

LOS PLACERES DE MADRE DE DIOS (SE PERU)

JEAN LANCKNEUS

Laboratorium voor Fysische Aardrijksbunde Ruksuniversiteit-Gent. Krijgslaan 281. B-9000 Gent, BELGIQUE

RESUMEN: Una prospección aluvial basada sobre concentraciones de minerales pesados fue efectuada en el Departamento de Madre de Dios (Perú sur-oriental). Los tenores en oro de los sedimentos en los cauces actuales varían de algunos mg/m^3 a varios centenares de mg/m^3 . Los sedimentos holocenos de la llanura de Madre de Dios arrojan tenores más altos y alcanzan fácilmente 3 a 4 g/m^3 . Un estudio detallado de los sedimentos aluviales permitió la identificación de 32 minerales pesados. Monacita negra se presenta en todos los ríos de la región. Técnicas de estadística demuestran que existen diferencias significativas entre la mineralogía de los sedimentos auríferos y los sedimentos estériles y que es posible diferenciar ambos tipos de depósitos con la ayuda de una muestra reducida usando algunos minerales comunes. La granulometría de las laminillas de oro fue analizada. No se observó ninguna evolución significativa en la granulometría de las laminillas y en el tenor en oro a lo largo de los ríos muestreados.

ABSTRACT: A prospecting survey based on heavy mineral concentrates was carried out in the Department of Madre de Dios (SE Peru). The gold content in the sediments of the present day point bars varies between some mg/m^3 and several hundreds of mg/m^3 , whereas the older Holocene placers of the alluvial plain of Madre de Dios reach average gold contents of 3 to 4 mg/m^3 . A detailed study of the alluvial sediments allowed the identification of 32 heavy minerals. Dark monazite is present in all rivers of the region. Statistical techniques show clearly that significant differences exist between the mineralogy of gold bearing and barren sediments. Both types of deposits can be distinguished with the help of small samples using only some common heavy minerals. The grain size characteristics of the gold particles was analysed. In the sampled area neither the gold content nor the gold particles size decrease with the distance over which they have been transported.

INTRODUCCION

El departamento de Madre de Dios (fig. 1), se situá en la parte sur-oriental del Perú y es limítrofe con Bolivia y Brasil. La mayor parte se ubica en la llanura amazónica, lo que explica que el acceso es difícil y las condiciones de vida y trabajo son penosos. Sin embargo, miles de personas trabajan en esta cuenca aurífera que tiene un inmenso potencial minero.

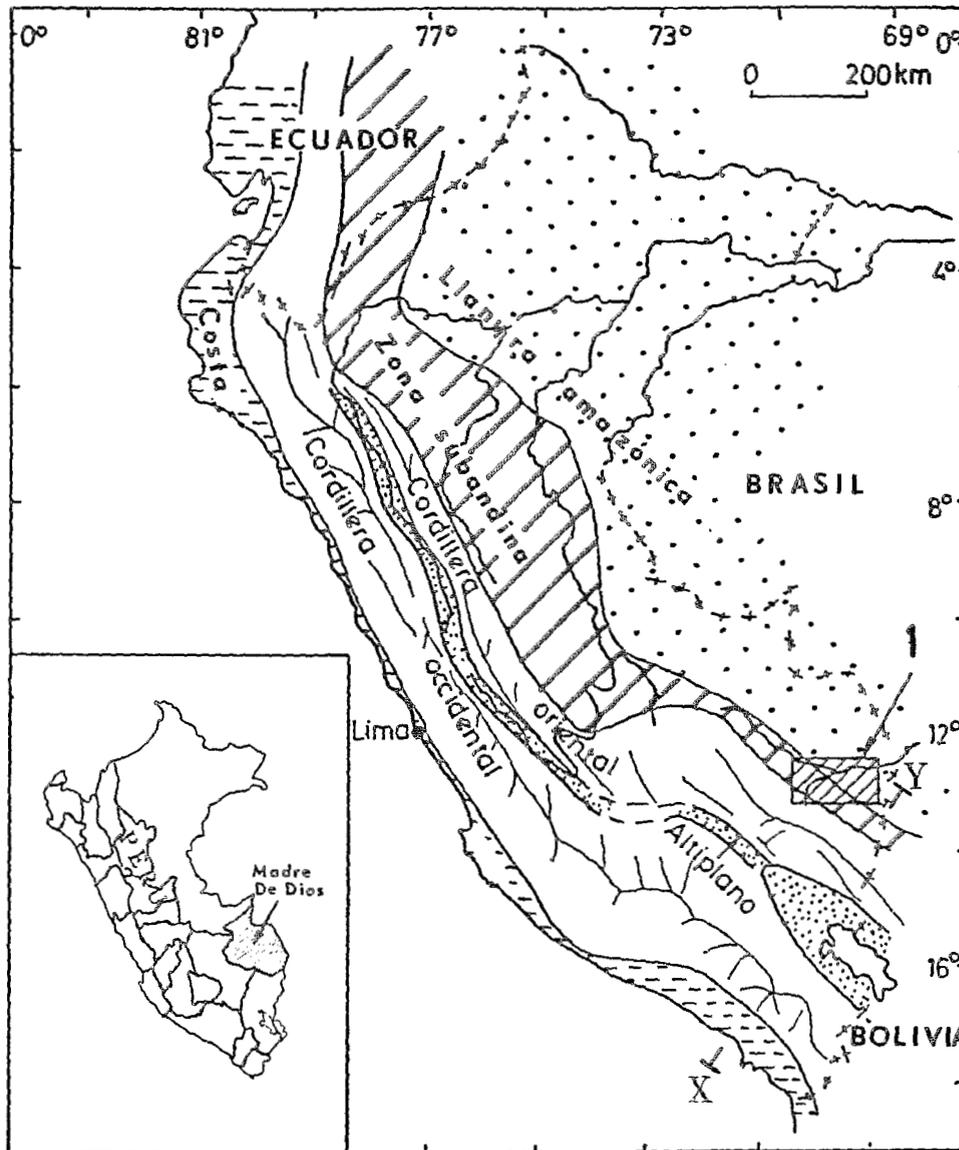


Fig. 1: Las unidades morfo-estructurales del Perú (1: ubicación de la parte estudiada)

Pocos estudios se han realizado en esta zona de más de 78.000 km². Un estudio de varios meses sobre el terreno permitió el muestreo de los placeres aluviales que se encuentran en la mayoría de los ríos. En total se tomaron muestras sobre una distancia de más de 1.200 km.

Tres aspectos principales de la sedimentología y de la mineralogía de los placeres fueron estudiados:

- a) la identificación de todos los minerales pesados y sus posibilidades de extracción como minerales secundarios con el oro;
- b) las correlaciones entre la presencia de ciertos minerales pesados y la morfología aluvial;
- c) la evolución granulométrica de las partículas de oro a lo largo de un río de varios centenares de kilómetros.

GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA DEL PERU SUR-ORIENTAL

La parte estudiada del departamento de Madre de Dios (fig. 2) comprende dos grandes unidades morfo-estructurales: la zona subandina y la llanura de Madre de Dios.

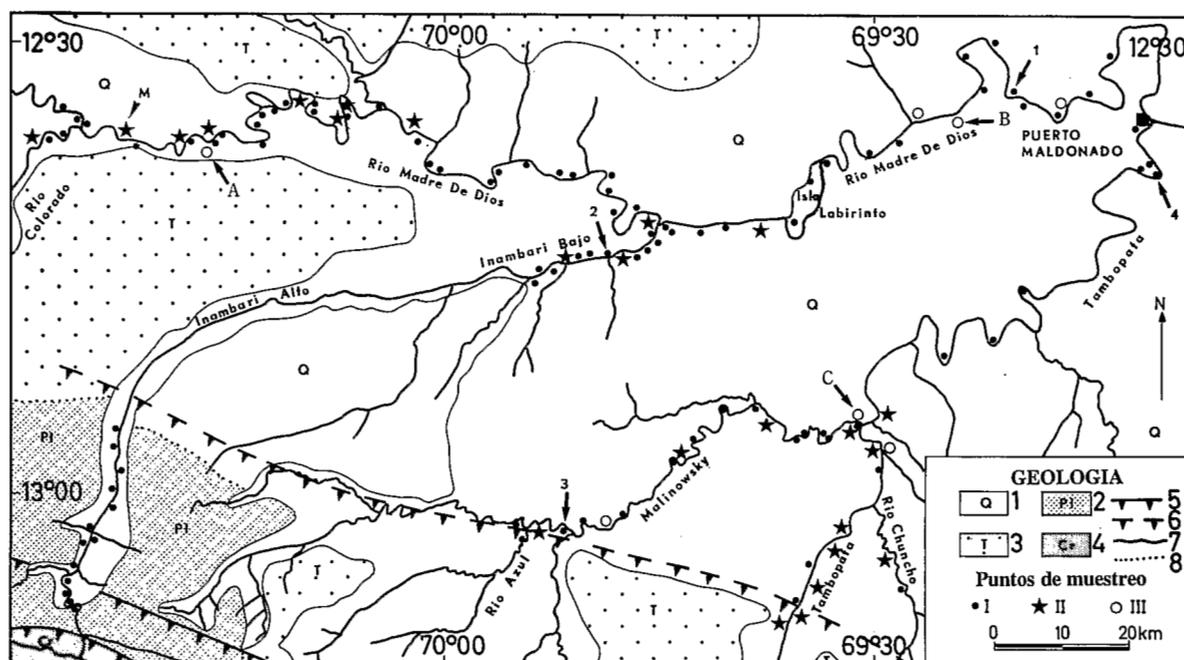


Fig. 2: Geología de la zona estudiada (fuentes cartográficas: Laubacher, 1978; Laubacher et al., 1984; Onern, 1972)

1: Depósitos aluviales cuaternarios (Q); 2: Formación Mazuko (PI); 3: Formación Capas Rojas (T); 4: Cretácico (Cr); 5: falla inversa; 6: falla inversa probable; 7: límite; 8: límite desconocido.

La ubicación de los puntos de muestreo se indica con los símbolos siguientes: I: punto de muestreo único; II: punto de muestreo detallado a lo largo de un point bar; III: punto de muestreo detallado en perfil. Las flechas indican: la ubicación de los perfiles A, B, C descritos en la figura 3; la ubicación de las muestras de oro 1,2,3 y 4 presentadas en los histogramas de la figura 7; la ubicación del meandro (M) está en la figura 8.

La zona subandina puede ser considerada como el piedemonte de la Cordillera Oriental y está conformada principalmente por la Formación de Capas Rojas que consiste en series continentales del Secundario y del Terciario. La secuencia entera fue plegada por la fase tardimiocena de la orogénesis andina (Laubacher, 1978). Encima de este conjunto continental yace la Formación Mazuko de la edad pliocena (Laubacher et al., 1984). Esta formación detrítica consta de varios centenares de metros de arenas, arcillas y conglomerados de color gris-marrón. La formación Mazuko es el resultado de la acumulación de grandes cantidades de material, arrastradas desde la cordillera y depositadas en el piedemonte por los ríos que desembocan en la llanura amazónica.

La llanura aluvial de Madre de Dios está constituida por una serie de depósitos fluviales del Cuaternario formada por gravas, arenas, limos y arcillas. El espesor de estos sedimentos no es bien conocido, pero pueden ser evaluados entre 30 y 40 metros. Un sondeo,

efectuado por la Andes Petroleum, encontró el bedrock a una profundidad de 40 m (Sanchez, 1979).

PLACERES DE ORO EN MADRE DE DIOS

PLACERES DEL PIEDEMONTE AMAZONICO

La erosión fluvial ha sido responsable de la formación de capas gruesas de sedimentos, derivados de la erosión de la Cordillera Oriental durante el Plioceno, que llenaron cuencas sedimentarias o que se acumularon en el piedemonte (como la Formación Mazuko). La presencia del oro en estos sedimentos (Bonnemaison et al., 1983) demuestra que la erosión de vetas de oro primario ya había empezado durante el Mio-Plioceno. La Formación Mazuko tiene un tenor que varía de 5 a 50 mg/m³. Esta actuó como un colector intermediario de oro procedente de la Cordillera Oriental. La importancia de los depósitos de piedemonte, como fuente de oro, para los placeres aluviales de la llanura de Madre de Dios, es probablemente muy importante.

PLACERES DE LA LLANURA AMAZONICA

El oro está presente en la mayoría de los sedimentos aluviales de la llanura de Madre de Dios. Dos clases de acumulaciones auríferas pueden ser distinguidas (Lanckneus, 1989 a):

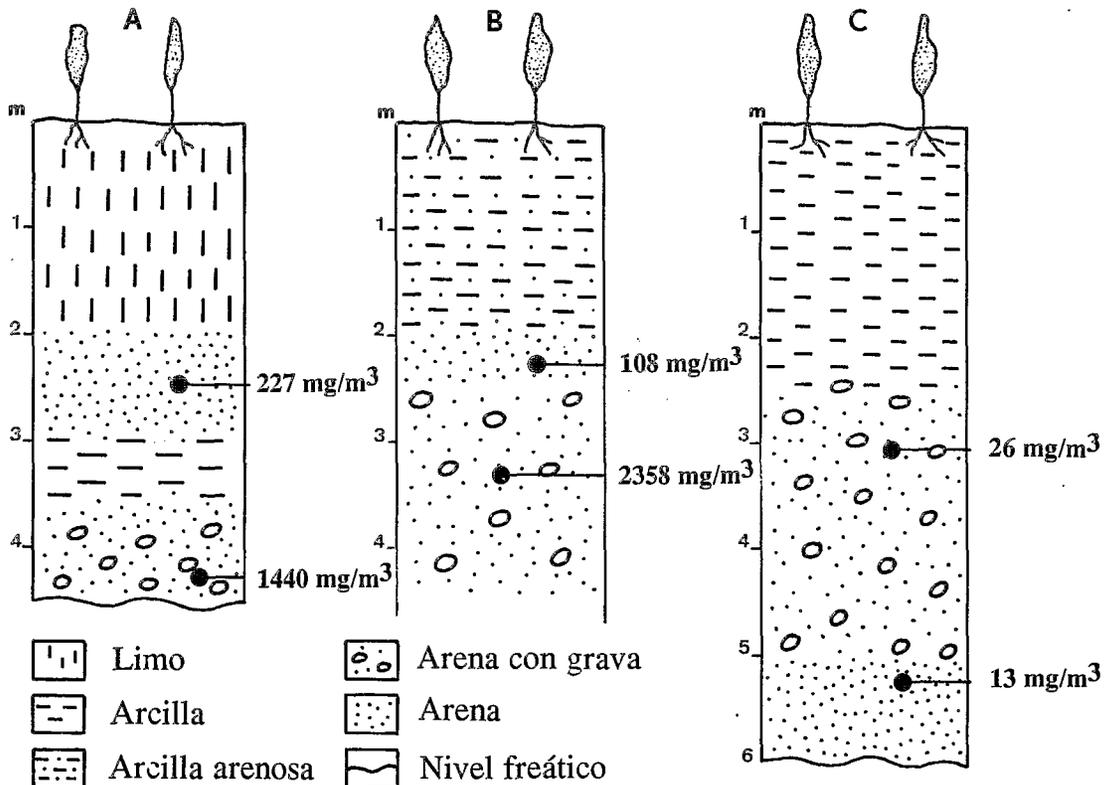


Fig. 3: Perfiles en los sedimentos aluviales holocenos (ubicación de los perfiles, ver figura 2).

a) Los cauces actuales

Los placeres más ricos se situan en las playas laterales y más específicamente en las orillas internas de los meandros (point bars). La explotación del oro se revela también posible en otros lugares, como por ejemplo en ciertas secciones del mismo lecho del río que pueden ser trabajadas durante la temporada seca. El tenor varía mucho de un sitio a otro. Ningún valor superior a 500 mg/m^3 fue personalmente encontrado en este tipo de placer. Mineros afirman que los tenores pueden alcanzar 5 gr/m^3 . Sin embargo, estos valores deben ser limitados a algunos lugares muy favorables a la deposición del oro. Tenores de algunos centenares de mg/m^3 pueden parecer bajos, pero no hay que perder de vista que son el resultado de una sola acumulación anual y que los mineros regresan cada año durante la temporada seca para lavar los 20 cm superiores de las playas.

b) La llanura aluvial

Los sedimentos holocenos de la llanura aluvial de Madre de Dios contienen también oro. En estos placeres más antiguos los tenores en oro son más altos, ya que son el resultado de una acumulación ininterrumpida durante decenas de años. Un valor de 2400 mg/m^3 fue personalmente encontrado. Fuentes locales mencionan valores maximales de 25 g/m^3 . La figura 3 representa tres perfiles en este tipo de placer.

Los placeres de la llanura aluvial contienen más oro que los cauces actuales, pero su explotación es más difícil debido a la presencia de vegetación y de una sobrecarga espesa de varios metros.

MINERALOGIA DE LOS MINERALES PESADOS

MUESTREO Y ANALISIS

Se tomaron unas 190 muestras en los sedimentos aluviales de los siguientes ríos: Madre de Dios, Colorado, Inambari Alto, Inambari Bajo, Malinowsky, Tambopata, Azul y Chunco. Cada muestra contenía de 20 a 60 kilogramos de sedimento, que fueron lavados con batea para reducir el volumen inicial. Después en el laboratorio se utilizó el bromoformo para separar los minerales pesados de la fracción ligera restante. La fracción pesada fue dividida en cinco fracciones magnéticas (imán de mano, 0.4, 0.7, 1.5 y >1.5 Amperios) con el fin de facilitar la identificación de los minerales opacos. El oro fue separado de los demás minerales pesados no-magnéticos con la ayuda de un tubo de elutriación (Frost, 1959) seguido por una separación sobre una superficie vibrante inclinada (Lanckneus, 1987). Un 90% de las laminillas de oro fue recuperado con el tubo de elutriación, el 10% restante se recuperó con el método de vibración. Una muestra representativa de cada fracción magnética fue montada en bálsamo sobre un porta-objetos. Cien granos de cada fracción fueron identificados y contados con la ayuda de un microscopio mineralógico y un binocular. Los porcentajes de los minerales pesados fueron recalculados para la muestra entera. El tenor en oro fue calculado y expresado en mg/m^3 .

MINERALOGIA DE LOS PLACERES

Pocos datos existen en la literatura sobre la mineralogía de los placeres en el Departamento de Madre de Dios. Sanchez (1979) menciona la presencia de estaño, ilmenita, rutilo y circón. Un estudio mineralógico detallado permitió la identificación de 32 minerales

Tabla 1: Porcentajes promedios de los minerales pesados en los sedimentos de los ríos Madre de Dios, Malinowsky, Inambari Bajo y Tambopata. No fueron tomados en cuenta los valores de cero; el porcentaje de presencia de los minerales en las muestras se indica entre paréntesis.

Mineral	Madre De Dios	Malinowsky	Inambari Bajo	Tambopata
Magnetita	10.5 (100%)	2.0 (100%)	13.0 (100%)	11.2 (100%)
Ilmenita	62.4 (100%) ^o	51.0 (100%)	69.0 (100%)	33.1 (100%)
Hematita	10.2 (100%)	16.7 (100%)	4.4 (100%)	12.4 (100%)
Limonita	0.7 (93%)	2.3 (100%)	1.9 (100%)	19.9 (100%)
Pirita	0.04 (18%)	0.0 (0%)	0.05 (78%)	0.1 (21%)
Turmalina	0.3 (99%)	0.8 (100%)	0.1 (94%)	1.0 (99%)
Circon	6.7 (100%)	16.3 (100%)	0.8 (100%)	11.8 (100%)
Rutilo	0.2 (93%)	0.7 (100%)	0.1 (94%)	0.4 (100%)
Anatasa	0.06 (21%)	0.3 (9%)	0.02 (39%)	0.1 (9%)
Brookita	0.0 (0%)	0.3 (3%)	0.02 (16%)	0.1 (3%)
Titanita	0.1 (100%)	0.2 (47%)	0.08 (100%)	0.1 (48%)
Leucoxeno marron	0.3 (100%)	0.8 (100%)	0.05 (89%)	1.8 (100%)
Leucoxeno rojo	0.06 (89%)	0.3 (22%)	0.01 (16%)	0.2 (90%)
Andalucita	0.7 (99%)	0.7 (91%)	1.3 (100%)	0.7 (90%)
Estaurolita	0.2 (47%)	0.2 (31%)	0.5 (94%)	0.2 (18%)
Granate	1.2 (89%)	0.7 (85%)	2.9 (22%)	0.5 (24%)
Espinela	0.03 (78%)	0.06 (22%)	0.02 (22%)	0.05 (6%)
Epidota	1.7 (100%)	0.4 (88%)	1.9 (100%)	0.5 (81%)
Aegerina	0.04 (4%)	0.1 (9%)	0.1 (16%)	0.3 (6%)
Diopsida	0.1 (7%)	0.2 (41%)	0.1 (94%)	0.1 (6%)
Diopsida rosada	0.1 (4%)	0.0 (0%)	0.0 (0%)	0.4 (72%)
Enstatita	0.06 (3%)	0.2 (13%)	0.1 (72%)	0.1 (3%)
Hiperstena	0.3 (28%)	0.0 (0%)	0.2 (39%)	0.0 (0%)
Augita	0.07 (8%)	0.0 (0%)	0.0 (0%)	0.0 (0%)
Hornblenda verde	0.8 (99%)	0.2 (16%)	0.7 (100%)	0.6 (39%)
Hornblenda marron	0.4 (89%)	0.09 (31%)	0.5 (83%)	0.9 (72%)
Actinolita	0.9 (100%)	0.2 (16%)	1.6 (100%)	0.3 (18%)
Tremolita	0.07 (4%)	0.0 (0%)	0.06 (6%)	0.0 (0%)
Monacita amar.	0.07 (39%)	0.5 (100%)	0.04 (72%)	0.2 (57%)
Monacita negra	0.9 (100%)	4.7 (100%)	0.8 (100%)	2.2 (100%)
Clorita	0.6 (6%)	0.3 (38%)	0.6 (44%)	0.9 (48%)
Oro (mg/m ³)	241 (100%)	69 (94%)	169 (100%)	150 (60%)
Peso minerales pesados(kg/m ³)	3.5	0.8	26	0.8

diferentes (Lanckneus, 1987). La tabla 1 presenta el valor promedio de los minerales por cada río estudiado. Podemos notar que el mineral económicamente más interesante es la monacita de la cual existen dos variedades:

- la monacita amarilla: se presenta frecuentemente en los concentrados del Malinowsky con un tenor máximo de 1.2%. En los demás ríos de la región su presencia es más escasa.
- la monacita negra: es un mineral que se presenta en el mundo con poca frecuencia y que fue descrita por primera vez por Zemel (1936, en Rosenblum y Mosier, 1983) que lo identificó en placeres de oro del Sur Yenissey (Unión Soviética). Un estudio detenido sobre la mineralogía de este mineral junto con una revisión de todas las localidades en las cuales se encontró la monacita negra, fue realizado por Rosenblum y Mosier (1983). La monacita negra se distingue de la variedad amarilla por su alto contenido en europio y su bajo contenido en torio. Un análisis químico por activación neutrónica dió como resultado las cifras presentadas en la table 2 junto con los porcentajes obtenidos por un análisis semejante sobre una muestra de monacita negra procedente de Alaska.

La monacita negra está presente en todas las muestras estudiadas. El tenor es más elevado en los sedimentos del Río Malinowsky (fig. 4) que contiene un valor promedio de 4.7%.

Tabla 2. Análisis de la monacita por activación neutrónica (A: muestra del río Malinowsky; B: muestra de Alaska)

	A	B
La ₂ O ₃	14.36%	14.00%
Ce ₂ O ₃	28.94%	28.00%
Pr ₂ O ₃	3.17%	2.90%
Nd ₂ O ₃	10.77%	12.00%
Sm ₂ O ₃	1.35%	1.40%
Eu ₂ O ₃	0.34%	0.22%
Gd ₂ O ₃	0.34%	0.22%
Tb ₂ O ₃	1.02%	0.84%
Dy ₂ O ₃	0.23%	
Ln ₂ O ₃	60.25%	59.32%

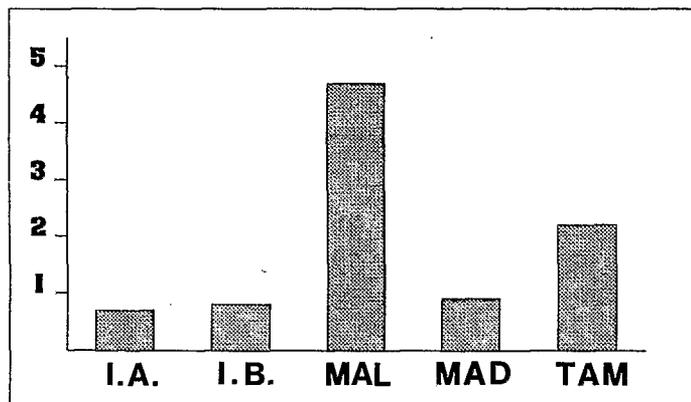


Fig. 4: Valores promedio de la monacita negra en los concentrados de minerales pesados (I.A. = Inambari Alto, I.B. = Inambari Bajo, MAL. = Malinowsky, MAD. = Madre de Dios, TAM. = Tambopata)

DISTRIBUCION DE LOS MINERALES PESADOS EN EL RIO MADRE DE DIOS

La mayoría de los sedimentos contienen una distribución mineralógica que es característica de la roca madre de la cual provienen. Es probable que las distribuciones mineralógicas de los ríos principales en el Departamento de Madre de Dios no son idénticas, ya que cortan en su drenaje diferentes unidades litológicas. Sin embargo, la distribución mineralógica en un mismo río no es uniforme. Estas diferencias mineralógicas reflejan las características hidrodinámicas del río que difieren de un lugar a otro.

Un estudio detallado fue realizado sobre los sedimentos de point bars, a lo largo de los cuales existe toda una escala de condiciones de deposición, yendo del ambiente energético presente a la cabeza (parte río arriba) del point bar hacia el ambiente de menos energía que domina en la cola (parte río abajo del point bar). Como las diferencias en el nivel energético del curso del agua deben reflejarse en las características de los sedimentos, la distribución mineralógica debe variar a lo largo de un point bar.

Para estudiar las diferencias de la composición mineralógica en función de la posición morfológica del sedimento, es necesario seleccionar muestras típicas de cada ambiente. En nuestro caso, se escogió 30 muestras provenientes de point bars del Río Madre de Dios. La mitad de estas muestras fueron tomadas en las cabezas de los point bars, mientras que las otras 15 muestras fueron tomadas en las colas. Para cada 15 muestras, se puede calcular por mineral un tenor promedio. Los dos valores calculados pueden entonces ser comparados. La técnica del t-test (Davies, 1973) permite controlar si existe una diferencia estadística entre los dos promedios obtenidos.

El t-test produjo diferencias significativas solamente en 7 minerales (figura 5). Oro y circón son típicos para el ambiente de posición vigente en las cabezas de los point bars. Los sedimentos de las colas de los point bars se caracterizan por tenores más altos en epidota, titanita, andalucita, actinolita y limonita. El tenor en los demás minerales no difiere significativamente a lo largo de los point bars.

Como las condiciones hidrodinámicas en las cabezas de los point bars corresponden a un ambiente favorable a la deposición del oro y que las condiciones hidrodinámicas en las colas corresponden a sitios en los cuales el oro se deposita muy poco, es posible usar esta técnica para diferenciar sedimentos auríferos de material estéril (Lanckneus, 1989b). Otra técnica estadística, el análisis discriminante (Davis, 1972), demuestra esta posibilidad.

El análisis discriminante es parecido al t-test con la diferencia que se usan simultáneamente varias variables en vez de una sola para evaluar la similitud o la semejanza de los dos grupos estudiados. El análisis discriminante permite encontrar la combinación lineal de estos minerales que producen una diferencia máxima entre dos grupos definidos. En este caso, los dos grupos constan de un lado de muestras con un tenor alto en oro y del otro lado, de muestras con bajo tenor en oro. Cuando una combinación de minerales es encontrada, que permite la distinción de muestras con conocido tenor en oro, es posible deducir funciones de clasificación que permitirán la clasificación de nuevas muestras con tenor en oro desconocido. Como no todos los minerales pesados sirven como ayuda en la distinción entre los 2 grupos, se eliminan las variables inútiles.

La función discriminante se basó sobre las variables siguientes: circón, limonita, andalucita, titanita, actinolita y epidota que eran los minerales que produjeron diferencias significativas e el t-test. El tenor en ilmenita y granate fue también considerado en el análisis. No se tomó en cuenta el oro como variable, de modo que el tenor en oro no influye sobre los resultados del análisis discriminante. La función discriminante fue basada sobre 20 muestras de referencia de las cuales 10 pertenecen a sedimentos auríferos y 10 a sedimentos estériles. Valores numéricos discriminantes fueron calculados y visualizados en figura 6. También fueron calculados los valores numéricos de clasificación para 5 muestras auríferas y 5 muestras estériles.

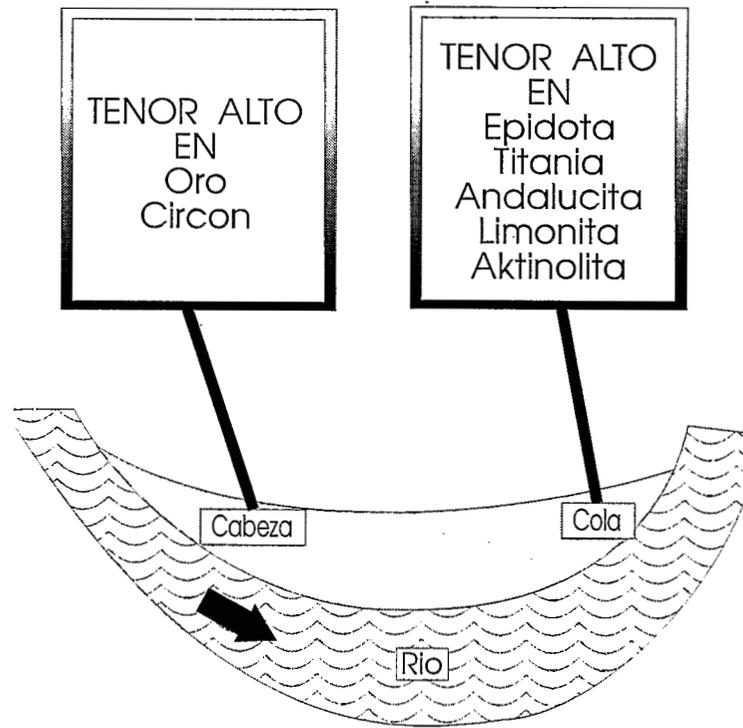


Fig. 5: Minerales típicos para las cabezas y colas de los point bars en Madre de Dios.

Vemos en la figura 6 que 19 muestras fueron clasificadas correctamente. Esto indica que la función discriminante fue bien elegida. Esta indicación se confirma por los valores numéricos de clasificación donde 9 muestras de las 10 consideradas fueron clasificadas correctamente.

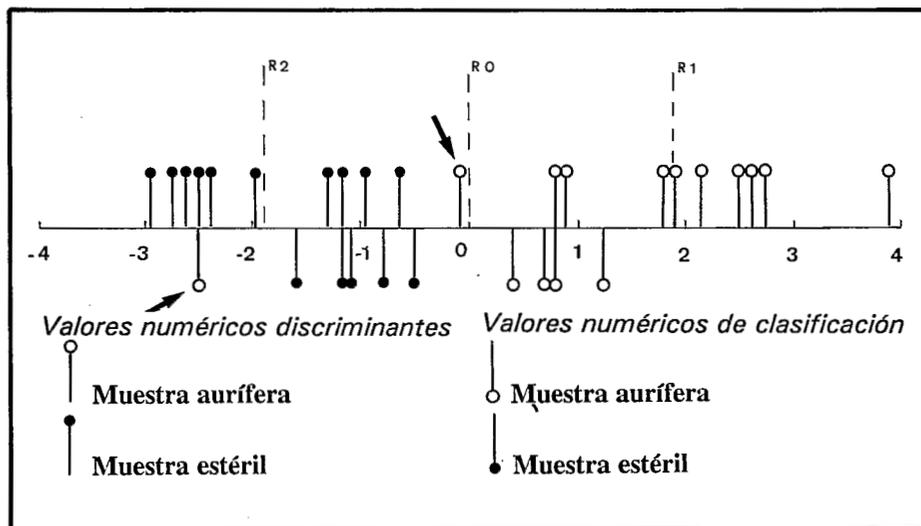


Fig. 6: Proyección de los valores numéricos discriminantes y de clasificación sobre la función discriminante. R1 y R2 son las proyecciones de los promedios multivariables de muestras auríferas y estériles. Solamente 2 muestras fueron clasificadas incorrectamente (indicadas con una flecha).

GRANULOMETRIA DEL ORO

Datos sobre la granulometría del oro forman una contribución importante para comprender los criterios responsables de la formación de placeres. Conocer la granulometría de las partículas de oro es también muy importante para proyectar de una manera óptima y económica el proceso de recuperación más adecuado.

Se midieron individualmente el ancho y el largo de unas 20.000 partículas con la ayuda de un sistema de medición que permite un análisis granulométrico preciso y rápido. El sistema consta de un binocular equipado de un espejo de dibujo y de una mesa de digitalización conectada a una micro-computadora. Los siguientes parámetros se registraron por cada muestra: largo y ancho de cada partícula de oro, largo de la partícula mayor y menor y el número de partículas.

La distribución granulométrica del oro en cada muestra puede ser representada por un histograma, los histogramas, representados en la figura 7, están basados en las anchuras de las partículas.

Las distribuciones granulométricas obtenidas son lognormales y unimodales. El oro es muy fino en todo el departamento de Madre de Dios, pero pequeñas diferencias granulométricas existen entre los diferentes ríos. La tabla 3 presenta los tamaños medios de las partículas de oro deducidos por cada río.

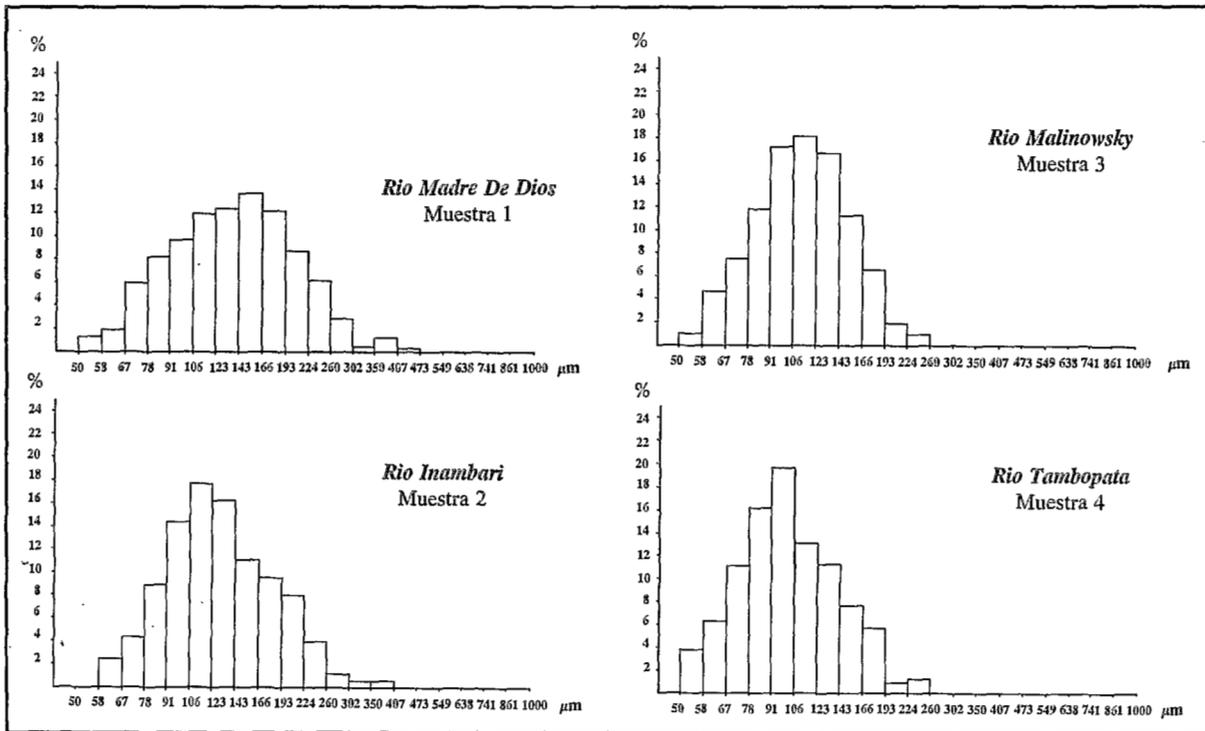


Fig. 7: Histogramas del ancho de las partículas de oro en varias muestras (ubicación de las muestras, ver figura 2).

Notamos que el oro más fino proviene del Río Malinowsky mientras que los ríos Inambari y Tambopata contienen las partículas más grandes. Los histogramas dejan suponer que partículas inferiores a los 50 µm deben existir. Estas no han podido ser recuperadas, ya que el límite inferior de recuperación con la batea es de 50 µm.

Los espesores de las laminillas varían normalmente entre 3 y 10 µm. La mayoría de las partículas pesan entre 125 y 182 microgramos.

Tabla 3. Tamaños promedios de las laminillas de oro.

Promedio	Tamaño
Río Inambari	155 μm
Río Tambopata	155 μm
Río Madre de Dios	135 μm
Río Malinowsky	155 μm

EVOLUCION GRANULOMETRICA A LO LARGO DE UN POINT BAR

Mencionamos que el oro en los ríos de la región es muy fino y que existe poca variación en la granulometría del oro de un río a otro. Estudiamos ahora la influencia de un meandro sobre la granulometría de las laminillas de oro. Como ejemplo escogemos un meandro del Río Madre de Dios (fig. 8). Dos muestras fueron tomadas en la cabeza del point bar y dos en la cola. La tabla 4 presenta los datos granulométricos (medianas de largo y ancho) y algunos elementos mineralógicos de las muestras.

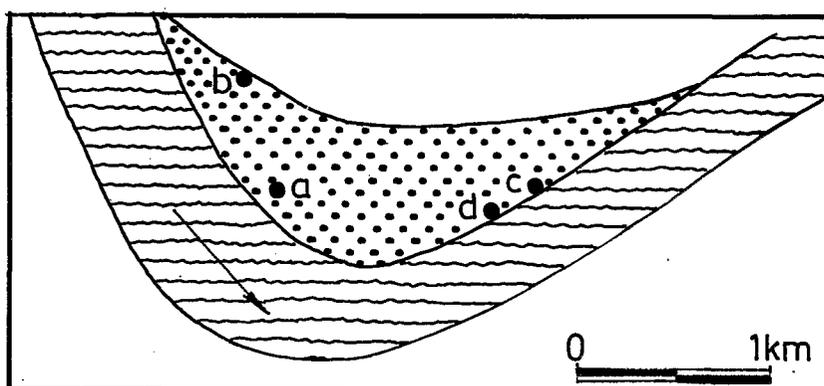


Fig. 8: El meandro estudiado del Río Madre de Dios (ubicación del meandro, ver figura 2).

Tabla 4: Características granulométricas de las partículas de oro y parámetros mineralógicos a lo largo de un point bar del Río Madre de Dios.

Muestra	Parte río arriba del point bar (cabeza)		Parte río abajo del point bar (cola)	
	a	b	c	d
Mediana largo oro (μm)	295	230	215	190
Mediana ancho oro (μm)	205	150	120	130
Tenor en oro (mg/m^3)	1134	1260	23	16
Tenor en min. pesados (kg/m^3)	1.7	5.6	0.6	2.0
Circón (%)	10.0	8.7	7.2	5.7
Epidota	1.4	0.7	2.6	3.6
Circón/epidota	7.1	12.4	2.8	1.6

El análisis de la tabla 4 permite deducir los elementos siguientes:

- a) Existe una diferencia notable en la granulometría del oro entre la cabeza y la cola del point bar. El oro es mucho más fino en la parte río abajo del point bar.
- b) La cabeza del point bar se caracteriza por un tenor más alto en oro y circón y un tenor más bajo en epidota. Este comportamiento selectivo en función de la morfología aluvial ya fue discutido.
- c) El tenor en minerales pesados es mayor en la parte río arriba del point bar.

EVOLUCION GRANULOMETRICA DEL ORO A LO LARGO DEL RIO MADRE DE DIOS

Poca información es disponible en la literatura que trata del transporte de partículas de oro sobre distancias de varios centenares de kilómetros. Por esta razón se dedicó una atención particular al Río Madre de Dios, que es el curso de agua más importante de la región. Ochenta muestras fueron tomadas sobre una distancia de 270 km que separa la confluencia del Río Colorado con el Río Madre de Dios hasta Puerto Maldonado. Podemos suponer que el oro que llega a Puerto Maldonado ha viajado más de 400 km desde las mineralizaciones primarias.

Un cierto número de parámetros fue calculado con el fin de estudiar la evolución granulométrica del oro. Estos comprenden las medianas de largo y ancho de las laminillas presentes, el largo máximo, el número de partículas de oro y el tenor en oro. Las distancias entre cada punto de muestreo y un punto de referencia (Puerto Maldonado) fueron también medidas. Fueron calculados coeficientes de correlación Pearson (Davies, 1973) para establecer el grado de asociación entre cada par de parámetros. Solamente las 64 muestras provenientes del cauce actual fueron consideradas en los cálculos. Algunos de los coeficientes de correlación se indican en la tabla 5.

Tabla 5: Coeficientes de correlación Pearson calculados con 64 muestras de sedimentos del Río Madre de Dios. Los coeficientes subrayados son significativos a un nivel de confianza de 95%

	Peso MP	Dist.	Número partículas	Mediana de largo	Mediana de ancho	Largo max.
Tenor en oro	<u>0.47</u>	0.21	<u>0.93</u>	0.04	0.05	<u>0.55</u>
Mediana del largo	-----	-0.06	-----			-----

Analizando los datos de la tabla 5, podemos resumir las conclusiones de la manera siguiente:

- a) Las partículas de oro no presentan ninguna evolución granulométrica significativa a lo largo del río muestreado (coeficiente de correlación mediana largo/distancia: -0.60). Esto significa que el tamaño de las partículas no decrece de ninguna manera aguas abajo.
- b) El tenor en oro no disminuye de una manera significativa a lo largo del río muestreado (coeficiente de correlación tenor en oro/distancia: 0.21).
- c) No existe una relación significativa entre el tamaño de las partículas y el tenor en oro de los sedimentos (coeficiente de correlación tenor en oro/mediana largo 0.04). Esto indica que los tenores altos no son el resultado de la presencia de partículas más grandes, sino de un

- aumento del número de partículas de oro (coeficiente de correlación tenor en oro/número partículas: 0.930.
- d) Las partículas mayores se presentan en los sedimentos más auríferos (coeficiente de correlación tenor en oro/longitud máxima: 0.55). Estas partículas son, sin embargo, muy escasas y no influyen en el tamaño promedio de las laminillas.
- e) El tenor en oro es asociado a la cantidad de minerales pesados en el sedimento (coeficiente de correlación tenor en oro/peso minerales pesados: 0.47).

Las dos primeras conclusiones pueden parecer contrarias a las leyes clásicas de la yacimientología detrítica en la cual se predice una disminución del tamaño de las partículas (Hérail, 1984; Boyle, 1979) y una disminución del tenor en oro (Hérail et al., 1986) río abajo, pero se subraya que estas leyes son válidas sólo para los ríos cordilleranos, mientras que no actúan en los ríos de llanura (Hérail et al. 1990). Hallbauer y Utter (1977) afirman que las partículas de oro que han viajado sobre largas distancias, llegan a un equilibrio con el río. Además experimentos en el laboratorio demuestran que la velocidad del agente de transporte es un factor más importante en el desgaste que la distancia del transporte (Yeend, 1975).

La ausencia de una evolución granulométrica indica que un equilibrio se alcanzó entre las laminillas de oro y el material transportado por el río. En este caso, la distancia sobre la cual las partículas han viajado, no puede ser estimada con la ayuda de elementos granulométrico y morfológicos.

REFERENCIAS

- BONNEMAISON M., FORNARI M., GALLOSO A., HERAIL G., JUNGBLUTH R., LAUBACHER G., VERGARA J., ZEGARRA J. 1983. Oro primario y oro detrítico en la Cordillera Sur-Oriental del Perú. El papel de la geomorfogénesis en la formación de los placeres. Acción conjunta INGEMMET-ORSTOM, Convenio 1980-1983, Informe Final, Segunda parte, Lima 94 p.
- BOYLE R. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. Geol. Survey of Canada, 280, 584 p.
- DAVIES J. 1973. Statistics and Data Analysis in Geology. J. Wiley and Sons, N.Y., 550 p.
- FROST I. 1959. An elutriating tube for the specific gravity separation of minerals. Amer. Min., 44, :886-890.
- HALLBAUER D., UTTER T. 1977. Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand. Mineralium Deposita, 12, :293-306.
- HERAIL G. 1984. Les paillettes d'or, mémoire des piémonts. Courrier Centre National de Recherche Scientifique, 57, :49-51.
- HERAIL G., RUIZ E., ARGOLLO J., FORNARI M., LAUBACHER G., VISCARRA G. 1986. El distrito Tipuani, Geología e Historia (Parte II). Khrysos, 3, :7-14.
- HERAIL G., FORNARI M., VISCARRA G., MIRANDA V. 1990. Morphological and chemical evolution of gold grains during the formation of a polygenic fluvial placer: the Mio-Pleistocene Tipuani example (Andes, Bolivia). Chron. Rech. Min. N° 500, p. 41-49.

- LANCKNEUS J. 1987. Invloed van de alluviale morfologie op de mineralogische en granulometrische kenmerken van zware mineralen uit goudplacers in het Departement Madre de Dios, ZO Peru (Study of the relationships between the alluvial morphology and the mineralogical and grain size characteristics of heavy minerals from gold placers in the Department of Madre de Dios, SE Peru). PhD, State University of Ghent, 178 p.
- LANCKNEUS J. 1989a. Les placers alluviaux aurifères de la Plaine Amazonienne de Madre de Dios (SE du Pérou). Bull. de la société Géogr. de Liège, 25, :129-143.
- LANCKNEUS J. 1989b. The use of heavy minerals as pathfinders for placer gold: a case study in the Department of Madre de Dios (SE Peru). Bull. de la Société belge de Géol., 98, 1, :63-72.
- LAUBACHER G. 1978. Géologie des Andes péruviennes. Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 95, 217 p.
- LAUBACHER G., HERAIL G., FURNARI M., SEBRIER M. 1984. Le piedmont amazonien des Andes sud-orientales du Pérou (Marcapate-Inambari). Travaux de la Rev. Géol. Pyrénées et Sud-Ouest, 1, 20 p.
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACION DE RECURSOS NATURALES (ONERN). 1972. Inventario, evaluación y uso regional de los recursos naturales de la zona de los ríos Inambari y Madre de Dios, Lima, :49-66.
- ROSENBLUM S., MOSIER E. L. 1983. Mineralogy and Occurrence of Europium-rich dark monazite. U.S. Geol. Surv. Prof. Papers, 1181, 67 p.
- SANCHEZ R.E. 1979. Problemática del oro de Madre de Dios. Minería, Lima, :17-32.
- YEEND W. 1975. Experimental abrasion detritical gold. Journ. Research US Geol. Survey, 3,2, :203-212.