentration processes in glacial and interglacial ambients.

INTRODUCCION

El área aurífera de San Antonio de Poto-La Rinconada (Provincia de Sandia, Departamento de Puno) se ubica a unos 70 km al N del Lago Titicaca en la vertiente SW de la Cordillera Oriental. El acceso se realiza por carretera desde Juliaca, distante de Ananea a unos 150 km (fig. 1).

La zona de La Rinconada queda al Sur de la divisoria, entre 4900 y 5200 m de altura, al pie de los heleros del Macizo de Ananea (5830 m). El oro se encuentra en "mantos" de cuarzo ahumado, estratificados en los esquistos y cuarcitas del Paleozoico inferior, y se explota artesanalmente en las minas de Ana María, Tres Amigos y Gavilán de Oro. La producción de los mantos se estima en un kilo de oro por mes.

El placer de San Antonio de Poto (localidad conocida también bajo el nombre de Ananea) se extiende al Sur de la zona mineralizada con mantos. Está constituido por material glacial derivado del Paleozoico inferior arrastrado por los heleros del Macizo de Ananea hacia la cuenca intramontañosa de Ananea-Ancocala ubicada entre el filo



de la Cordillera y la Precordillera de Carabaya. Los placeres parecen haber sido trabajados artesanalmente en la época precolombina; la extracción prosiguió después de la Conquista antes de ser poco a poco abandonada, probablemente por la creciente de glaciares de la Pequeña Edad Glacial. De 1929 hasta 1937, la Sociedad Aurífera de San Antonio de Poto explotó el yacimiento con monitores. Después de 1960 a 1972, la NATOMAS COMPANY OF PERU produjo de 300 a 350 kg de oro por año mediante una draga trabajando en Pampa Blanca. Hace poco, la compañía estatal MINEROPERU, reinició los trabajos con una planta de concentración piloto con capacidad de 1000 t/día. Esta es alimentada por la morrena del Cerro San Antonio mediante monitores, pero las disponibilidades de agua limitan la extracción. Conjuntamente sigue la explotación artesanal que produce de 1 a 2 kg de oro por mes.

1. EL ORO PRIMARIO DE LA RINCONADA

1.1 La estructura geológica local (fig. 2)

Las estructuras tectónicas resaltantes de la región se deben a la tectónica eohercínica (LAUBACHER, 1978) que se produjo en el Devónico terminal o en el Carbonífero basal. En La Rinconada distinguimos 2 grandes unidades estructurales: una de "flanco normal" y otra de "escamas y de flanco inverso".

1.1.1 La "unidad de flanco normal"

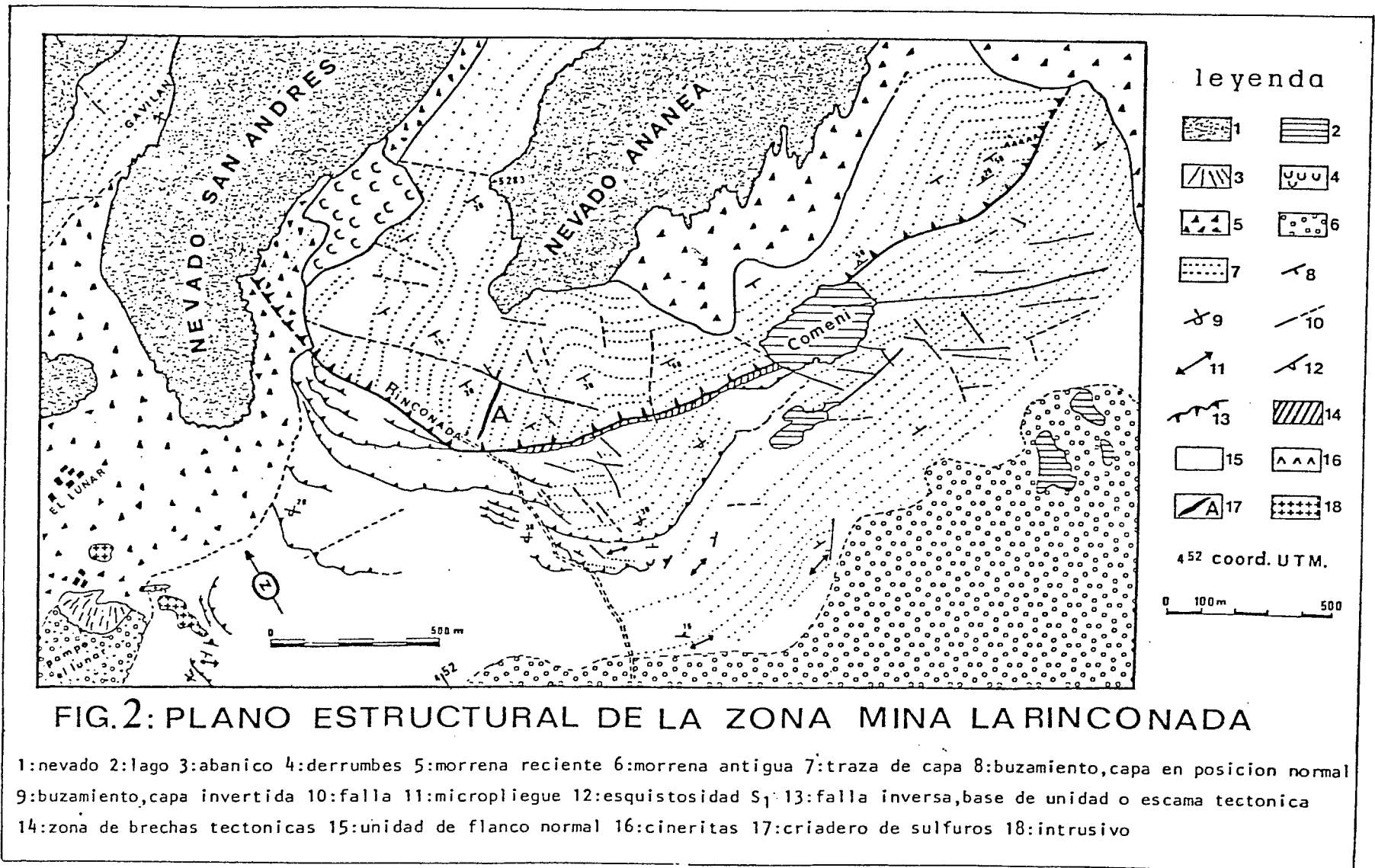
Es un conjunto casi homoclinal de capas, con repliegues y ondulaciones decamétricas, que buza en promedio de 25° hacia el Sur. La potencia total de los estratos del flanco normal alcanza 1000 m. Las capas están afectadas por una esquistosidad (S_1) bien desarrollada de rumbo general EW y buzamiento de 10 a 30° hacia el N. Las relaciones esquistosidad/estratificación y la polaridad de las capas implican un echamiento de las estructuras hacia el S.

La unidad de flanco normal está recortada en su base por una falla inversa con buzamiento leve en la parte oeste, y más fuerte en la parte este (lago Comeni). El contacto se marca por una faja compleja de brechas tectónicas de varios metros de espesor.

1.1.2 La "unidad de escamas y de flanco inverso"

Las escamas forman apilamientos potentes de una a varias decenas de metros, en posición normal o inversa y separados entre sí por contactos tectónicos cizallantes de buzamiento leve. Algunos de estos contactos están inyectados con cuarzo blanco en forma de "peces" lenticulares. Las escamas forman una suela bajo la unidad de flanco normal, y más abajo, las capas se encuentran en posición inversa con algunos repliegues menores. Dichas capas se unen probablemente al flanco inverso del gran anticlinal acostado que aflora más al SW en la banda derecha de la laguna Rinconada.

Las estructuras quebrantes posteriores al plegamiento principal son fallas con buzamiento generalmente fuerte; en el yacimiento los desplazamientos son relativamente débiles. Las direcciones Norte-Sur (N000 a N020) y Noroeste-Sureste (N130 a N140) son las más frecuentes. Algunas de estas fallas, particularmente las que recortan el contacto anormal cerca al lago Comeni, parecen haber actuado como fallas de rumbo.



1.2 Los terrenos encajonantes

1.2.1 La formación Ananea

Los mantos están emplazados en la formación Ananea (Siluro-Devoniano, LAUBACHER, 1978) constituida por un monótono conjunto arenoso y pelítico de varios miles de metros de potencia afectado por un metamorfismo regional leve de tipo epizonal. Corresponde al relleno de la cuenca de sedimentación, establecida sobre el substrato precámbrico entre el Macizo de Arequipa al W y el escudo brasileño al E. La granulometría es fina y relativamente homogénea; hay laminaciones oblicuas, ripple-marks y figuras de carga indicando que la plataforma continental profundizaba hacia el este.

La serie consta de capas de areniscas finas cuarzosas alternando con esquistos negros mostrando repeticiones según una organización secuencial progradacional. En la unidad de flanco normal se pueden definir dos megasecuencias terminándose cada una por un paquete de areniscas cuarzosas de unos veinte metros de potencia. Las cuarcitas y las areniscas cuarzosas de granulometría fina (200 a 400 μ) constan de cuarzo detrítico, de plagioclasas (< de 5%), de muscovita heredada a veces flexionada. Hay zircons muy desgastados (40 a 50 μ) y un poco de turmalina verde o marrón. La matriz se compone de cuarzo y de sericita (5 a 10 μ) finamente mezclados. Cuando los granos de cuarzo detrítico son pocos dentro de la matriz, no muestran trazas de recristalización; al contrario, si la proporción de cuarzo es muy elevada hay recristalización y la roca adquiere una textura engranada. La matriz tiene siempre una textura engranada lo que nos conduce a distinguir cuarcitas s.s. con granos juntos y engranados y areniscas cuarcíticas con granos no recristalizados aislados dentro de una matriz cuarcítica fina.

El material pelítico dio esquistos negros formando en general niveles delgados con mucha muscovita (40 a 50 μ) a veces cloritizada dentro de una matriz de sericita y cuarzo finamente cristalizado (2 a 10 μ). Contienen también zircons redondeados y turmalinas (dichos zircons forman una gran proporción de los minerales pesados del material glacial de San Antonio de Poto). Algunos niveles parecen contener materia carbonosa (grafito?).

La serie comprende también esquistos arenosos. Se trata de una facie intermedia entre las areniscas cuarcíticas y los esquistos negros. Constan de una proporción variable de cuarzo detrítico y de plagioclasa (50 a 150 μ) en una matriz esquistosa fina. Muestran una ritmicidad irregular debida a la alternancia de niveles arenosos y esquistosos.

Hay niveles cineríticos de granulometría fina y de color gris-claro, interstratificados en el conjunto esquisto-arenoso de la parte E de la unidad de flanco normal; tienen un espesor variando de unos centímetros hasta un metro. Se trata de material redepositado fisurado con playas irregulares de clorita alternando con areniscas.

Todas estas facies presentan impregnaciones de sulfuros (pirita y arsenopirita) sea de granos finos en manchas milimétricas a centimétricas, sea en cristales milimétricos eudrales (ver interpretación en 1.3.2).

1.2.2 Las rocas intrusivas

Hay grandes afloramientos de leucogranito con muscovita a pocos kilómetros al este y norte de la mina (Cerro Condoriquiña) y es posible que aflore también bajo el

Macizo de Ananea. Sus bordes son ortogneisificados y los minerales de metamorfismo de contacto (grandes andalucitas, estaurolitas y cordieritas) están afectados por la esquistosidad S_1 . Su emplazamiento es, pues, anterior a la tectónica eohercínica como lo es el granito sintectónico de San Gabán (LAUBACHER, 1978).

Se observó también un intrusivo en hoja de composición tonalítica fuertemente alterada (cloritizada y sericitizada) y emplazado paralelamente a la estratificación (Lunar y lago Rinconada). Este tipo de intrusivo no está presente en la unidad de flanco normal.

1.3 La mineralización

1.3.1 Los mantos

Son "vetas-capas" de cuarzo gris-azul, delgadas (algunos centímetros hasta 20 cm) y de gran extensión (varios centenares de metros) que existen en toda la unidad de flanco normal. Actualmente se han reconocido 19 mantos principales; el manto "Esperanza" se explotó a lo largo de 400 m en dirección y 100 m en buzamiento. No parece haber relación entre su emplazamiento y el ambiente deposicional: no están ligados ni a una facie particular ni a una interrupción entre las secuencias de la formación Ananea. Muestran tendencia a ubicarse en la parte mediana de las secuencias, por debajo de las capas cuarcíticas pero no sistemáticamente. A veces engloban relictos de la roca encajonante. Las salbandas muestran a veces estrías de un emplazamiento capa sobre capa, aunque en general hay un paso gradual al techo y al piso por intermedio de una capa milimétrica de cuarzo y clorita. Los mantos son sub-paralelos con la estratificación y tienen un buzamiento promedio de 15 a 25° hacia el SW. La tectónica eohercínica los afecta conjuntamente como se puede ver cerca del lago Comini donde capas y mantos se encuentran verticalizados en el flanco de un anticlinal.

Relaciones con la esquistosidad: a escala del microscopio se observa bien como la esquistosidad de flujo de la roca encajonante se refracta en el manto de cuarzo. - Este cuarzo se constituye de grandes cristales formando fajas alargadas con extinción ondulante, recrystalizados en sus bordes como un conjunto de pequeños granos fuertemente engranados (granulación). El manto contiene también algunos opacos, clorita y limonita orientados en el plan de la esquistosidad afectando el manto de cuarzo.

Un nivel de 20 cm con impregnación de arsenopirita ubicado al piso de un manto, - contiene cristales de arsenopirita bordeados por estructuras de tipo "pressure shadows" con recrystalización de cuarzo y filitas concordantes con la esquistosidad de la roca. Estas observaciones indican que los mantos y la impregnación de sulfuros de la roca encajonante se emplazaron anteriormente a la formación de la esquistosidad y por lo tanto a la tectónica eohercínica.

Los mantos constan de cuarzo gris-ahumado a gris-azulado con un brillo grasoso. - Accesoriamente, contienen pirita, arsenopirita, clorita y oro. La ley promedio del oro es de 10 a 20 g/t; sin embargo, su repartición es muy errática y pueden ocurrir en bolsionadas de oro macizo del tamaño del puño. En general, el oro forma fajas milimétricas entre los granos de cuarzo. A veces se presenta como una película a lo largo de la salbanda en asociación con clorita; más raramente se observaron granos de menos de 0,5 mm aislados en el material encajonante a pocos centímetros de la salbanda. Los datos disponibles sobre la granulometría y la repartición del oro en el cuarzo son to-

davía fragmentarios.

El análisis de cuatro granos de oro aislados de la salbanda de un manto de cuarzo mostró la presencia de ciertos elementos aleados al oro (plata, bismuto, arsénico, fierro,.....). La fineza de estas partículas varía de 870 a 900 milésimos aproximadamente.

1.3.2 El criadero de sulfuros

El criadero de sulfuros se presenta como una capa heterogénea de 1 a 2 m de potencia total, aflorando sobre más de 300 m con un rumbo de N120E y con un buzamiento variando de 20° a 30° hacia el SW. Al piso del criadero hay una capa de cuarcita de 15 m de potencia con características mineralógicas y texturales idénticas a las otras cuarcitas de la formación Ananea. En el techo hay esquistos finos recortados por una red de pequeñas fisuras con pirita, pasando hacia arriba a una arenisca cuarcítica fina de casi 2 m de espesor. Este nivel contiene en abundancia pirita diseminada y muestra también fisuras y venillas con relleno de cuarzo, pirita y arsenopirita. En la capa de sulfuros se distinguen macroscópicamente tres facies superpuestas (fig. 3) :

- la facie "Piso": se trata de esquistos negros, más o menos arenosos, y de aspecto brechoso. Los esquistos forman fragmentos ovoides y flexuosos, de varios centímetros de largo, y son separados entre ellos por niveles centimétricos a milimétricos de pirita y arsenopirita. La pirita está finamente cristalizada y la arsenopirita constituye agujas milimétricas. Hay también lentejones de esquistos negros fuertemente impregnados por pirita y arsenopirita.
- la facie "Maciza": el constituyente principal de la roca es la arsenopirita en cristales euedrales milimétricos, cementados por clorita. Además contiene una leve proporción (10%) de cuarzo y muscovita de origen detrítico. Dentro de esta facie maciza se notan: en la base, numerosos lentejones centimétricos negros de esquistos cloríticos; en la parte mediana, "ojos" ovoides de arsenopirita finamente recrystalizados que podrían ser restos de material mal recrystalizado y también pequeñas playas de cuarzo blanco. En la parte superior, de poco espesor, los cristales de arsenopirita automorfos y la presencia de cuarzo indican un grado elevado de recrystalización.
- la facie "Techo": presenta las mismas características que la facie "Piso" salvo que la arsenopirita es más abundante.

Estas diferentes facies se organizan según niveles lenticulares de gran extensión paralelos a las capas. Al piso del criadero, la pirita en impregnación es el sulfuro más abundante. En la facie "Techo" aparece de manera sistemática la arsenopirita cuya proporción va aumentando hacia el centro de la capa mineralizada donde es el constituyente principal de la roca. En la facie "Techo" domina de nuevo la pirita y su proporción va disminuyendo alejándose del techo de la capa. Esta zonalidad de la mineralización subraya una variación de la composición de los fluidos mineralizadores: al principio llevan pirita, luego se enriquecen en arsénico y más luego presentan de nuevo una composición vecina de la composición inicial con pirita dominante.

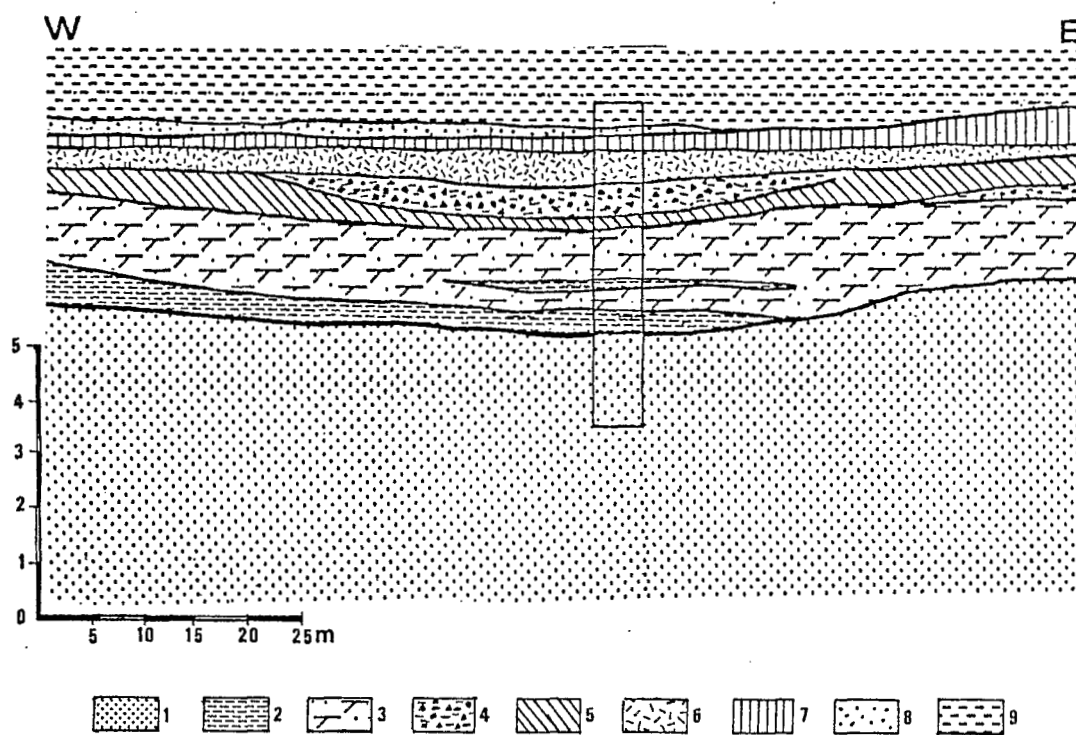


FIG.3 DISPOSICION EN UN CORTE VERTICAL DE LOS VARIOS FACIES DEL CRIADERO DE SULFUROS.

1:cuarcitas del piso, 2:esquistos negros, 3:areniscas con pirita, 4:esquistos sulfurados
5:facies "piso", 6:facies "masivo", 7:facies "techo", 8:areniscas finas, 9:esquistos areniscosos.

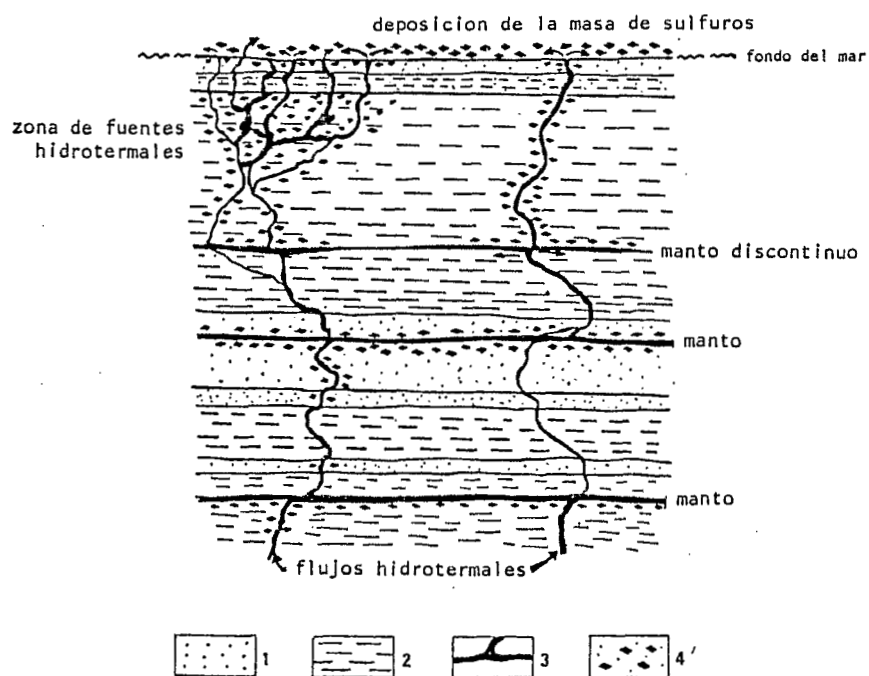


FIG. 4 RELACIONES ENTRE FILONES, MANTOS (VETAS-CAPAS) Y CRIADERO DE SULFUROS.

1:cuarcitas, 2:esquistos (columna litologica esquematica)
3:cuarzo gris-azulado (aurifero), 4:impregnacion de sulfuros en las capas.

Repartición de los sulfuros a proximidad del criadero

En toda la unidad de "flanco normal" existen venillas de cuarzo y sulfuros rellenando un complejo sistema de microfracturas. Macroscópicamente la paragénesis es comparable a la de los mantos: hay cuarzo dominante con arsenopirita, pirita y clorita. Se nota un enriquecimiento por impregnación de la roca a partir de las venillas que recortan las capas. En el borde de estas venillas se desarrollan a veces cristales eudrales de arsenopirita y pirita de hasta 1 cm de largo. Localmente, las venillas son tan densas que constituyen una facie particular en las rocas atravesadas; así en la capa de cuarcita del piso, numerosas venillas de cuarzo forman una red anastomosada con, a veces, bolsonadas de cuarzo gris-azulado. La misma cuarcita sufrió una fuerte alteración hidrotermal subrayada por la corrosión de los granos de cuarzo detrítico y el desarrollo de abundantes cristales de clorita y de sulfuros. Localmente, se llega a una roca totalmente impregnada de sulfuros y de clorita con granos de cuarzo corroídos aislados. Las variaciones de composición de los fluidos hidrotermales en el criadero se marcan también en la mineralización epigenética, por la presencia de cristales de arsenopirita eudrales con núcleos de pirita xenomorfa y de pirita automorfa con núcleo de arsenopirita automorfo correspondiente a la sucesión pirita-arsenopirita-pirita.

Interpretación genética (fig. 4)

Todas las observaciones sugieren que el criadero sulfurado de La Rinconada corresponde a la depositación de lodos sulfurados en pequeñas depresiones, mientras que sedimentaba la formación Ananea. Dichos lodos fueron emitidos por fuentes hidrotermales submarinas, relacionadas con manifestaciones volcánicas como lo muestra la existencia de niveles cineríticos. Estas fuentes no eran bocas individualizadas, pero más bien una multitud de grietas emisoras cubriendo extensas superficies. Al mismo tiempo, los fluidos ascendentes impregnaban de sulfuros las capas de la roca caja en un grado variable según la permeabilidad y el estado de compactación del sedimento.

1.3.3 Relaciones entre los criaderos sulfurados y los mantos

No se notan diferencias significativas entre la paragénesis de las venillas de origen hidrotermal y las de los mantos. Además, ambos están relacionados con una impregnación por sulfuros de la roca caja, de manera que es muy probable que haya una relación de filiación entre las fuentes hidrotermales y los mantos: durante la ascensión de los fluidos a través de los sedimentos, ciertos límites de capa, particularmente las capas de cuarcitas, habrían guiado y drenado los fluidos mineralizantes permitiendo así la formación de "vetas-capas" de gran extensión y de espesor reducido.

2. EL PLACER FLUVIOGLACIAL DE SAN ANTONIO DE POTO

Se ubica en la parte este de la cuenca de Ananea-Ancocala con una extensión aproximada de 18 por 6 km. Las principales zonas de explotación son las del cerro San Antonio, de Pampa Blanca y de Islapampa.

2.1 Características geológicas y geomorfológicas (fig. 5)

La zona comprende tres unidades morfológicas:

- al Oeste, el valle glacial de Rinconada (lago Rinconada), cuyos grandes arcos morrénicos frontales y laterales atestiguan las crecientes de un extenso helero procedente del macizo de Ananea;
- al Este, el valle de Lacaraqui (lago Lacaraqui) con un sistema de arcos similares a los del valle de Rinconada;
- entre dichos valles se extiende la depresión de Pampa Blanca donde se acumularon depósitos fluvioglaciales y morrenas.

Los rasgos de estas unidades se deben a la evolución reciente de la Cordillera Oriental (FORNARI et al. 1980 y 1981). En la zona de San Antonio de Poto, sobre el substrato constituido por la formación Ananea al Norte y el Grupo Ambo al Sur descansan:

2.1.1 Depósitos ante-glaciales, conformados por:

- derrames ignimbríticos aflorando en el Oeste de la cuenca de Ananea-Ancocala (Plioceno?),
- la formación Arco Aja (Plioceno superior?), definida al NE de Ancocala. Comprende un miembro inferior con sedimentos detríticos generalmente finos, de naturaleza palustre y un delgado nivel cinerítico claro hacia el tope. En sus afloramientos presenta cerca de 70 m de potencia pero puede pasar los 150 m en Pampa Blanca según trabajos geofísicos (CARN et al., 1980). El miembro superior que está constituido por material fluvial grueso, aflora poco en la zona.

Dichos depósitos sufrieron luego un proceso de erosión y de alteración, formándose "glacis" cuyos testigos se ven cerca de Ancocala. Después, una fase de socavamiento recortó estas formas morfológicas previamente a las glaciaciones.

2.1.2 Las glaciaciones

En San Antonio de Poto hay testigos de por lo menos dos extensos períodos glaciales cuaternarios: el primer período corresponde a heleros tipo calota y el otro a heleros de valles.

El glacialismo de tipo "calota" (glaciación Ancocala)

Morrenas y depósitos fluvioglaciales, con color de alteración ocre caracterizan una glaciación antigua definida en Ancocala. Su tope es un nivel de erosión y alteración rojizo, traza de una superficie morfológica interglacial. La morfología glacial no se nota más, pero la disposición general del material sugiere que se trató de un glacialismo de calota.

El glacialismo de tipo "heleros de valle"

Fue durante este período que se formaron los valles de Rinconada y de Lacaraqui, cavadas en el substrato esquistoso y sobre todo los depósitos blandos de la formación Arco-Aja por extensas lenguas glaciales procedentes del macizo de Ananea. En el valle de Rinconada donde las formas glaciales quedan bien conservadas se observan cuatro principales etapas de avance y retroceso :

- la etapa Chaquiminas, responsable del cavamiento de los valles de Rinconada y Lacar^a qui, es la más antigua y corresponde posiblemente a la glaciación Sorata del norte de Bolivia (SERVANT, 1977). Su morrena frontal está totalmente erosionada, pero res^utos de arcos laterales colgados en el flanco del cerro Acocunca al oeste de Ananea, implican que una lengua glacial de más de 15 km de largo se extendió más allá del pueblo de Chaquiminas.
- la etapa Islapampa de menos extensión se caracteriza por el arco frontal de Islapampa obstruyendo el valle aguas abajo de Ananea, y por el gran arco lateral de San Antonio.
- la etapa Rinconada cuya morrena frontal represa el lago Rinconada.
- la etapa Pampa Molino con arcos pequeños aguas arriba del Lago Rinconada que corresponde probablemente al máximo de la Pequeña Edad Glacial.

Las morrenas de estas dos últimas etapas se ubican nítidamente por debajo del arco lateral de San Antonio de Poto lo que subraya una importante disminución de la potencia de los heleros correlativa con la retracción del dominio glacial del Macizo de Ananea.

2.2 El oro detrítico del placer de San Antonio de Poto

Nuestras conclusiones se apoyan sobre 150 muestras tomadas en perfiles superficiales (taludes y quebradas). De cada muestra de 100 kg, 75 kg se utilizaron para obtener la ley (por amalgamación) y 25 kg se concentraron aparte, para un estudio de las partículas de oro y de minerales pesados. Este muestreo realizado para fines científicos, no es sistemático: las muestras se tomaron en sitios escogidos con vista a entender la génesis del yacimiento y no para determinar su valor económico. En San Antonio de Poto, los estudios se llevaron a cabo en las tres principales zonas de explotación: Pampa Blanca, cerro San Antonio e Islapampa.

2.2.1 La depresión de Pampa Blanca

Es la zona más promisor^a por sus leyes y el volumen de sus reservas potenciales que sobrepasarían los 400 millones de m³. Además la topografía bastante suave permite la explotación en gran escala por draga.

Es una amplia depresión donde se han acumulado, desde el Plioceno, más de 200 m de sedimentos detríticos. De este material, sólo los depósitos glaciales derivados de la formación Ananea presentan un potencial aurífero. Así, el material derivado del Grupo Ambo que alimentó la cuenca en su borde sur es estéril como también lo son los sedimentos palustres de la formación Arco-Aja. En el miembro fluvial anteglacial, los valores son muy bajos. Sin embargo, al SW de Ancocala un valor de 0,05 g/m³ sugiere que este material puede contener localmente pequeños niveles de concentración.

Dentro de las acumulaciones glaciales auríferas, son los depósitos de la glaciación Ancocala que tienen en promedio las leyes más altas. En los alrededores de la zona explotada por la draga, hemos obtenido de 0,2 a 0,4 g/m³ (+). Además se comprobó

(+) Se ha obtenido leyes similares a las que obtuvo la NATOMAS (SAENZ, 1964) en sus sondeos profundos en promedio de 12 m y que mostraron un enriquecimiento hacia el centro de la cuenca.

en la quebrada Ccuellaccacca que recorta el glacial hasta su piso, que el oro sigue estando presente en profundidad aunque las leyes obtenidas son bajas.

La etapa Islapampa y los siguientes episodios han dejado pequeños arcos con morfología suave hasta el centro de la depresión y derrames fluvioglaciales de poco espesor en general. Las morrenas tienen leyes erráticas y relativamente bajas del orden de 0,04 a 0,2 g/m³. Algunos valores más elevados (hasta 1,8 g/m³) caracterizan niveles de reconcentración superficiales debidos a escorrentías de agua en la superficie de las morrenas o a una superficie de erosión y alteración edafológica. Otro tipo de enriquecimiento observado en el material fluvioglacial se debe a una removilización de las morrenas por las aguas de fusión de difluencias glaciales desde los heleros de Rinconada y Lacaraquí o de los heleros del cerro San Francisco. En Pampa Blanca, la abundancia de arcillas (+) y de oro muy fino en el fluvioglacial del centro de la cubeta, indica que una proporción importante del material fino no fué exportado, probablemente en razón de su carácter subendorreico.

En resumen, el estudio de Pampa Blanca muestra que la formación del placer resulta de la convergencia de varios factores favorables dentro de los cuales hay :

- proximidad de un substrato mineralizado (La Rinconada, Macizo de Ananea);
- existencia durante un largo período de un intenso mecanismo de abrasión y de transporte por los glaciares hacia Pampa Blanca;
- posición del material así depositado entre los valles glaciales de Rinconada y Lacaraquí, sitio donde fué protegido de la erosión glacial. Los pequeños heleros y las difluencias glaciales que ocuparon la parte alta de Pampa Blanca tenían poco espesor y actividad erosiva, pero la fusión de estos heleros favoreció una reconcentración del oro en el fluvioglacial;
- naturaleza subendorreica de Pampa Blanca que frenó la exportación del oro fino provocando así un enriquecimiento relativo;
- la presencia en la morrena de chispas de oro con morfología fluvial nos dejan suponer que una parte del oro puede proceder de una removilización de sedimentos fluviales preglaciales.

2.2.2 La morrena del cerro San Antonio

El cerro San Antonio es un enorme arco lateral de la etapa Islapampa con morrenas de color gris en general, y en algunos niveles ocre. Dicho arco, actualmente recortado por un pequeño riachuelo desague del lago Sillacunca, había (durante un período) cerrado totalmente la depresión de Pampa Blanca. El frente actual de la morrena descansa sobre las formaciones Ananea y Arco-Aja inmediatamente al este de Ananea. Más arriba, al NW de Sillacunca las morrenas grises coronan y recubren por sus escombros morrenas ocre de la glaciación Ancocala. Las leyes obtenidas son erráticas (0,02 g/m³ a 1 g/m³) mientras que el promedio es 0,180 g/m³. El único nivel de concentración reconocido es un horizonte de alteración rojizo subrayando el tope de material Ancocala y

(+) Esta abundancia de finos se marca muy bien, hasta en profundidad, en los registros de los sondajes eléctricos (CARN et al., 1980).

la base de la morrena Islapampa que removiliza las concentraciones auríferas residuales de la superficie sobre la cual avanzó. De manera que la morrena del cerro San Antonio se puede definir como un "yacimiento detrítico primario"; su contenido aurífero depende directamente de la riqueza en oro del substrato del cual deriva y teóricamente no se benefició de enriquecimientos y reconcentraciones posteriores significativas.

2.2.3 El sistema morrena frontal-fluvioglacial de Islapampa

La zona de Islapampa ubicada a 3 km al oeste de Ananea muestra trazas de una intensa explotación artesanal. El pasaje gradual de un arco frontal de la etapa Islapampa a sus derrames fluvioglaciales permite estudiar el proceso de reconcentración relativa del oro en el material fluvioglacial. Las leyes y las partículas de oro fueron estudiadas a lo largo de un perfil longitudinal, hasta 2 km aguas abajo de la morrena. Los primeros resultados indican que :

- en las morrenas, la ley del oro es errática y muy baja ($0,04 \text{ g/m}^3$ en promedio). El tamaño de algunas partículas alcanza 0,5 a 1 mm, pero la mayoría es fina o muy fina con formas mostrando que derivan directamente del yacimiento primario;
- la transición al fluvioglacial se traduce por una exportación de material fino, una concentración relativa de cantos y un enriquecimiento en oro con leyes en promedio del doble de la morrena y frecuentes valores superiores a $0,2 \text{ g/m}^3$. En el detalle se observa un enriquecimiento marcado a proximidad de las morrenas y luego una disminución de la ley aguas abajo donde las corrientes eran más fuertes. A la escala del afloramiento se nota la aparición de niveles enriquecidos marcados por una reducción del número promedio de partículas de oro por muestra (20 a 30 en vez de 100 en las morrenas), pero que son más grandes en promedio que las de la morrena. Se puede pensar que una importante proporción de oro fino ha sido llevada río abajo y depositada en zonas de corrientes menos fuertes.

2.3 Evolución del oro durante su transporte

2.3.1 El oro de los mantos de La Rinconada (Manto Ana María)

En los mantos, el oro rellena los intersticios y fisuras del cuarzo. Frecuentemente hay granos de pirita con oro en sus bordes pero no se observó oro incluido dentro. La foto N° 1 (partícula 176) muestra una fisura con relleno de oro (en blanco) en el cuarzo (en gris) y en el borde de la pirita (en gris con aspecto granulado). La foto N° 2 muestra un detalle con formas cristalinas del oro. Estas partículas de oro tienen un modelado muy característico: no hay deformación mecánica, y aunque sus contornos están a veces redondeados (foto N° 3: partícula de oro liberada de su ganga) no se observan nunca estrías o impactos en sus bordes; las formas cristalinas se ven bien con gran aumento (foto N° 4: detalle de la partícula anterior) lo que, incluso sobre una partícula redondeada, impide toda confusión con una partícula detrítica. Las partículas de oro tienen más o menos la misma composición salvo para la plata cuyo porcentaje varía fuertemente. En todas hay un poco de bismuto, de arsénico y muy poco de telurio; el cobre está presente en ínfima proporción y parece distribuido de manera aleatoria como también el hierro.

2.3.2 El oro en la morrena muy reciente

El muestreo de la morrena de fondo, bajo el frente del glaciar "San Andrés" que arrastró la zona de los mantos, permitió recoger partículas de oro de origen local que han sufrido solamente un transporte glacial y que muestran formas variadas: facetas cristalinas nítidas (foto N° 5, partícula 141) y facetas desgastadas pero todavía bien reconocibles; otras no presentan ya facetas cristalinas, pero sí formas de aplastamiento y estrías nítidas y profundas, con granos de cuarzo muy pequeños clavados en el metal. Los bordes de estas partículas no están nunca desgastados: han sufrido doblamientos, están despedazados y a veces un poco redondeados (foto N° 6, partícula 146, y foto N° 7 con detalle). Algunas partículas de oro muestran láminas de metal retorcido y enrollado (foto N° 8, partícula 148, y foto N° 9, detalle) lo que indica un transporte en un ambiente poco fluido.

Las partículas de oro recogidas en la morrena de fondo tienen la misma composición que las chispas muestreadas en los mantos de La Rinconada; sin embargo, las partículas más ricas en plata solo han sufrido una deformación mecánica leve. Así la partícula 141 que es la más rica en plata, es también la que ha sufrido la menor deformación; luego vienen las partículas 147 y 145 que conservan todavía facetas cristalinas mientras que la 148, muy evolucionada mecánicamente ya perdió una parte de la plata que contenía. El contenido en plata se relaciona así estrechamente a la evolución supérgena; ciertas partículas de oro muestran una pérdida ligada más o menos a una larga estadía en el helero mientras que otras más frescas llegan casi directamente de los mantos. Sin embargo hay también que tomar en cuenta las variaciones del contenido en plata de las partículas en las vetas mismas.

2.3.3 El oro en las morrenas antiguas

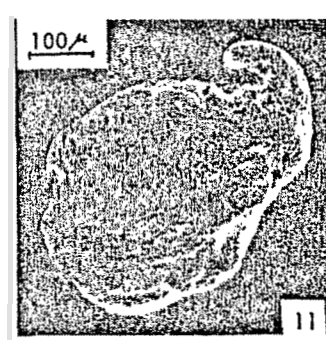
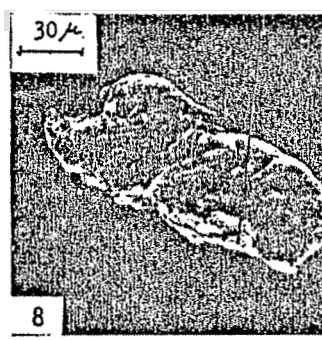
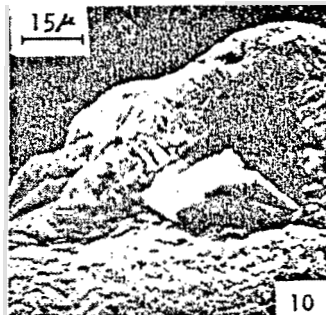
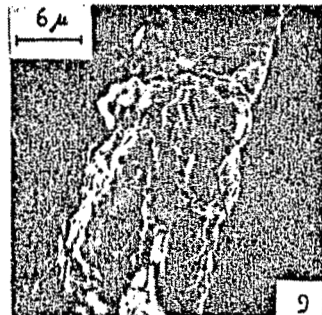
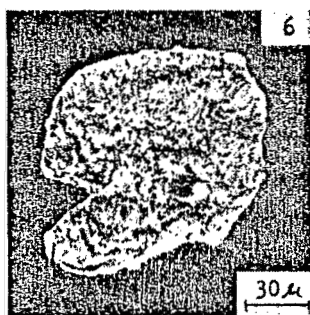
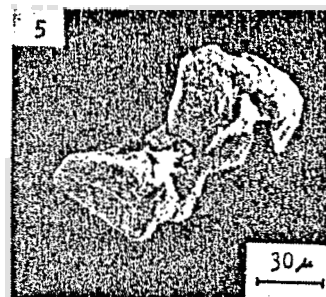
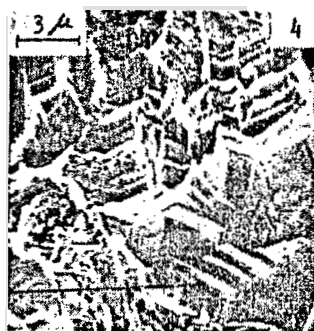
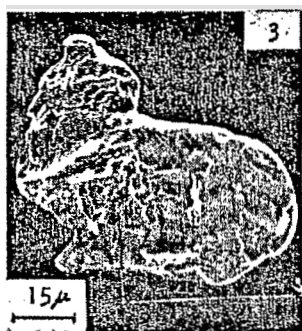
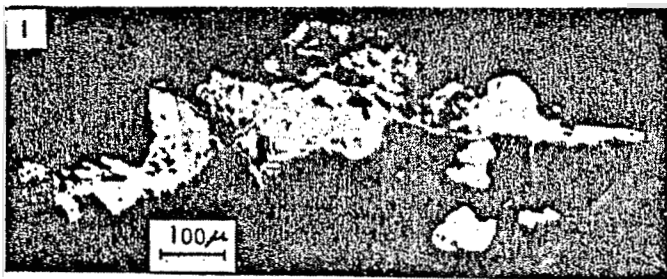
Las partículas de oro presentan una morfología típica correspondiente a un transporte en ambiente poco fluido, con numerosos aplastamientos, estrías nítidas y escamas retorcidas y a veces pequeños granos de cuarzo entrampados (foto N° 10, muestra de la morrena de Islapampa).

2.3.4 El oro en el material fluvioglacial

El fluvioglacial proximal de Pampa Blanca contiene partículas con formas de aplastamiento y doblamiento de láminas despedazadas caracterizando un ambiente de transporte poco fluido muy cercano de la morrena (foto N° 11); su aspecto es muy similar a la morfología de una partícula de transporte glacial. La foto N° 12 procede del material fluvioglacial de la zona de Islapampa: la partícula bien redondeada, caracteriza ya un transporte en aguas corrientes.

El número de partículas de oro en cada muestra varía considerablemente según el sector y la intensidad del proceso de removilización del fluvioglacial: en Pampa Blanca y en Islapampa el material fluvioglacial proximal no se diferencia mucho en cuanto al tamaño (0,1 a 0,2 mm) y número de partículas (un centenar) del material morrénico. En cambio en el fluvioglacial distal (zona de Islapampa), el número de partículas de oro se restringió a unos treinta con un tamaño promedio más importante (0,5 mm) lo que indica una pérdida importante de partículas finas durante la removilización.

En el material "antiguo" sea morrénico sea fluvioglacial, el porcentaje de plata en



LAMINA FOTOGRAFICA N°1
(Fotografias por M.E.B.)
Partículas de oro del area de
La Rinconada-San Antonio de Poto .
(Leyenda en el texto).

las partículas es muy bajo o nulo; son más puros y presentan una fineza relativa de 950.

3. CONCLUSIONES

Presentamos aquí los primeros resultados de un estudio en curso que por lo tanto tienen todavía un carácter cualitativo. Las principales conclusiones son:

- Las mineralizaciones auríferas primarias del área de La Rinconada se encuentran bajo forma de criaderos de sulfuros (con pirita y arsenopirita) asociados con mantos de cuarzo ahumado, ambos estratificados en las lutitas esquistosas y las cuarcitas epimetamórficas de la formación Ananea (Siluro-Devónico). Se trata de manifestaciones hidrotermales relacionadas con una actividad volcánica submarina contemporánea de la sedimentación de la formación Ananea.

- Los niveles mineralizados han sido afectados por la esquistosidad y las deformaciones de la tectorogénesis Eohercínica en el Devónico terminal o en el Carbonífero basal, lo que comprueba la edad siluro-devónica de las mineralizaciones auríferas.

- El valor económico de estas mineralizaciones queda todavía para comprobar. Los mantos de cuarzo ahumado que se explotan artesanalmente, tienen leyes de 10 a 20 g/t pero son muy delgados. Los análisis obtenidos a partir de muestras de los criaderos dieron leyes muy bajas (hasta 3 g/t). Sin embargo, es necesario completar el estudio con un mayor número de análisis antes de descartar definitivamente su valor económico. Además el descubrimiento de los criaderos de sulfuros en la formación Ananea constituye un criterio de prospección muy interesante. En La Rinconada se extienden sobre varios centenares de metros de largo; pero es de conocimiento general que dicho tipo de ocurrencias forman a veces fajas de extensión regional lo que plantea el problema de su prospección en toda la Cordillera Suroriental tanto en la formación Ananea como en el Ordovícico.

- Las fuentes del oro detrítico del placer fluvioglacial de San Antonio de Potosí son las mineralizaciones primarias de la formación Ananea. Los intrusivos hercínicos no parecen haber traído oro pero sí han podido tener un papel de removilización por efecto térmico. A su vez, el Paleozoico superior y los terrenos andinos no tienen importancia como fuente de los placeres recientes en esta área. En toda la Cordillera Suroriental la ubicación de los placeres parece relacionada con una alimentación a partir del Paleozoico inferior.

- En el área considerada, las concentraciones de oro se encuentran en formaciones glaciales y fluvioglaciales cuaternarias; las razones de este hecho quedan todavía mal conocidas pero podrían estar relacionadas con el poder abrasivo de los heleros.

- Resalta muy claramente el papel absolutamente primordial de la evolución geomorfológica en la formación de los placeres fluvioglaciales. Las morrenas arrastradas desde el área de La Rinconada constituyen el material detrítico "primario" sin reconcentraciones de oro. Reconcentraciones relativas se producen aguas abajo, en el material fluvioglacial por la acción de las aguas de fusión de los heleros (zona de Islapampa y de Pampa Blanca) o también en superficies morfológicas por la acción climática. Sin embargo, en general cada uno de estos procesos aislados no llegan a formar placeres importantes; así el yacimiento de Pampa Blanca resultó de una conjunción de factores y procesos favorables con un efecto cumulativo: alimentación desde una zona rica

en oro primario, reconcentraciones por aguas de fusión y por fenómenos climáticos, removilización de un stock de oro preglacial, confinamiento de la depresión de Pampa Blanca favorable a la retención del oro fino.....

- Durante su transporte las partículas de oro, inicialmente de granulometría variada, se concentran y se clasifican en función de su peso y tamaño y sufren una evolución morfoscópica directamente relacionada con el ambiente de transporte. El oro primario de los mantos de La Rinconada, contiene relativamente pocas impurezas, salvo plata y en menor proporción bismuto y arsénico. La composición de las partículas de oro evoluciona desde los mantos hasta los depósitos sueltos correlativamente con el tratamiento mecánico sufrido durante el transporte. La ley en plata contenida se mantiene en los sedimentos más recientes (morrena de fondo del helero de San Andrés), baja nítidamente en los depósitos más antiguos (morrena de Islapampa) y desaparece (en la zona externa de la partícula) en los sedimentos de la glaciación antigua. El arsénico parece tener la misma evolución mientras que el bismuto al contrario, se queda en la partícula.

AGRADECIMIENTOS

Las investigaciones sobre el oro en la Cordillera Suroriental del Perú se llevaron a cabo en el cuadro del Convenio de Acción Conjunta 1977-1981 entre el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) del Perú y el Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) de Francia. Agradecemos al Ing. Francisco Sotillo, Director Ejecutivo del INGENMET, por su decidido apoyo al presente trabajo, los Ingenieros Jorge Vergara, R.Jungbluth, W.Rodriguez, J.Zegarra (INGEMMET), el Dr. Bonnemaïson (ORSTOM) y todos los otros geólogos que colaboraron en este programa de trabajo.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CARN M., VALDIVIA E., GELOT J-L., MACEDO O., y DELGADO M., 1980. Prospección eléctrica en los depósitos auríferos de la zona de Ananea (Dpto. Puno). Acción Conjunta INGENMET-ORSTOM, Proyecto oro, informe técnico, 17 p.
- FORNARI M., GRANDIN G., HERAIL G., LAUBACHER G., RODRIGUEZ W., y ZEGARRA J., 1980. Informe técnico sobre el Proyecto oro INGENMET-ORSTOM (05-80-MF), 45 p.
- FORNARI M., GRANDIN G., HERAIL G., JUNGBLUTH R., LAUBACHER G., RODRIGUEZ W., VERGARA J. y ZEGARRA J., 1981. Las mineralizaciones auríferas en la Cordillera Suroriental del Perú. Acción Conjunta ORSTOM-INGEMMET 1977-1981, Informe Final, 74 p.
- LAUBACHER G., 1978. Géologie de la Cordillere orientale et de l'Altiplano au nord et au nord-ouest du Lac Titicaca (Pérou). Coll. "Trav. et Doc." N°95, 217 p., ORSTOM, Paris.
- SAENZ CHAVEZ T., 1964. Explotación en depósitos aluviales mediante el sistema de draga (distrito de Poto, Provincia de Sandia, Dpto. de Puno). Tesis Bachiller -UNSA, Arequipa.
- SERVANT M., 1977. Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire des Andes tropicales en Bolivia. INQUA., suppl. au Bull. AFEQ, 1977-1, N° 50, pp 323-327.