

EVOLUCION DE LAS PARTICULAS DE ORO EN EL TRANSCURSO DE LA FORMACION DE UN PLACER FLUVIATIL: EL CASO DE LOS PLACERES DE TIPUANI (ANDES, BOLIVIA)

Gérard HÉRAIL — ORSTOM, C.P. 8714, La Paz-Bolivia

Michel FORNARI — ORSTOM, 213 rue La Fayette, F75480 Paris CEDEX 10

Giovani VISCARRA — UMSA, Instituto de Geodinámica y Limnología, Casilla 12198, La Paz-Bolivia

Vitaliano MIRANDA — GEOBOL, Casilla 1219, La Paz-Bolivia

ABSTRACT

Using the studies of gold particles sampled in river beds of the Tipuani-Mapiri basin (amazonian slope of the Cordillera Real of the bolivian Andes) the evolution of the morphology and composition of gold particles occurring during their transportation in river beds is described. The morphology of the gold flakes shows a progressive transformation with the distance of transportation : increasing of bluntness and flattening, formation of characteristic forms (striations, bendings, sandwiched structures). High-fineness rim surrounding lower-fineness core is created on the gold flakes periphery, however these transformations in the composition are not only related to transport and distance of carry but also to their stay in alluviums which have been weathered. These studies allow to describe the itinerary of gold particles contained in alluviums and also to renew the classical stream sediment prospectation.

INTRODUCCION

En un placer, la composición de las partículas de oro cambia cuando uno se aleja de las fuentes primarias (Mc Connell, 1907) y el oro es más fino que en las mineralizaciones primarias (Fisher, 1945). Análisis detallados han mostrado (Ramdohr, 1965; Desborough, 1970) que este aumento de la finesa media se debe a que las partículas de oro adquieren una aureola de alta finesa, mientras que el corazón conserva una composición comparable a la de las mineralizaciones primarias de las cuales proceden. Es así como la composición del corazón de las partículas de oro detrítico puede ser considerada, en cierta manera, como una memoria de la composición de las mineralizaciones primarias de las cuales proceden (Desborough et al., 1970; Giusti y Smith, 1984, por ejemplo). Al mismo tiempo, la forma de las partículas de oro es modificada en el curso del transporte (Ramdohr, 1965; Yeend, 1975; Hérail, 1980, 1984). Estas modificaciones dependen de la distancia recorrida y del ambiente de transporte.

El estudio conjunto de la composición de las partículas de oro y de su morfología ha sido usado para reconstituir la evolución de paleoplaceres como el Witwatersrand, con el objetivo principal de separar las partículas de oro de origen detrítico de aquellas que pudieron ser neoformadas (Saager, 1969; Hallbauer y Utter, 1977; Utter, 1979; Hallbauer, 1981). El mismo método aplicado a placeres recientes (Cenozoicos a Actuales) permite una descripción más precisa de la génesis de estos yacimientos (Gorshkov et al., 1972; Yablakova y Ryshov, 1973; Hérail, 1984; Giusti, 1986). Análisis de este tipo han sido efectuados con el propósito de remontar a las áreas fuentes que han proporcionado el mineral contenido en los yacimientos detríticos (Hallbauer y Utter, 1977; Hérail et al. 1988).

En este trabajo, a partir del análisis de partículas de oro de los placeres de los ríos Tipuani y Consata-Mapiri, ubicados en la

vertiente amazónica de la Cordillera Real, en el norte boliviano, se pretende caracterizar la evolución morfológica y química de las partículas de oro en un ambiente fluvio-torrencial conociendo el contexto geológico, la ubicación y características de las mineralizaciones primarias y las distancias recorridas en el curso del transporte.

LAS MINERALIZACIONES AURIFERAS DE LA CORDILLERA REAL EN SU CONTEXTO GEOLOGICO.

Uno de los distritos auríferos más importante de los Andes está ubicado en la Cordillera Real, al norte de La Paz. En esta región, el oro es extraído de vetas de cuarzo y, sobre todo, de aluviones. La mayoría de las mineralizaciones primarias (distrito de Yani) están localizadas sobre el flanco noreste de la Cordillera (fig. 1). Corresponden a mantos y vetas de cuarzo grisazulados contenidos en las areniscas con intercalaciones pelíticas del Ordovícico superior. La potencia de estas vetas es muy variable pero, generalmente, no sobrepasa los 50 cm. Muchas veces, en una misma zona están agrupadas en familias de 10 a 20 vetas paralelas (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964; Tistl, 1985).

La paragénesis está constituida, además del cuarzo, por chlorita, albita, pirita, arsenopyrita, chalcopirita y phirrotita; la esfalerita, galena y scheelita están presentes pero son escasas (Tistl, 1985). El oro ha sido detectado en microinclusiones en los sulfuros pero se presenta generalmente bajo la forma de cristales xenomorfos (fig. 2), de tamaño muy variable, en el cuarzo.

Las areniscas en las cuales están emplazadas las vetas de cuarzo aurífero, contienen también rocas espelitizadas que afloran en forma de sills que alcanzan hasta varios metros de potencia, asociadas a facies de pelitas negras, ricas en sulfuros. Estas rocas han sido definidas como el producto de un magmatismo submarino sinsedimentario (Tistl, 1985), lo que sugiere que las mineralizaciones auríferas de la zona de Yani-Ananea se emplazaron en un contexto comparable al que fue descrito para las mineralizaciones de la Cordillera de Apolobamba, en el sur del Perú (Fornari y Bonnemaison, 1984).

Fuera de la faja de terrenos del Ordovícico superior, existen mineralizaciones auríferas emplazadas en el Silúrico (mina Progresiva) o en las corneanas que rodean el Illampu (mina Marcamarcani, Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964). Estas minas son explotadas pero son de escasa producción. En el Llanvirniano de la falda norte de la Cordillera Real existen vetas de cuarzo aurífero potentes de unos centímetros a unos decímetros que constituyen importantes fuentes de oro para los placeres desarrollados en la cuenca de Tipuani-Mapiri (Hérail et al., 1988).

La parte más importante de la producción de oro de los Andes del norte de Bolivia, procede de los aluviones de la cuenca Tipuani-Mapiri y, particularmente, de los valles de los ríos Tipuani y Consata-Mapiri (fig. 1). La cuenca de Tipuani-Mapiri se extiende, con rumbo NW-SE, sobre cerca de 200 Km, paralelamente a las estructuras de la Cordillera Oriental, entre la cordillera y el sudandino. Sedimentos neógenos (Formación Cangalli), cuyo espesor es muy variable pero nunca sobrepasa los 500 metros, rellenan parcialmente una paleored fluvial (Frochot, 1901; Stoll, 1961; Freydanck, 1965; Fornari et al., 1987). La distribución de las facies sedimentarias es controlada por esta paleotopografía: conglomerados fluvio-torrenciales aguas arriba de los paleovalles al pie de la cordillera; conglomerados fluviátiles aguas abajo; arenas y limos de llanura de inundación aguas abajo entre los principales paleoríos. Nunca se observaron sedimentos lacustres, lo que indica que la cuenca de Tipuani-Mapiri no fue endorreica. El relleno de la cuenca finaliza con la edificación de abanicos aluviales en la zona norte (Formación Chimote) o de terrazas aluviales en la zona centro y sur. Posteriormente se encaja la red hidrográfica y en los valles se edifican las terrazas cuaternarias.

En la Formación Cangalli, los tenores de oro varían con la geomorfología (Freydank, 1965; Héral et al., 1966). Las facies con más alto tenor (varios g/m^3) corresponden a los conglomerados fluvio-lotenciales conservados a una altura, en el fondo de los paleocanchales. Los tenores disminuyen a una altura en las facies fluviales, mientras que las facies intermedias y de llanura de inundación son estériles o muy pobres. La Formación Cangalli, como las mineralizaciones primarias de la cordillera, provee de oro a los aluviales cuaternarios y actuales.

En el lecho de los ríos Tipuani, Challana y Consata-Mapiri, así como en sus terrazas, los tenores pueden sobrepasar varios gramos por metro cúbico. Estos ríos drenan tanto las zonas mineralizadas de la Cordillera Real como la cuenca Cangalli (fig. 1). Los tenores son mucho más bajos (generalmente inferiores a $0,5 g/m^3$) en los aluviones de los ríos cuya cuenca vertiente es más reducida y alimentada solo por aportes locales, como por ejemplo los ríos Mariapo o Chimate (fig. 1).

EVOLUCION MORFOLOGICA DE LAS PARTICULAS DE ORO A LO LARGO DE SU TRANSPORTE EN LOS RIOS DE LA PARTE CENTRAL DE LA CUENCA DE TIPUANI-MAPIRI.

A lo largo del Tipuani y del Consata-Mapiri, el oro se distribuye desde las cabeceras, a una altura media de 4000 m donde fue notable la influencia de los glaciares cuaternarios, hasta la confluencia de estos ríos en la región de Guanay, a 520 m de altura, en plena selva tropical.

El oro liberado por la erosión de las mineralizaciones primarias de la Cordillera Real está constituido por chispas xenomorfas de oro libre cuyo tamaño es muy variable y cuyas formas son irregulares. La mayoría de las chispas tienen una morfología general en "copitos" pero presentan siempre caras cristalinas muy bien conservadas (fig. 2). Esta morfología evoluciona progresivamente en el transcurso del transporte: las formas cristalinas primarias están poco a poco borradas pero la topografía y el contorno general de las partículas de oro quedan muy irregulares, sobre la superficie aparecen estrías y marcas de impactos así como repliegues de las extremidades (fig. 2). Tanto en el lecho del Tipuani como en el del Consata-Mapiri en menos de 16 kilómetros, generalmente han desaparecido todas las formas cristalinas. Más luego se van regularizando los bordes y la topografía, adquiriendo las partículas de oro una forma general de lámina ("oro laminado") subcircular a ovalada (fig. 2). Luego, al cabo de un recorrido del orden de 30 kilómetros aproximadamente, las partículas han sido tan aplastadas por el amartillamiento que la lámina de oro se conforma en una muy delgada debiéndose fácilmente así a aparecer muchas partículas dobladas o incluso enteramente dobladas entre sí mismas (fig. 2).

Esta evolución morfológica general de las partículas de oro conduce a un aumento del aplastamiento que puede ser cuantificado. Para definir este parámetro para cualquier de los granos que componen un sedimento, han sido propuestos varios índices como el factor Corey (Corey 1949 in Lourtelot y Riley, 1973, Hansen y Viaune, 1979) o el índice de aplastamiento de Cailleux (Cailleux y Tricart, 1959). Es este último índice que hemos usado para definir el aplastamiento de las partículas de oro basado en la relación $(L+1) / 2e$ donde L es el largo de la partícula, l el ancho y e el espesor; el valor del índice de aplastamiento de una partícula esférica o cúbica es de 1. Los valores se determinan por cada partícula pero se puede hacer la media de la población que compone cada una de las muestras de sedimento tomadas a lo largo de los ríos.

Tanto en el Tipuani como en el Consata-Mapiri, el valor medio del índice de aplastamiento de las partículas de oro aumenta con la

distancia recorrida desde las fuentes primarias (fig. 3). Los granos de oro proporcionados por la erosión de los cuarzos auríferos del Paleozoico tienen un índice de aplastamiento cuyo valor es del orden de 2 a 3. Al cabo de un transporte de unos treinta kilómetros, el valor medio del índice de aplastamiento es del orden de 9 y sube a valores medios del orden de 15 para un transporte de aproximadamente 60 km. Más allá el índice de aplastamiento medio de las partículas recuperadas no aumenta de manera sensible con la distancia recorrida (fig. 3) porque las chispas son tan delgadas que se repliegan sobre si mismas.

Así, a lo largo de un río se observa una evolución progresiva de la morfología de las partículas de oro y un aumento regular del valor medio del índice de aplastamiento, al menos en el caso considerado, durante los 70 a 80 primeros kilómetros recorridos. Un exámen más detallado de la evolución de los individuos que componen las diferentes poblaciones muestra la existencia de ciertas heterogeneidades. Tanto a lo largo del Tipuani como del Consata-Mapiri, el aumento regular del índice de aplastamiento medio (fig. 3) concuerda con la existencia, en gran parte del recorrido, de partículas aplastadas con individuos (2 a 8% de la población) (fig. 4) cuyo índice de aplastamiento es inferior a 4 es decir del orden de las partículas que acaban de ser liberadas por la erosión de las vetas de cuarzo. El exámen morfológico llevado a cabo, tanto en los ríos principales como en sus afluentes, permite caracterizar estas partículas: tienen un contorno irregular, no presentan redoblamientos, son poco aplastadas y su topografía es irregular. En las cavidades se conservan formas cristalinarias primarias (fig. 2). Todas estas observaciones sugieren que estas partículas han sido transportadas sobre distancias muy cortas - inferiores a unos kilómetros -, lo que indica que, además de las mineralizaciones primarias ya conocidas en la Cordillera Real, existen otras mineralizaciones ubicadas más al norte, en el Paleozoico que aflora en la cuenca Tipuani-Mapiri (fig. 1). Una prospección reorientada a partir de dichas observaciones permitió ubicar nuevas mineralizaciones primarias (Hérail et al., 1988).

EVOLUCION DE LA COMPOSICION DE LAS PARTICULAS DE ORO A LO LARGO DE LOS VALLES DEL TIPUANI Y DEL CONSATA-MAPIRI.

El análisis de la composición de las partículas de oro contenidas tanto en las mineralizaciones primarias como en los aluviones, ha sido hecho con microsonda sobre secciones pulidas, siguiendo transectas que atraviezan la sección. Para cada partícula se hicieron entre 7 y 36 medidas, con el fin de observar las eventuales variaciones espaciales y recalcar, en el caso de las partículas de origen aluvial, la evolución de la composición desde el centro hacia los bordes.

El oro contenido en las vetas de cuarzo aurífero de la región de Yani contiene 4,5 a 6% de plata y en proporciones inferiores al 0,05% Cu, As, Fe, Ni. En las mineralizaciones primarias emplazadas en el Paleozoico de la cuenca de Tipuani-Mapiri (fig. 1), el oro contiene alrededor de 8% de plata, 0,01 a 0,04% de Cu, 0,01 a 0,05% de Fe y de As; a pesar de ligeras diferencias no se puede decir que su composición sea significativamente diferente a la del oro de la zona de Yani. En cambio, tanto los datos obtenidos de estudios anteriores (Tistl, 1985) como de análisis hechos sobre partículas de oro recolectadas en las cabeceras de los ríos de la región de Ananea (fig. 1), parecen indicar la existencia de mineralizaciones con oro aún más rico en plata (de 13 a 18%). Si bien existen diferencias de composición del oro a escala regional, nunca hemos notado variaciones de composición ni a la escala de un yacimiento ni a la escala de las partículas; en ningún caso se pudo poner en evidencia la existencia de fases de composición diferente en una misma partícula. En general, el oro procedente de las fuentes primarias de la Cordillera Real y cuya evolución es seguida en los aluviones cuaternarios es muy puro, siendo su fineza del orden de 940 a 960, salvo en la zona de Ananea donde puede descender a valores del orden de 880. El oro y la plata son los

Componentes casi exclusivos de estas partículas y en este trabajo sólo se considera la evolución de la repartición de estos dos elementos.

Los resultados analíticos están sintetizados en la figura 5, donde se representa únicamente la proporción de oro. La diferencia corresponde casi exclusivamente a la plata. Las partículas 1 a 3 proceden del Paleozoico, las partículas 4 a 14 del lecho del río Tipuani, la partícula 15 del lecho de Mariapo y las partículas 16 a 22 de las terrazas del Consata-Mapiri. Se puede apreciar una evolución de la composición de las partículas de oro desde las zonas fuentes hasta los aluviales, caracterizada por un aumento de la fineza media. Este aumento se debe, en ciertos casos, a una disminución general de la proporción de plata en todas las zonas analizadas mientras que, en el resto de los casos, se explica por la aparición de una zona periférica de oro casi puro, conservando el centro de la partícula una composición semejante a la del oro de las mineralizaciones primarias.

El exámen de las variaciones de composición se puede hacer considerando cada una de las partículas de oro en su contexto geológico (fig. 5). En los aluviones del lecho del río Tipuani, desde las cabeceras (muestra n^o 4) hasta la confluencia de este río y del Mapiri (n^o 14), se observan partículas de composición diferente. Las que están contenidas en las cabeceras de los ríos de la cuenca del Tipuani (fig. 1) tienen la misma composición que las que se encuentran en las mineralizaciones primarias, donde no aparece tampoco ninguna aureola enriquecida en oro. Aguas abajo, entrando a la Cuenca Cangallí - donde afloran los aluviones terciarios de la Formación Cangallí y las terrazas aluviales cuaternarias - aparece, en los aluviones del lecho del río Tipuani, una población heterogénea constituida por una mezcla de individuos de composición diferente (fig. 5):

- partículas de composición idéntica a la de las mineralizaciones primarias sin aureola depurada (n^o 11) o con composición aún muy parecida a la de las chispas de las mineralizaciones primarias pero con aparición de una zona periférica ya localmente enriquecida en oro (n^o 8),

- partículas que no presentan variación espacial de composición y que son muy pobres en plata (n^o 9, 12, 13); a este grupo se pueden añadir partículas también pobres en plata pero que presentan una diferencia de contenido en oro notorio entre el centro y la periferia (n^o 10),

- partículas que presentan grandes diferencias espaciales de composición (n^o 14): a zonas muy ricas en oro cuya fineza puede alcanzar 999 correspondientes a la aureola periférica se oponen zonas más ricas en plata, situadas al centro de la partícula y cuya composición es parecida a la del oro de las mineralizaciones primarias.

Considerando una sola muestra de aluviones del lecho del río Tipuani, tomada en el contacto con el bed-rock, se puede observar que contiene una mezcla de individuos (fig. 5, n^o 8 a 13) de composición muy diferente. Ciertas partículas (n^o 11) tienen una composición idéntica al oro contenido en las vetas de cuarzo de la Cordillera y pueden proceder directamente de la erosión de las mineralizaciones primarias. Otras partículas (n^o 9, 10, 12, 13) son mucho más ricas en oro que las mineralizaciones primarias conocidas tanto en la Cordillera como en el Paleozoico de la cuenca de Tipuani-Mapiri y pueden proceder de la erosión ya sea de la Formación Cangallí ya sea de las terrazas cuaternarias.

En el sistema de terrazas del Consata-Mapiri (fig. 1) las partículas de oro (fig. 5, n^o 16 a 22) procedentes de niveles suficientemente antiguos para que se haya desarrollado un perfil de alteración, presentan generalmente una aureola de oro con alta fineza, mientras que la proporción de plata aumenta hacia el corazón. Las partículas 16 y 17 proceden de los aluviones de la base de una terraza media del río Consata-Mapiri: la partícula 16 tiene, en el centro, una

composición comparable a la del oro de las mineralizaciones primarias de la Cordillera, y en el borde una aureola de alta fineza; en cambio la partícula 17 es mucho más rica en oro. Las partículas 18 y 19, que proceden de los niveles más alterados de este sistema de terrazas, tienen una fineza media superior a 990 y no presentan notables diferencias espaciales de composición. Procediendo de un medio semejante, la partícula n° 20 presenta una clara zonación con aureola de oro casi puro en la periferia mientras que la fineza desciende hacia el centro. Las partículas 21 y 22 proceden de la base de la capa aluvial de una de las terrazas más antiguas del valle medio del Consata-Mapiri, las muestras fueron sacadas por debajo del frente de alteración; en las dos partículas aparece un nítido efecto de borde pero en el centro, la composición permanece muy parecida a la del oro de las mineralizaciones primarias.

En el lecho de ríos secundarios (Mariapo, Chimate...), cuyas cabeceras no alcanzan la Cordillera desarrollándose el curso sobre todo en la cuenca Cangallí pueden aparecer, entre chispas muy transformadas, partículas de oro (n° 15) cuya composición es homogénea y comparable a la del oro de las mineralizaciones primarias. Además estas partículas de oro tienen una morfología poco evolucionada lo que sugiere la existencia de dichas mineralizaciones fuera de la zona cordillerana.

CONCLUSION

A partir del análisis de la evolución de la morfología y de la composición de las partículas de oro muestreadas en unos ríos de la vertiente amazónica de los Andes de Bolivia, se muestra que:

1.- En el caso de un río cuyo curso se desarrolla en una cordillera, existe una clara correlación entre la morfología de las partículas de oro y la distancia recorrida. Esta evolución se nota por la desaparición de las formas cristalinas heredadas de la cristalización del oro en las vetas y por la neoformación de estructuras particulares: estrias, replegamientos, doblamientos... Durante las primeras decenas de kilómetros recorridos (alrededor de 70 a 80 Km, en el caso estudiado) estas transformaciones coinciden con el aumento progresivo del índice de aplastamiento; aguas abajo, el valor de este índice no aumenta.

2.- La evolución de la composición de las partículas de oro no está directamente relacionada a la distancia recorrida pero, sí refleja el itinerario que han seguido. En los aluviales de las cabeceras se encuentran partículas de composición parecida al oro de las mineralizaciones primarias y no tienen aureola enriquecida en oro. En cambio, aguas abajo, cuando los valles se ensanchan conservando varias generaciones de sedimentos auríferos y sistemas de terrazas - hoy en día alteradas - la población de partículas de oro recolectada en el lecho de los ríos es heterogénea. Está constituida por partículas cuya composición es comparable a la del oro de las mineralizaciones primarias y por partículas más ricas en oro, algunas de las cuales presentan una clara aureola de alta fineza. En el presente estudio, es en las terrazas donde hemos encontrado las partículas más transformadas desde el punto de vista químico y es de suponer que es la erosión de estos sedimentos auríferos la que provee de partículas de alta fineza a los aluviales actuales de los ríos.

3.- El análisis conjunto de la morfología y composición de una población de partículas de oro, permite caracterizar las diferentes fuentes que han alimentado un placer y aproximar las distancias recorridas por las partículas. Estos estudios proporcionan datos que, además de permitir una mejor comprensión de la formación de los placeres, ayudan a reorientar la prospección de mineralizaciones primarias.

REFERENCIAS

- AHLFELD, F. y SCHNEIDER-SCHERBINA, A., 1964. Los yacimientos minerales e hidrocarburos de Bolivia. Bol. Esp. Dep. Nac. Geol. Bolivia, 5, 388 p.
- BOYLE, R.W., 1979. The geochemistry of gold and its deposits. Geol. Surv. of Canada. Com. Geol. du Canada, Bull. 280, 584 p.
- CAILLEUX, A. y TRICART, J., 1959. Initiation à l'étude des sables et des galets. Cent. Doc. Univ. Paris, 3 tomos, 364, 194 y 202 p.
- DESBOROUGH, G.A., 1970. Silver depletion indicated by microanalysis of gold from placer occurrences, Western United States. Econ. Geol. 65, p 304-311.
- DESBOROUGH, G.A.; RAYMOND, W.H. y IAGMIN, P.J., 1970. Distribution of silver and copper in placer gold derived from the northeastern part of the Colorado Mineral Belt. Econ. Geol. 65, p 937-944.
- FISHER, N.H., 1945. The fineness of gold with special reference to the Morobe goldfield. New Guinea. Econ. Geol. 40, p 449-495 y p 537-563.
- FORNARI, M. y BONNEMAISON, M., 1984. Mantos et amas sulfoarsenié à or: la Rinconada, premier indice de minéralisation de type exhalatif-sédimentaire dans la Cordillera Oriental du Pérou. Chron. Rech. Min., 474, p 33-40.
- FORNARI, M.; HERAIL, G.; VISCARRA, G., LAUBACHER, G. y ARGOLLO, J., 1987. Sédimentation et structure du bassin de Tipuani-Mapiri: un témoin de l'évolution du front amazonien des Andes du Nord de la Bolivie. C.R.. Acad. Sci. Paris, 305, série II, p 1303-1308.
- FREYDANCK, H.G., 1965. The gold placer deposits at the foot of the Eastern Cordillera of Bolivia. Ined, 52 p.
- FROCHOT, M., 1901. Les gisements de Tipuani. An. des Mines, 9 ser., 19, p 149-185.
- GIUSTI, L., 1986. The morphology, mineralogy and behavior of "fine-grained" gold from placer deposits of Alberta: sampling and implications for mineral exploration. Can.J. Earth Sci. 23, p 1662-1672.
- GIUSTI, L. y SMITH, D.G.W., 1984. An electron microprobe study of some Alberta placer gold. Ischermaks Min. Pet. Mitt. 33, p 187-202.
- GORSHKOV, L.S.; NICOLAYEVA, L.A. y EPSHTEYN, Y.A., 1972. Changes in gold during development of fluvial and marine placers, as in Khualaza area, southern Marine Province. Int. Geol. Rev. 14, 8, p 802-807.
- HALBAUER, D.K., 1981. Geochemistry and morphology of mineral components from the fossil gold and uranium placers of the Witwatersrand. U.S.. Geol. Surv. Prof. Pap. 11161- M, M1-M18.
- HALBAUER, D.K. y UTTER, T., 1977. Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent rivers and the fossil placer of the Witwatersrand. Min. Dep. 12, p 293-306.
- HANSEN, E. y VIAENE, W., 1979. Données minéralogiques sur les paillettes d'or de la bordure S et S.E. du massif de Stavelot. Bull. Soc. belge de Geol. 88, 3, p 225-235.
- HERAIL, G., 1980. Morphoscopie et composition des paillettes d'or du piémont du Teleno (Espagne): un guide pour l'étude de la formation d'un gisement. 26 Congrès Geol. Int. V, III, p 945.

HERAIL, G., 1984. Géomorphologie et géologie de l'or détritique (Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne). ed. CNRS, 456 p.

HERAIL, G.; RUIZ, E.; ARGOLLO, J.; FORNARI, M.; LAUBACHER, G. y VISCARRA, G., 1986. El distrito de Tipuani. Geología e historia (Parte II). Khrysos, 1, 3, p 7-14.

HERAIL, G.; FORNARI, M.; MIRANDA, V. y VISCARRA, G., 1988. Découverte de nouvelles minéralisations primaires d'or dans la Cordillère Royale de Bolivie à partir de l'analyse morphoscopique de paillettes d'or prélevées en alluvion. C.R. Acad. Sci. Paris, série II, en prensa.

Mc CONNEL, R.G., 1907. Report on gold values in the Klondike high gravels. Geol. Surv. of Canada. Mem. 284, p 217-238.

RAMDOHR, P., 1965. Rheingold als Seifenmineral. Jh. Geol. Landesamt Baden-Wurtemberg, 7, p 87-95.

SAAGER, R., 1969. The relationship of silver and gold in the Basal Reef of the Witwatersrand, South Africa. Min. Dep. 4, p 93-113.

STOLL, W.C., 1961. Tertiary channel gold deposits at Tipuani, Bolivia. Econ. geol. 56, p 1258-1264.

TISTL, M., 1985. Die Goldlagerstätten der nördlichen Cordillera Real (Bolivien) und ihr geologischer Rahmen. Berliner Geow. Abh., A, 65, 102 p.

TOURTELOT, H.A. y RILEY, L.B., 1973. Size and shape of gold and platinum grains. in Ore in sediments, G.C. Amstutz y A.J. Bernard ed. Springer-Verlag, p 307-319.

UTTER, T., 1979. The morphology and silver content of gold from the Upper Witwatersrand and Ventersdorp system of the Klerks- dorp goldfield, South Africa. Econ. Geol. 74, p 27-44.

VISCARRA, G., 1986. Geodinámica y distribución del oro en una cuenca intramontana andina, parte central de la Cuenca Cangalli: región de Tipuani-Mariapo. Tesis. Univ. Mayor de San Andrés, La Paz, ined. 68 p.

YABLACOVA, S. V. y RYZHOV, B.V., 1973. Role of "old" gold in supplying quaternary placers of Mariinsk Taiga. Int. Geol. Rev. 15, 10, p 1182-1185.

YEEND, W.E., 1975. Experimental abrasion of detrital gold. J. Res. V.S. Geol. Surv. 3, 2, p 203-212.

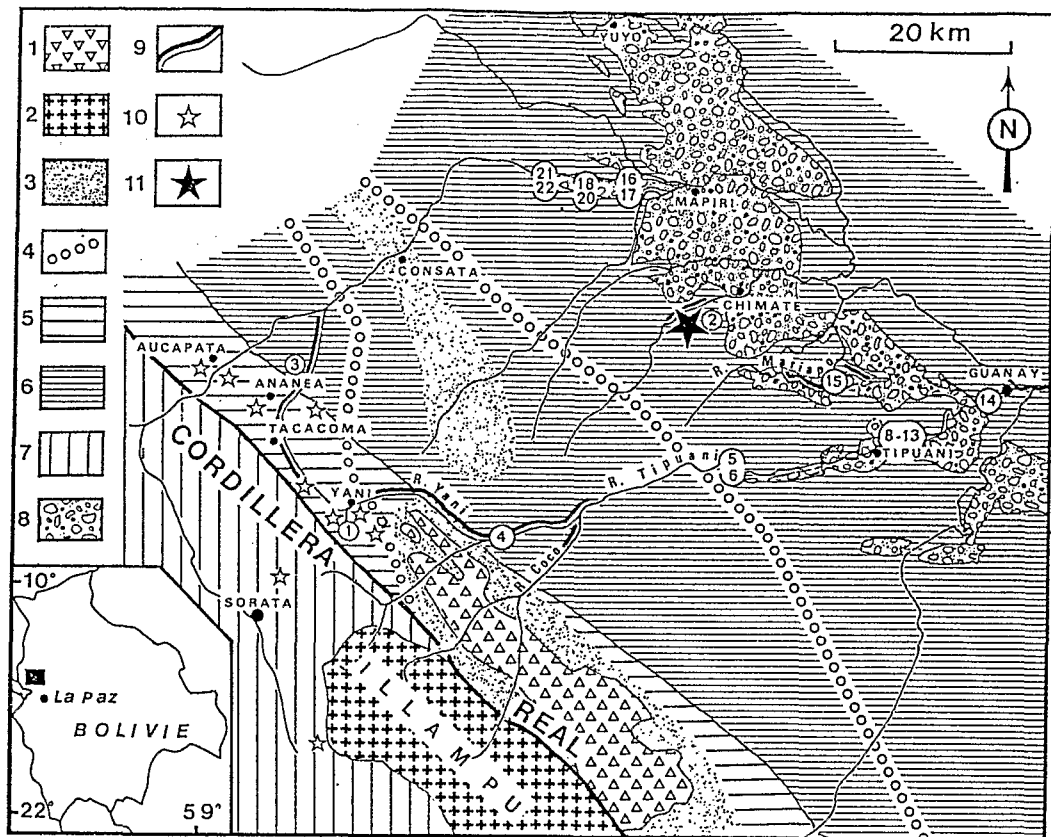


Fig. 1 : Geología y yacimientos de oro en la Cordillera Real de Bolivia. 1, granito de Zongo-Yani (eo-ercínico); 2, granodiorita del Illampu (triásica); 3, zona de metamorfismo térmico de alto y medio grado; 4, límite de la biotita; 5, areniscas y cuarcitas del Ordovícico superior; 6, pizarras negras del Ordovícico medio; 7, Siluro-devónico esquistos-areniscos; 8, conglomerados neógenos de la Formación Cangalli; 9, sectores de los ríos estudiados donde persisten partículas de oro poco evolucionadas; 10, mineralizaciones de oro primario conocidas en la Cordillera Real; 11, mineralizaciones de oro primario del Paleozoico de la cuenca de Tipuani-Mapiri. Los números indican la ubicación de las muestras analizadas en la figura 5.

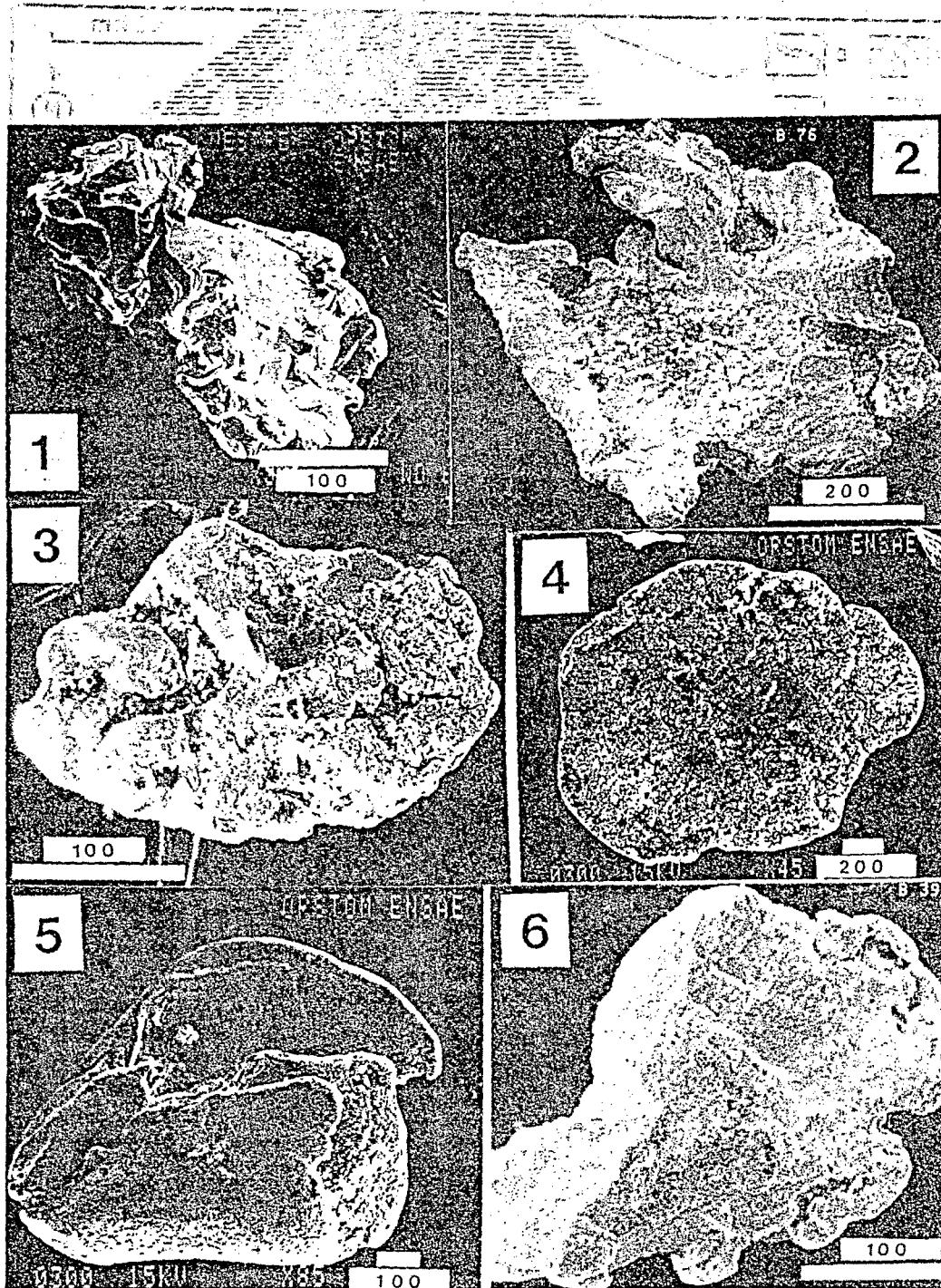


Fig. 2 : Evolución morfológica de las partículas de oro a lo largo de los ríos de la cuenca del Ipuani y del Mapiri. 1, grano xenomorfo, vetas de cuarzo de la Cordillera Real; 2, grano de contorno y topografía irregulares, sigue presentando formas cristalinas primarias, lecho del río Yaní en la zona mineralizada de la Cordillera Real; 3, partícula poco aplastada, contorno y topografía en vía de regularización, flecha=grano de cuarzo en la estria que creo; confluencia Ipuani-Coco; 4, "oro laminado", río Mapiri; 5, partícula de oro constituida por una lámina muy delgada (debido al aplastamiento) y replegada sobre sí misma; 6, partícula de morfología poco evolucionada lo que sugiere un transporte sobre poca distancia; fue recolectada en la zona de Chimate mezclada con chispas del tipo de la foto 4. Escala en micras.

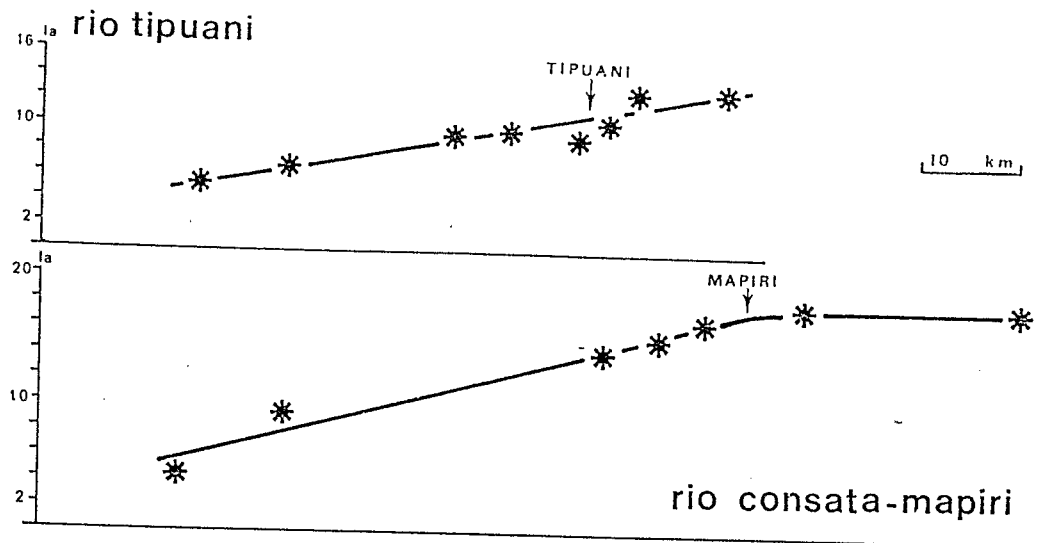


Fig. 3 : Evolución del índice de aplastamiento medio de las partículas de oro a lo largo del río Tipuani y del río Consata-Mapiri.

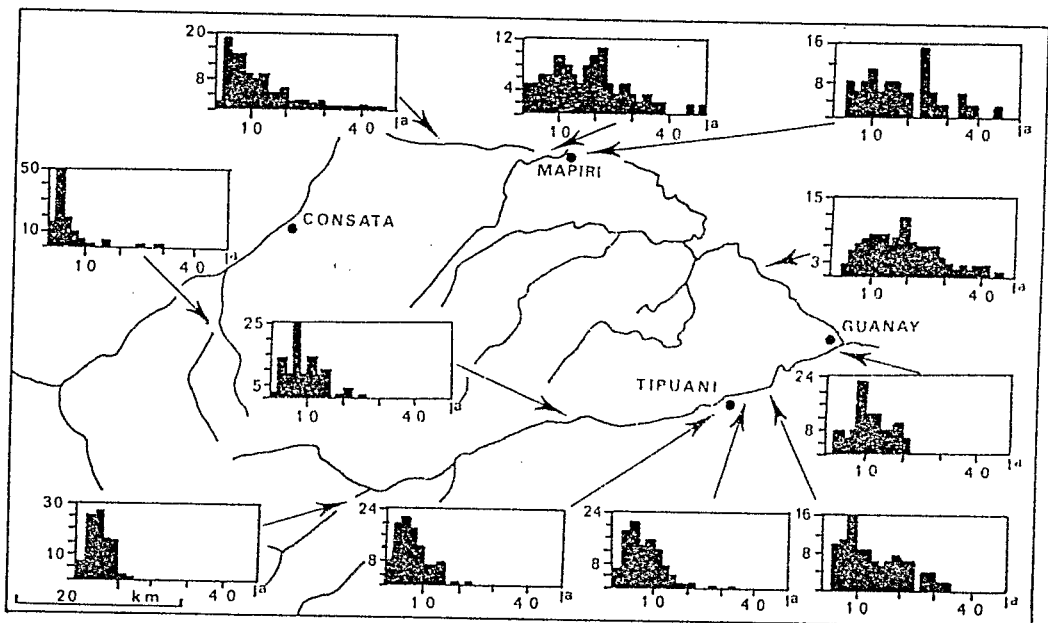


Fig. 4 : Histogramas del aplastamiento de las partículas de oro en los diferentes sectores de la cuenca-vertiente de los ríos Tipuani y Consata-Mapiri.

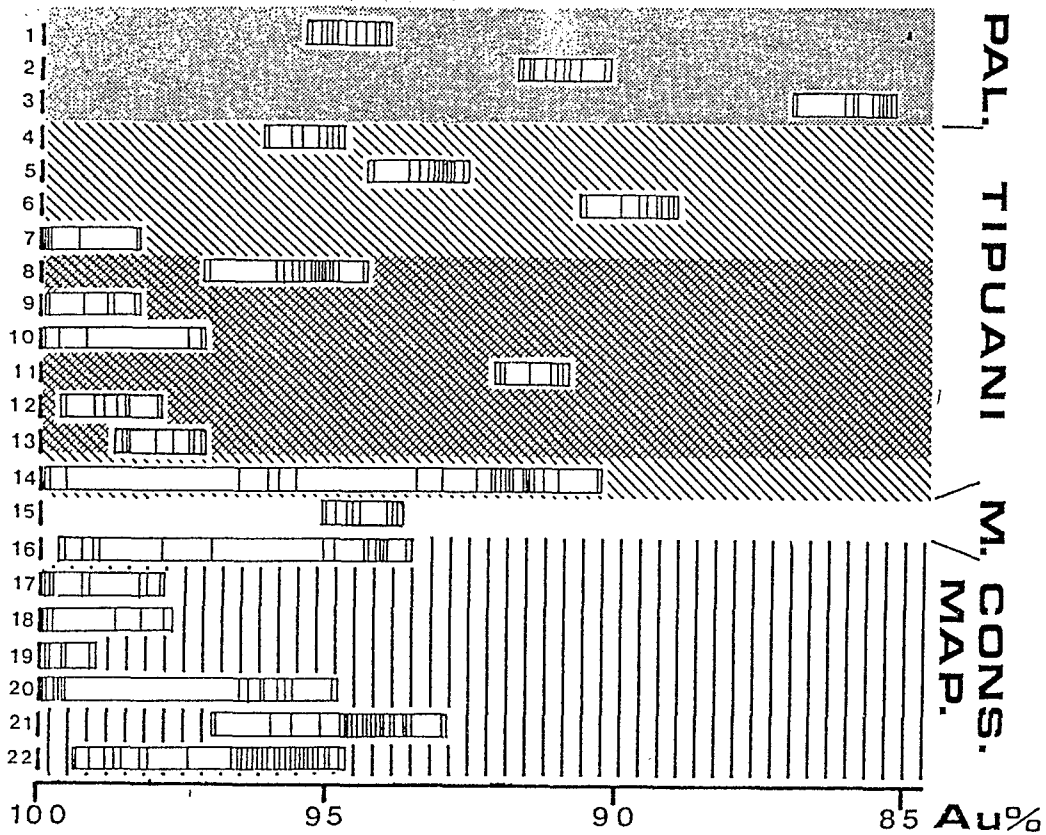


Fig. 5 : Evolución de la composición de las partículas de oro en los placeres de Tipuani-Mapiri. A la izquierda referencia de las muestras, para su ubicación ver fig. 1. Para cada partícula se ha representado (salvo si se solapan) el valor (rayas verticales) de todas las medidas de la proporción de oro hechas por microsonda en secciones pulidas. Las partículas de oro analizadas proceden de vetas de cuarzo del Paleozoico (PAL.), del lecho del Tipuani (TIPUANI) y del Mariapo (M.), así como de las terrazas cuaternarias del Consata-Mapiri (CONS.MAP.). Explicaciones en el texto.