



**La distribución del oro en el Cangallí**

En la formación Cangallí, los tenores más altos se registran en los sedimentos que rellenan los paleocauces a proximidad del substrato, en los cuales alcanzan varios gramos e inclusive varias decenas de gramos por metro cúbico. Es así que, en Unutuluni, las campañas de prospección de los años 45-48 arrojaron en los mismos un tenor medio de 21,2 g/m<sup>3</sup>. Bajando el valle, los tenores del paleocauce decrecen: en Grito, se excavó un cuadro del cual la CAMB obtuvo entre 1935 y 1942 tenores medios de apenas 4 g/m<sup>3</sup>, en tanto que en los años 50 los aluviones allí explotados no daban más de 2 g/m<sup>3</sup> (BAMIN, 1977). Río abajo del cuadro 60 situado al nivel de San Juanito-Montecarlo (fig. 1), los valores del paleocauce actualmente no se conocen.

La presencia local de fuertes concentraciones en Unutuluni se debe a la superposición de horizontes lenticulares excepcionalmente ricos sobre un tenor de fondo de por sí alto. En el sector de Tujojahuira, por ejemplo, se encontró en el año 1944 un lente de más de 12

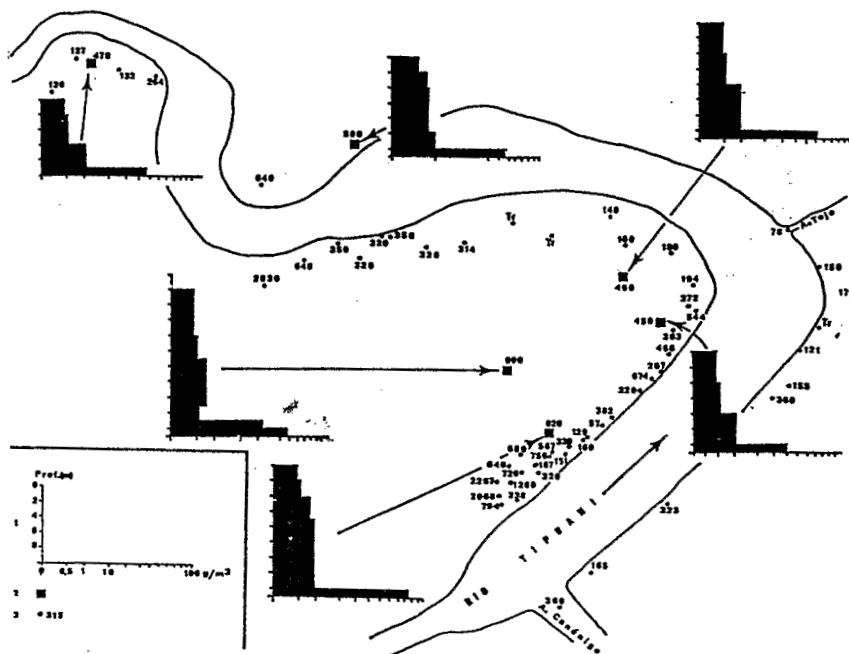


Fig. 4: Distribución del oro en las playas de Churihumani. 1: histogramas de repartición de tenores en profundidad, 2: cuadros 3 puntos de muestra superficial con tenores en g/m<sup>3</sup>.

m<sup>2</sup> de superficie con 112 g/m<sup>3</sup>

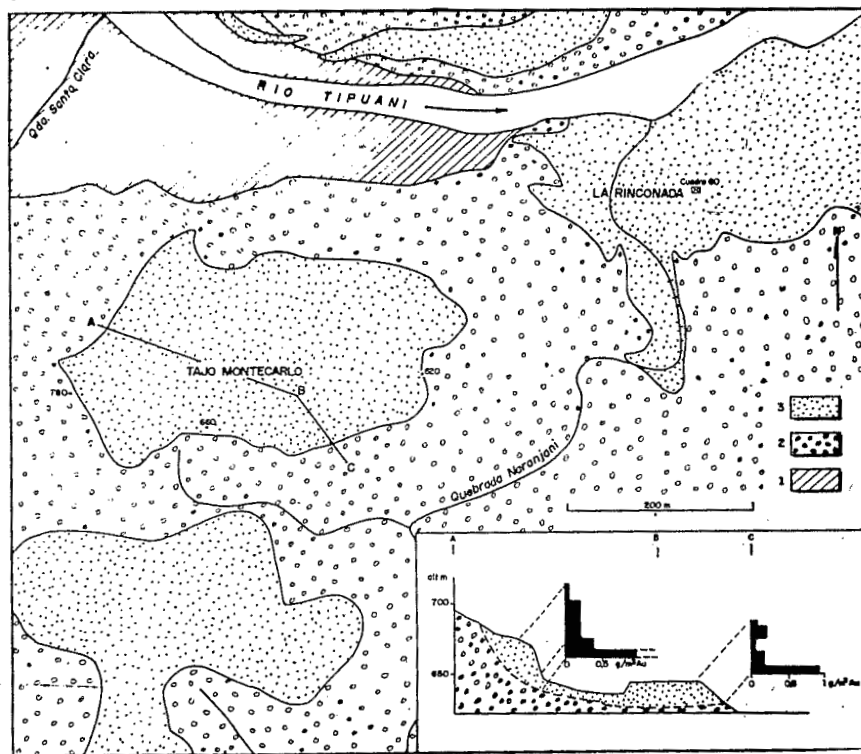
Los sedimentos fluviales que sobreyacen a los aluviones de fondo de los paleocauces son netamente menos ricos. Sin embargo, hacia las ca-

beceras de valle los tenores permanecen elevados en todo el espesor del sedimento: El muestreo ejecutado en el sector de Babilonia por la misión ORSTOM-UMSA (unos 100 kg por muestra) evidenció tenores de 1,7 a 6,5 g/m<sup>3</sup>. Aguas abajo las concentraciones disminuyen rápidamente y los valores altos se restringen a los "veneros" que generalmente corresponden a fondos de paleocauces y que separan aluviones mucho más pobres y hasta estériles. En Tujojahuira (foto 1) los veneros explotados por galerías hasta la rampa de Chuquini, en un tramo de unos 500 m, arrojaron un tenor promedio de 32 g/m<sup>3</sup>. Empero, entre estos veneros pocos presentan un interés económico: es así que, cerca de La Rinconada, el cuadro 60 en sus 177 m de profundidad atravesó solamente 3 "pay streaks", a los 35, 95 y 118 m (BAMIN, 1977). Además el valor económico de estos horizontes va en decremento río abajo, tornándose marginal más allá de La Rinconada.

Fuera de las facies fluvio-torrenciales y fluviales proximales, el oro es muy escaso: las de llanura de inundación y las palustres son estériles.

\*Horizontes lenticulares: selectivamente enriquecidos dentro del perfil aluvial

Fig. 3: Distribución del oro en las terrazas de Montecarlo. 1: bedrock andólcico, 2: Conglomerado Cangallí, 3: aluviones recientes.



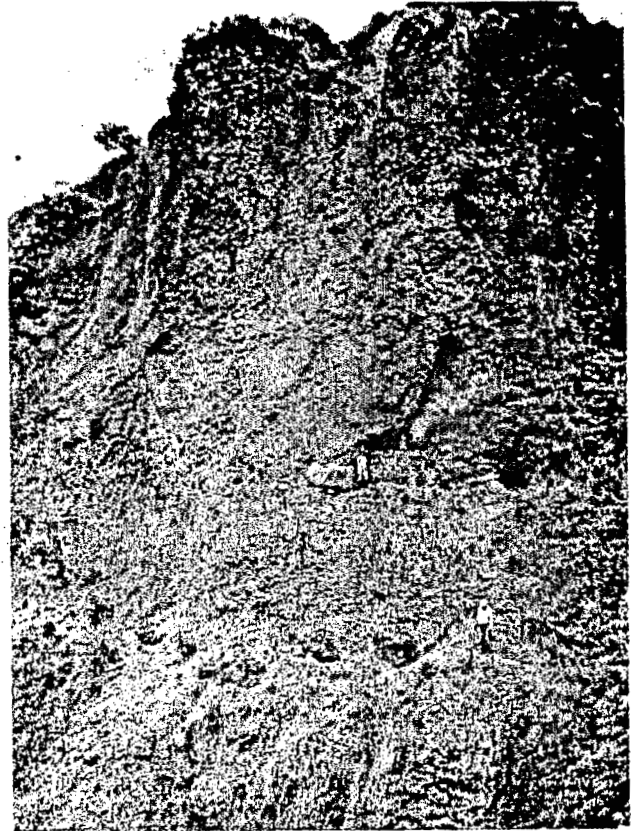
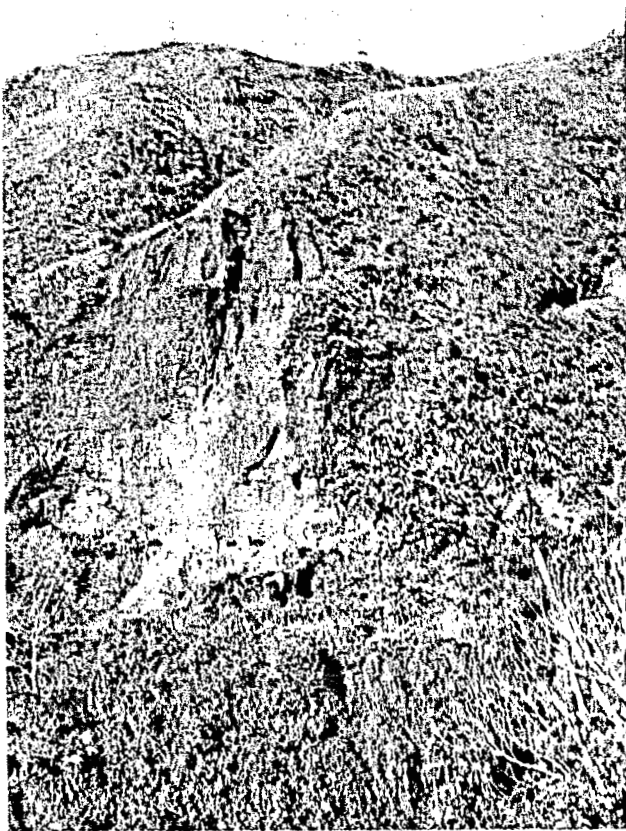


Foto 1: "Veneros" del Congalli en el sector de Tujojahuira. Izquierda: Vista general del paleovalle Congalli. Derecha: Detalle de los veneros; los personajes indican su posición (foto G. Héral)

**El contenido de oro de las terrazas aluviales**

En el valle del río Tipuani el perfil aluvial de las terrazas se compone de

la superposición de 3 conjuntos diferentes (fig. 2):

—Un miembro superior (o encape) constituido por limos y

arenas de inundación así como, al pie de las vertientes, por importantes acumulaciones coluviales. Esta capa es estéril o muy pobre y además el oro que contiene es generalmente muy fino.

—Un miembro intermedio conglomerádico que conforma lo esencial del volumen sedimentario de la terraza. Corresponde a facies fluviales organizadas en canales. En este miembro los tenores son más altos y ya de interés económico, pero pueden variar mucho de un nivel a otro siendo, también aquí, mayores en los pequeños "veneros" de fondo (foto 2). La granulometría de las partículas es bastante heterogénea coexistiendo una fracción muy fina con otra de talla media.

—Un miembro basal, que descansa ya sea sobre el bedrock o sobre el "plan de Cangalli", consistente de un conglomerado localmente muy grueso (foto 3). Es el nivel más enriquecido



Foto 2 Aluviones auríferos del cauce actual del río Tipuani. Se pueden distinguir los canales. Los tenores más altos corresponden a la parte basal cuyo substrato está constituido por el conglomerado Congalli (foto G. Héral)

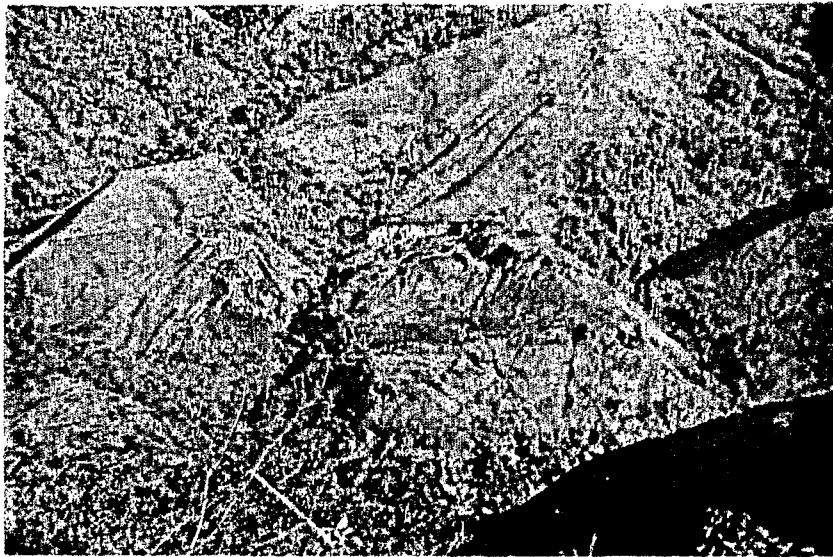


Foto 3 Terraza aluvial del río Challana en Vilaque. El contenido de oro aumenta hacia la base, en los conglomeraos más gruesos (foto G. Héral)

de las terrazas, con valores habitualmente de varios  $\text{g/m}^3$ ; el oro por lo general es grueso.

En el sector de Montecarlo (fig. 3) el encape de la terraza alta —de 5,5 m de potencia— tiene un tenor promedio de  $0,15 \text{ g/m}^3$ ; el miembro intermedio —de 7 m de espesor— da  $0,19 \text{ g/m}^3$  y el conjunto basal —de 1,7 m— arroja  $0,59 \text{ g/m}^3$ . En la terraza baja se observa una evolución parecida:  $0,08$

$\text{g/m}^3$  —en promedio— en el encape de 3,5 m de espesor;  $0,22 \text{ g/m}^3$  en el miembro intermedio de 5,5 m de potencia;  $0,47 \text{ g/m}^3$  en el nivel de base de 1 m de espesor (AZEVEDO, 1985). Una distribución vertical similar se puede reconocer en las terrazas de Paniagua, Tantacato y otras a lo largo del río Tipuani.

En cambio, en las terrazas de los afluentes del Tipuani cuya cuenca ver-

tiente erosiona el Cangallí removilizan-do el oro contenido en esta formación, los tenores suelen ser mucho más bajos. Estas, adosadas en laderas empinadas, soportan una sobrecarga muy potente de coluvios (foto 4). Su material aluvial, depositado por corrientes usualmente poco selectivas, es muy pobre y sólo el nivel basal lleva oro, en escasa cantidad (menos de  $0,5 \text{ g/m}^3$ ).

#### Los placeres enriquecidos de cauce y playa

Los aluviones de los cauces modernos del río Tipuani y de sus afluentes (Chuquini entre otros) así como de las playas laterales estuvieron entre los primeros que fueron explotados y siguen siendo todavía los de mayor importancia económica. A diferencia de lo que ocurre en las terrazas (que corresponden a antiguos cauces) el encape es generalmente inexistente o muy reducido, salvo a veces al pie de las vertientes donde se acumulan coluvios comúnmente estériles (foto 5). Los tenores, que en la mayor parte del aluvión fluctúan entre unas décimas de gramo y  $1 \text{ g/m}^3$ , alcanzan hasta varias decenas de  $\text{g/m}^3$  en el medio metro inferior: es muy verosímil que este incremento de valores sobre el bedrock fue artificialmente acentuado por el mismo proceso de excava-



Foto 4 Terrazas aluviales del río Chuquini. Se observa (derecha) la poca selección del material fluvial y la importancia de la cubierta coluvial características de los ríos tributarios (foto G. Héral)



ción de los pozos evaluatorios, que arrastró hacia abajo parte del oro en un sedimento de ordinario muy suelto.

**Factores hidrográficos de entrapamiento**

Aparte de las relaciones, arriba descritas, de la concentración del oro con los procesos de diferenciación mecánica —tanto en la sedimentología aluvial como en la segregación gravimétrica vertical— se evidencia una variación longitudinal a lo largo del curso ya sea de manera aparentemente aleatoria o bajo la influencia de características geométricas del cauce. Una buena ilustración de este tipo de control

Foto 6. El meandro del río Tipuani en Cueva Playa, visto en 1969 antes de que sea explotado por técnicas mecanizadas (foto E. Ruiz B., GEOBOL).



nos ofrecen los placeres de Churihumani (fig. 4): En este sector la diferencia de valores es notable entre el río Tipuani y sus afluentes locales menos caudalosos, los arroyos Canónigo y Tojo; además a lo largo del propio Tipuani los tenores, considerables hacia la desembocadura en el ensanchamiento de Churihumani del cañón situado más arriba, van disminuyendo río abajo; se puede advertir asimismo que la concentración de metal es sensiblemente más elevada en la orilla convexa del meandro que en la cóncava. Tales controles, propios de la yacimientología de placeres, sin

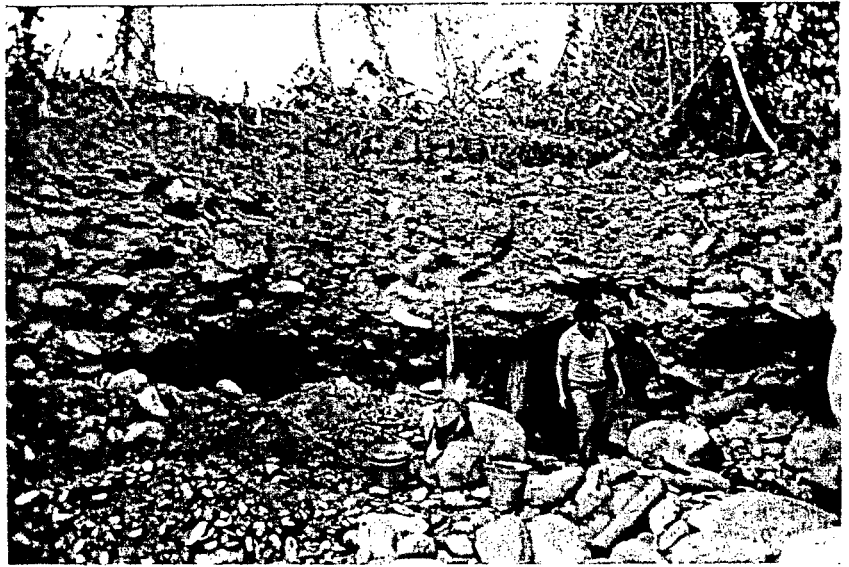


Foto 5: Aluviones en explotación en el río Tipuani. De arriba a abajo, el enclope estirado rajado, el lituvión y los bloques con sus venenos intralaminarales correspondientes a fondos de canales y los bloques del venero basal, el más rico (foto G. Hérald)

embargo no aparecen siempre con tanta nitidez: por ejemplo, el meandro de Cueva Playa (foto 6 y fig. 5) no ostenta ningún cambio espacial notorio en los tenores de las muestras recolectadas durante las campañas de prospección.

**EL ORO DE TIPUANI**

Tanto en el cauce actual como en el cauce antiguo del Tipuani, la "arenilla" (minerales pesados constituyentes de las arenas negras que acompañan al oro) está formada por la aso-

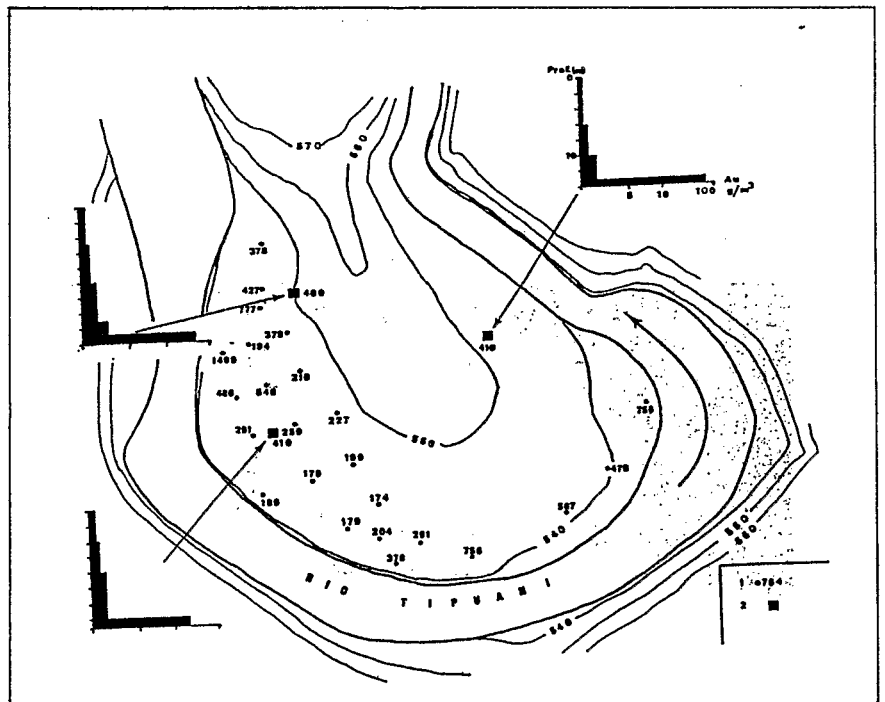


Fig. 5: Distribución del oro en el meandro de Cueva Playa. 1: puntos de muestreo superficial con tenores en mg/m<sup>3</sup>, 2: cuartos (la repartición de tenores en profundidad está representada por los histogramas correspondientes).

ciación andalucita-turmalina no rodada-granate-casiterita-ilmenita-magnetita-hematita como minerales principales. A éstos se suman circón, monacita, epidoto, hornblenda, sillimanita, estauroлита, pirita, biotita así como en proporciones mucho menores y muy localmente, disteno, rutilo, estena y otros. Las proporciones varían de las cabeceras hacia aguas abajo. En aquéllas, circón, epidoto y, en menor cantidad, turmalina rodada, monacita, anatasita y sulfuros (pirita y arsenopirita) son los minerales más abundantes. Proceden del Paleozoico inferior. Más abajo, cuando los ríos cortan los intrusivos graníticos, se añaden granate y turmalina no desgastada. La aureola metamórfica proporciona andalucita, sillimanita y un poco de estauroлита como minerales transparentes más abundantes, además de una gran cantidad de ilmenita. Toda la zona cordillerana provee a los aluviones de casi-

terita y, más esporádicamente, scheelita, aunque esta última se conserva muy mal durante el transporte por ser muy frágil.

En todo el distrito de Tipuani las variaciones de distribución metálica vienen estrechamente ligadas a diferencias en las características granulométricas y morfológicas. Tanto en el Cangalli como en el cauce actual de los ríos, el oro se presenta mayoritariamente bajo forma de partículas bastante aplanadas ("laminado") y con bordes redondeados, cuya granulometría no sobrepasa algunos milímetros; no obstante, esta última es muy variable de un lugar a otro pudiendo alcanzar ocasionalmente la magnitud de pepitas centimétricas (foto 7). En los aluviones del lecho moderno del río Tipuani la granulometría y por tanto el peso de las láminas decrecen aguas abajo (fig. 6). En la zona de San Jua-

nito, el peso medio de las partículas encontradas fue del orden de 11 mg; en Chuchiplaya, pocos kilómetros más abajo, el peso de los granos promedio era 3,8 mg y en Merma, unos 20 km más allá cerca de la confluencia con el Mapiri, no llegaba a los 2 mg. Concomitantemente, el peso de la partícula más voluminosa de cada grupo de muestras decrece de 75,5 mg en San Juanito a 68,5 en Chuchiplaya y apenas 5,4 en Merma.

A la par de la granulometría disminuye la heterometría de las láminas. En el sector de Lipi de Gran Poder, en la parte más encajonada del valle, la lámina más grande de una muestra puede representar por sí sola el 85% o más del peso de oro de dicha muestra; mientras que en San Juanito y más aguas abajo esta proporción desciende por debajo de 35% (DELAUNE et al. 1986).

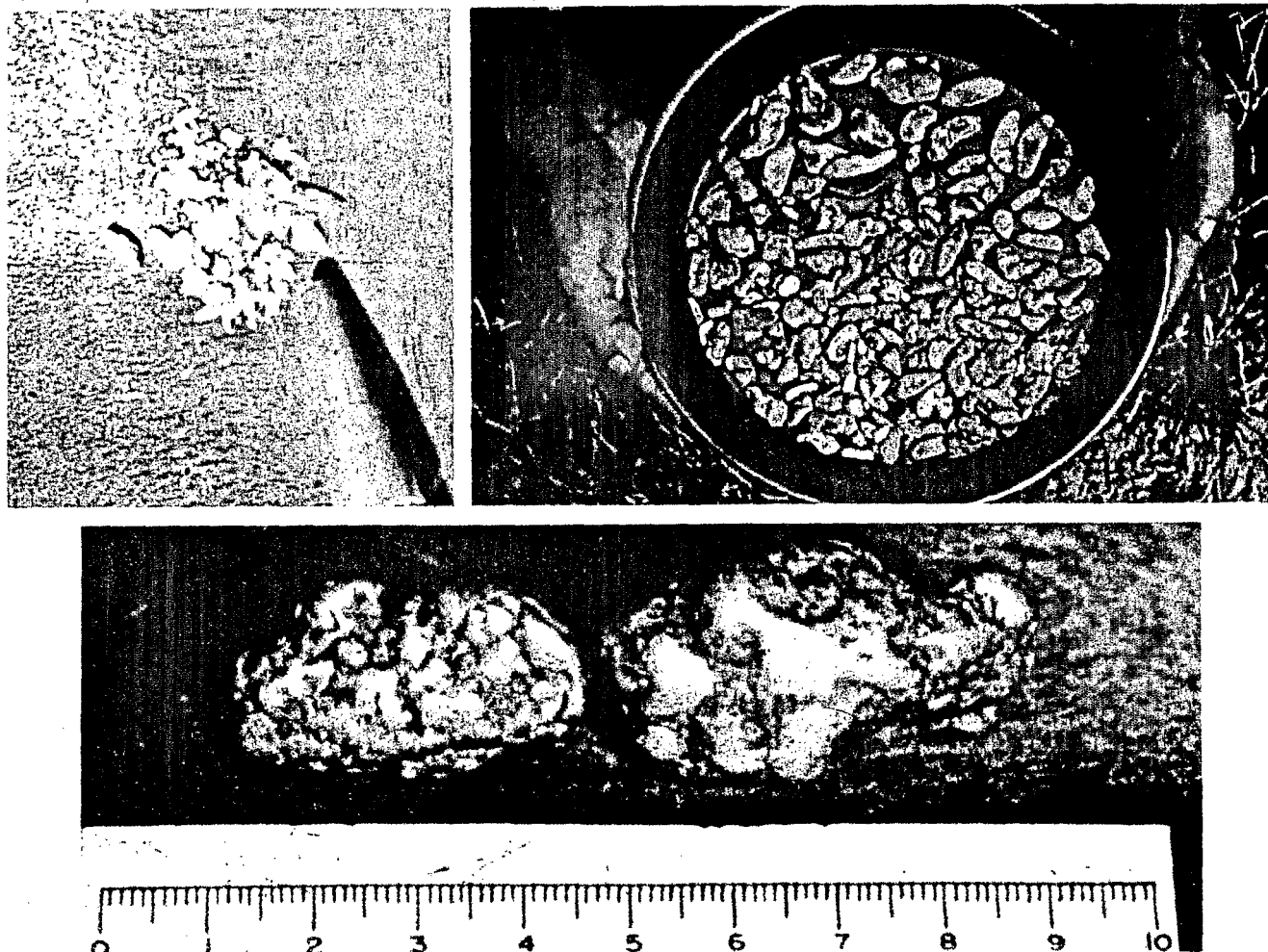


Foto 7. Pepitas de diversos tamaños de la zona de Tipuani (arriba izquierda) foto G. Heral (arriba derecha) foto A. Revilla C. BAMIN, abajo foto Museo BAMIN.

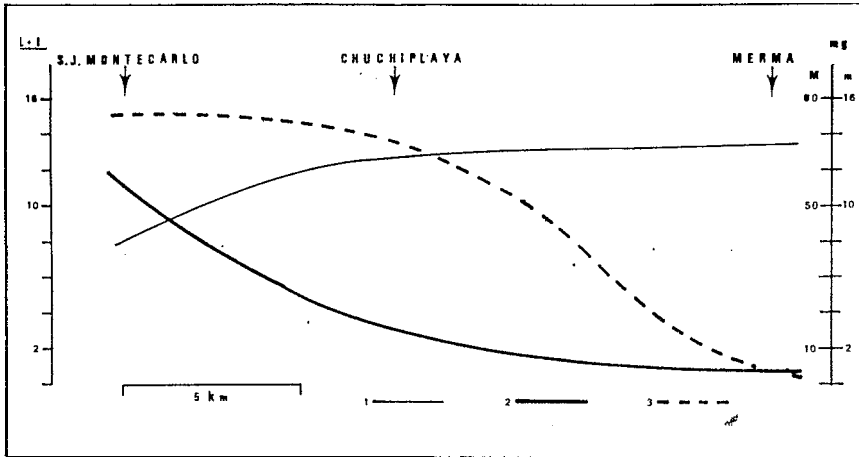


Fig. 6 Evolución aguas abajo de los principales parámetros granulométricos de las partículas de oro del río Tipuani. 1 índice de aplastamiento (L+1/2e, si L longitud, l ancho y e espesor), 2 peso medio en mg, 3 peso en mg de la partícula mas grande de la muestra

Esta evolución granulométrica va acompañada por una clara evolución morfoscópica. El aplastamiento de los granos aumenta con la distancia de transporte. De San Juanito a Merma el índice de aplastamiento pasa de aproximadamente 8 a alrededor de 13 (fig. 6). Los rasgos morfoscópicos

evolucionan paralelamente. En las cabeceras de la cuenca, los aluviones de los ríos Yani, Coocó y otros contienen partículas caracterizadas por un contorno muy indentado y una morfología bastante irregular que a veces deja entrever formas cristalinas primarias (foto 8). Bajando el curso de los ríos, en los

cauces modernos como en las terrazas, las formas se modifican apareciendo progresivamente partículas laminadas y fuertemente desgastadas, con superficies planas, estrías de acarreo fluvial y redoblamiento de los bordes (foto 9).

Otro proceso de transformación simultáneo es el que sufre la composición geoquímica de los granos auríferos. Estos, hacia las nacientes de la cuenca, están compuestos, por lo esencial, de una aleación de oro y plata a los cuales se suman cantidades muy reducidas de cobre, hierro, silíce, etc. La pureza es de unos 970 milésimos. Esta composición es análoga a la de las mineralizaciones hipogénicas de la Cordillera (TISTL, 1985). El análisis por microscopio electrónico de estos granos revela que su superficie es de idéntica composición que su interior, incluyendo además zonas enriquecidas en Si, Fe, Al que corresponden a revestimientos de silicatos e hidróxidos conservados en las depre-

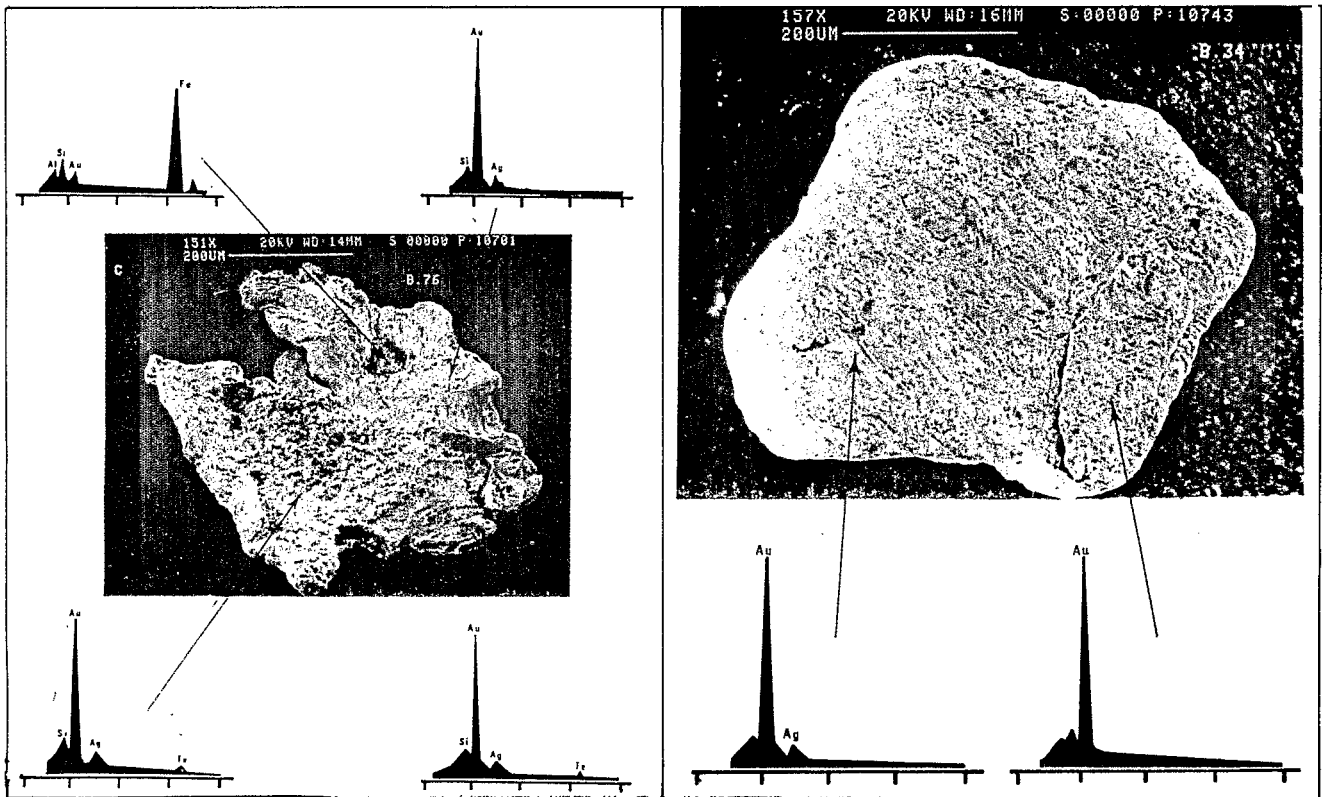


Foto 8 Microfotografía al microscopio electrónico de barrido (MEB) de una partícula de oro procedente de las cabeceras de un río cordillerano: el Yani. Se caracteriza por un escaso desgaste y la subsistencia de formas cristalinas primarias así como de diminutos cristales aulomorfos (centro). Los espectros químicos de superficie muestran la presencia, junto al oro, de plata (en aleación), silicio y hierro (en revestimientos silicatados y oxidados). La raya blanca de 200 micrones da la escala (foto ORSTOM).

Foto 9 Microfotografía al MEB de una laminilla de oro procedente de una terraza del río Mariápo. Presenta caracteres típicamente fluviales: forma redondeada y aplastada, estrías de acarreo y redoblamiento de bordes. El espectro químico de superficie (derecha) evidencia la refinación natural del oro por pérdida de plata durante el transporte, mientras que los valores obtenidos en el fondo de estrías (izquierda) indican que la composición del interior de la laminilla es análoga a la de las partículas de zonas primarias (foto ORSTOM).

siones.

Las partículas analizadas de la parte inferior del valle se diferencian de las anteriores por la aparición, en superficie, de una auréola empobrecida en plata en tanto que el centro conserva la misma composición que en las mineralizaciones hipogénicas (foto 9). Localmente, en las terrazas altas, el oro está cubierto por una película de óxido de hierro.

Es significativo destacar que a las láminas de carácter netamente fluvial se suman eventualmente otras, cuyos rasgos denotan la ausencia de largo transporte y por consiguiente un origen relativamente próximo: son partículas gruesas, poco usadas y que muestran todavía formas cristalinas primarias (foto 10). Esto deja suponer que ocurren indicios de oro hipogénico dentro

de las secuencias metapelíticas ordovícicas de la zona externa de la Cordillera y no sólo en su faja axial.

En los sedimentos fluviales y fluvio-torrenciales del Cangallí se puede observar una evolución granulométrica y morfológica comparable con aquella de los aluviones más recientes, aunque es posible que las composiciones químicas difieran. Como en los cauces y terrazas actuales, la granulometría del oro disminuye aguas abajo: es así que en los sedimentos del paleocanal encajonado río arriba de Chirima se hallaron pepitas de varias decenas de gramos (FREYDANCK, 1965); mientras que en aquellos, fluviales, del sector ubicado río abajo de Cangallí y en el área de Polopata-Bellavista se encuentra sólo oro en finas láminas o en polvo

Sintéticamente se puede concluir que la distribución del oro en la cuenca de Tipuani está estrechamente controlada por una diversidad de factores sedimentológicos, geomorfológicos y de clasificación gravimétrica, cuya actuación perdura a lo largo de toda la evolución morfogenética de la cuenca desde la sedimentación Cangallí hasta el aluvionamiento moderno. La concentración metálica tiene lugar preferencialmente en ciertos ambientes, niveles y trampas deposicionales. A su vez el contexto de formación y el emplazamiento espacial de cada yacimiento definen el tamaño, la forma y la composición de las partículas portadoras de oro, características que en última instancia dictarán las metodologías de recuperación minera y mineralúrgica del preciado metal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AZEVEDO R.A. de (1985). Estudio geológico-minero de la Rinconada. Tesis de grado UMSA. La Paz, 121 pp. + anexos.

BAMIN (1977). Tipuani. Rev. BAMIN nº 93. La Paz, 64 pp.

DELAUNE M., PREVOST J., ARGOLLO J., FORNARI M., HERAIL G., LAUBACHER G. y VISCARRA G. (1986). Evolución del oro y del contenido mineralógico de los aluviones del lecho actual del río Tipuani. VIII Congr. Geol. de Bol., La Paz, pp. 28-29.

FREYDANCK H.G. (1965). Los placeres auríferos al pie de la Cordillera Oriental de Bolivia. Inf. DENAGEO. La Paz, 52 pp. + anexos.

HERAIL G., ARGOLLO J., FORNARI M., LAUBACHER G. y VISCARRA G. (1986). El distrito de Tipuani: Geología e Historia (parte I). Khrysos nº 2. La Paz, pp. 9-15.

RUIZ E. (1972). Estudio geológico y evaluación de los yacimientos auríferos de la región de Tipuani-Isubuaya. Tesis de grado UMSA. La Paz, 81 pp. + anexos.

(1972). La explotación del oro boliviano. Min. Bol. nos. 27, 28 y 29. La Paz, 104 pp.

STOLL W.C. (1961). Tertiary channel gold deposits at Tipuani, Bolivia. Econ. Geol. vol. 56, pp. 1258-1264

TISTL M. (1985). Die Goldagerstätten der nördlichen Cordillera Real Bolivien, und ihr geologischer Rahmen. Berl. Geowiss., Abhandl.,reihe A, B.65, 93 pp.

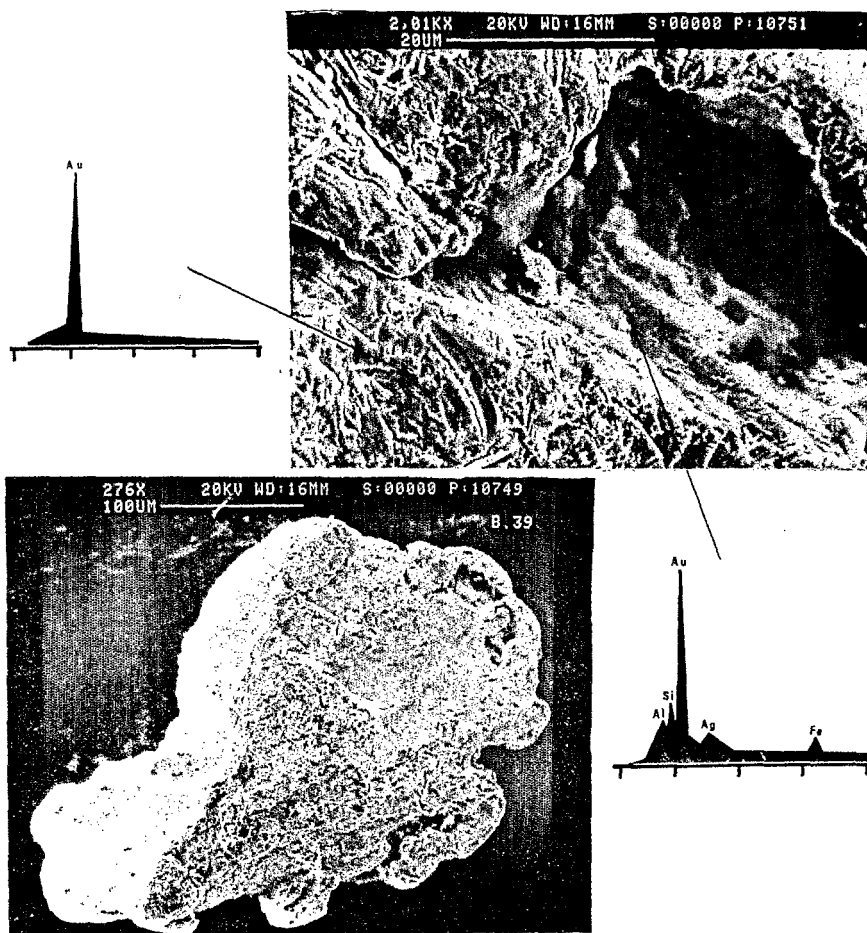


Foto 10 Microfotografía al MEB de una laminita de oro procedente del lecho del río Tabacuni. A pesar de este origen, no exhibe acentuadas marcas de acarreo y conserva aún en una cavidad del borde superior derecho, ampliada en la foto de arriba — algunas formas cristalinas primarias. El análisis químico revela un déficit de plata en superficie en tanto que el espectro de la cavidad se mantiene bastante parecido al de las partículas de los yacimientos primarios. Las rayas blancas de 100 y 20 micrones dan las escalas (foto ORSTOM).