

METODOS DE PROSPECCION DE ORO EN DIFERENTES DEPOSITOS ALUVIONARES EN ESPAÑA

LUIS CARLOS PEREZ GARCIA

Av. Padre Isla, 46-9° Dcha. 24002 - León (España)

RESUMEN: Se describen y analizan comparativamente diversos depósitos aluvionares sobre los que el autor ha realizado la prospección y evaluación: abanicos aluviales del Mioceno y Pleistoceno medio y terrazas fluviales del Pleistoceno y Holoceno, en las provincias de León, Cáceres y Granada (NO, O y SE de España, respectivamente). Se revisa la geología de los depósitos, características y distribución del oro.

Se incide de manera especial en las técnicas de prospección, que se basan en muestras voluminosas (4 a 135 m³), extraídas de grandes pozos, tanto en aluviones secos como con agua subterránea, empleándose en estos, potentes bombas sumergibles para desecarlos. Las muestras se procesan en instalaciones piloto con capacidad entre 5 y 30 m³/h, que genéricamente constan de:

- Unidad de lavado y clasificación: Tromel, criba vibratoria, criba cónica.
- Unidad de conscentración: jigs y/o "sluices".
- Laboratorio: análisis por amalgamación.

Lo importante es que la cantidad de oro considerada es referida a "oro recuperado", ya que el procedimiento empleado es equiparable a uno industrial.

Todos los depósitos tienen en común su elevada granulometría y la presencia de canales preferentes de deposición de oro, que varían desde una morfología "straight" a "braided". La localización de los mismos es fundamental, y la geofísica (S.E.V.) puede ser una ayuda imprescindible en abanicos aluviales de gran potencia.

Se explica el cálculo de leyes en aluviones con agua subterránea en función de la forma del pozo y de la distribución vertical del oro. Se establece una valoración de los sistemas empleados, así como su representatividad y fiabilidad en comparación con la prospección típica, basada en sondeos "banka" mecanizados de 6".

Se incluye un estudio de costos y duración de la prospección, y para finalizar unas consideraciones generales y básicas de las posibles explotaciones aluvionares en España. Todos los proyectos estudiados se sitúan, aproximadamente, entre 1 y 5 millones de m³, y 160 a 260 mg Ay/m³ (oro fino).

RESUME: Différents dépôts alluviaux qui ont été prospectés et évalués sont présentés: des cônes aluviaux du Miocène et du Pleistocène moyen et des terrasses fluviales du Pleistocène et de l'Holocène, situés dans les provinces León, Cáceres et Grenade (NO, O et SE de l'Espagne respectivement). La géologie, caractéristiques et distribution de l'or sont présentées. et on insiste plus spécialement sur les techniques de prospection basées sur l'analyse

volumineux (4 à 135 m³) extraits de puits de grande dimension tant dans des alluvions secs que riches en eaux souterraines. Les échantillons sont traités dans des installations pilotes de 5 à 30 m³/h de capacité qui sont composées de:

- une unité de lavage et criblage (tromel, crible vibrant, crible conique),
- une unité de concentration (jigs et/ou sluices),
- un laboratoire d'analyses par amalgamation.

Il est important de noter aussi que seul est pris en compte l'or effectivement récupéré, et ceci par un procédé comparable à un procédé industriel.

Tous les dépôts traités ont en commun leur granulométrie grossière et la présence de chenaux où l'or s'est déposé préférentiellement; la morphologie de ces chenaux varie de rectiligne à tressée. La géophysique (S.E.V.) est un outil nécessaire pour localiser de chenaux surtout dans les cônes alluviaux très épais.

Les modalités de calcul des teneurs sont présentées, en tenant compte de la forme des puits. La représentativité et fiabilité des différentes méthodes sont discutées. Enfin, une analyse des coûts et de la durée de la prospection est présentée. Tous les exemples choisis concernent des volumes minéralisés de 1 à 5 millions de m³ et 160 à 260 mg/m³ de teneur.

INTRODUCCION

En toda la Península Ibérica existen numerosos indicios de oro aluvionar. La mayoría de ellos tuvieron una explotación intensiva durante la ocupación romana (del I° al III° siglo de nuestra era) por métodos hidráulicos. Es en el NO de España donde la explotación fue la más importante, alcanzando volúmenes considerables (Sanchez-Palencia, 1983):

. Placeres aluviales cuaternarios:	93,3 millones m ³
. Placeres aluviales pliocenos:	6,0 millones m ³
. Placeres aluviales miocenos:	452,1 millones m ³
. Placeres residuales:	12,4 millones m ³

Total:	563,8 millones m ³

Algunas de estas unidades mineras son gigantescas; en las Médulas de Carucedo (León), se han estimado en 228 millones m³ el volumen de aluvión mioceno removido en esta época. Además esta explotación necesitó la realización de una red hidráulica que suministrara agua a las operaciones mineras. En el caso de las Médulas, de 13 a 16 acueductos fueron construidos con un promedio de 90 km cada canal. Fuera del NO también existen indicios con fuerte laboreo romano: Cáceres y Granada (O y SE de España respectivamente), que conservan un magnífico muestrario de las antiguas técnicas mineras.

En todos estos yacimientos los aluviones son de baja ley, pero algunos de ellos con un gran potencial en cuanto a volumen. A finales del siglo XIX y primera mitad del XX, existieron intentos de explotación sobre algunos de ellos después de 16 siglos de abandono (García et al., 1934): tres o cuatro dragas y algún lavadero sobre pontón flotante se instalaron en las terrazas actuales de los ríos, que debido al nivel freático de agua no fueron trabajadas en tiempos

romanos. También se probó fortuna con instalaciones hidráulicas en los aluviones miocenos o cuaternarios colgados. La subida espectacular del precio del oro de 1972, originó un nuevo interés en la prospección de algunos de estos aluviones (Pérez García, 1977; Hérial, 1984). El presente trabajo es el resultado de esta último renacer, que algo más atenuado ha llegado hasta hoy. Algunas de estas prospecciones han resultado fracasos, y otras se encuentran en ese límite de rentabilidad que hace necesaria la espera.

Los aluviones, cuya prospección, y en algunos casos evaluación y viabilidad, han dado origen a las siguientes páginas, son Las Omañas (León), Caniles (Granada), Río Duerna (León), Río Erjas (Cáceres), Río Omañas (León), Río Eria (León) (fig. 1):



Fig. 1: Localización de los aluviones prospectados.

FILOSOFIA DE LA PROSPECCION

En general, no existían datos anteriores a nuestra investigación en los citados aluviones. Esto nos llevó a plantearnos un tipo de prospección que de un sólo golpe nos despejara todas las incógnitas, y nos permitiera realizar un proyecto de viabilidad completo, si los resultados así lo aconsejaran. Para ello consideramos imprescindible:

- Tener muestras representativas (gran volumen).
- Tratar la muestra industrialmente.
- Pesar el oro obtenido, una vez fundido (no evaluarlo por "colores" y contaje).

Estos tres puntos se traducen a la práctica en el cuadro 1, y todas sus etapas se tienen que cumplir en cualquier tipo de aluvión, incluso en los que tienen agua subterránea, donde la ejecución de pozos de gran diámetro no es fácil.

Esta clase de prospección tiene varias ventajas:

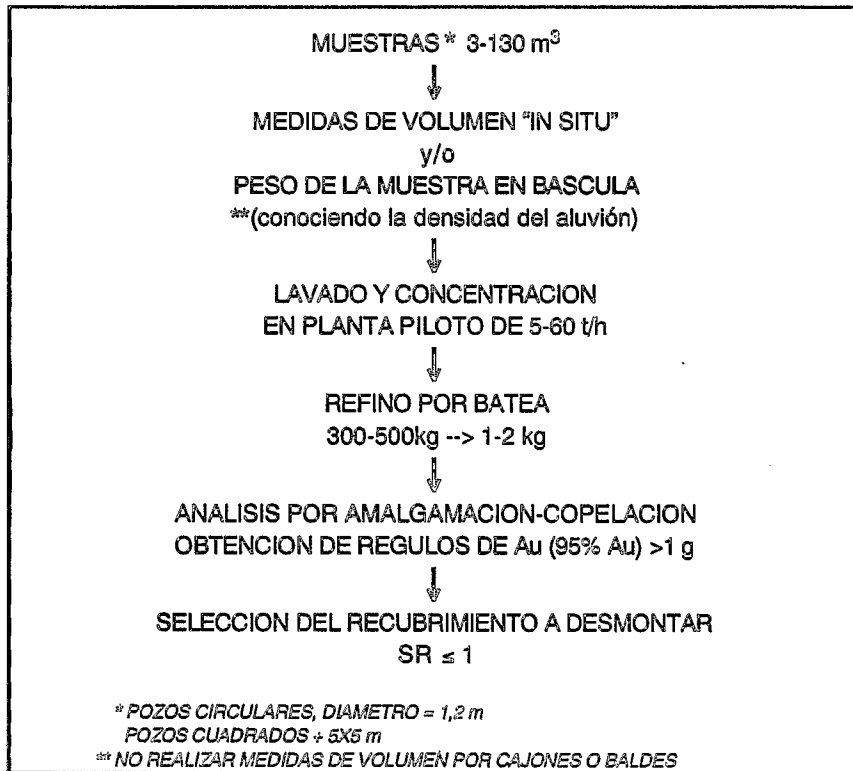
Trabajar con leyes de oro recuperables, al ser los sistemas de extracción, lavado y concentración equiparables a los de una operación minera.

Mayor representatividad por punto prospectado, al ser la muestra mayor.

Mayor homogenización en el conjunto de datos de todo el aluvión.

Obtención de régulos de oro con peso superior a un gramo lo que nos permite minimizar los errores de pesaje en balanza de precisión.

Cuadro 1: puntos basicos de la prospección.



CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS ALUVIONES PROSPECTADOS

Desde el punto de vista sedimentológico, los depósitos explorados se agrupan en dos tipos: abanicos aluviales y terrazas fluviales. Ambos tienen una granulometría elevada: 60-70% de la fracción granulométrica es mayor de 7 mm y los centiles oscilan entre 0,5 y 1 m.

Han sido generados por procesos de alta energía en cañones intra-montañosos o en las llanuras inmediatas al pie de las montañas. Dentro de la terminología de BOYLE (1979), se pueden denominar placeres alóctonos a los abanicos aluviales (Las Omañas en la fase de equilibrio del sistema, Caniles en la fase de agradación), y autóctonos a las terrazas fluviales. Esto implica un diferente transporte del oro: desde más de 10 km en el abanico aluvial de Caniles, con la consiguiente formación de más de un nivel de concentración en el depósito, y la lógica finura, en sentido granulométrico, de las partículas de oro, a menos de 1 a 2 km en las terrazas del Río Erjas, donde la concentración se ha realizado por la eliminación de los materiales livianos, quedando el oro casi sin transporte después de haber sido aportado lateralmente desde un Mioceno conglomerático (en este caso, el peso de la partícula media es el doble que en Caniles). Generalmente estos placeres han sido formados por retrabajamiento de

depósitos anteriores (a excepción de los abanicos aluviales miocenos que se nutrieron directamente de un suelo pre-mioceno muy potente y evolucionado):

<i>Nombre del Placer</i>	<i>Tipo de Placer</i>	<i>Depósitos retrabajados</i>
Caniles	Abanico aluvial (Pleist. medio)	Dos episodios de abanicos aluviales (Pleist. inf.)
Río Duerna	Terrazas 3, 4 y 5 (Pleist. med-sup.)	Abanico aluvial (Mioceno) Depósitos de Raña (Plioc.) Terrazas 1 y 2 (Pleist. inferior)
Río Erjas	Terrazas 4, 5 y actual (Pleist.- Holoceno)	Abanico aluvial (Mioceno) Terrazas 1, 2 y 3 (Pleist. inf.-med.)
Río Omañas	Terraza actual (Holoceno)	Abanico aluvial (Mioceno) Terrazas 1, 2, 3, 4, y 5 (Pleist.)
Río Eria	Terraza actual (Holoceno)	Abanico aluvial (Mioceno) Terrazas 1, 2, 3, 4 y 5 (Pleist.)

Esta herencia en las partículas de oro provoca que su finura alcance 950 milésimas.

Además, todos estos placeres tienen un pequeño porcentaje de oro que proviene directamente del zócalo paleozoico.

Es interesante constatar que en los aluviones miocenos (Las Omañas), existe además de la población de partículas de oro recuperable (mayor de 50 a 60 micras) una población constituida por chispas muy pequeñas (menor de 5 micras) que puede representar el 40% del peso del Au total. Se trata posiblemente de oro transportado en forma coloidal bajo condiciones físico-químicas favorables (clima subtropical). Hemos observado que esta población se va haciendo cada vez menos importante en función directa de la modernidad de los aluviones, llegando a desaparecer a partir de la Terraza 3 en los ríos leoneses. De igual manera, en estos sedimentos más recientes, las partículas recuperables por procedimientos gravimétricos van teniendo sus superficies cada vez más limpias, perdiendo la película de óxidos de hierro y arcillas que caracterizan a las del Mioceno, lo que origina problemas en la amalgamación.

Otro tipo de característica que condiciona la selección del sistema de prospección adecuado, es la presencia o no de agua subterránea en el aluvión, así como la potencia del mismo. Los abanicos aluviales estudiados están secos, al menos en la parte investigada, y tienen espesores totales superiores a 100 m (en ellos se han prospectado paleocanales superiores, mucho más someros). Las terrazas fluviales trabajadas tienen todas menos de 10 m de potencia. Unas son secas como las terrazas estudiadas en el Río Duerna y en el Río Erjas; y otras están con abundante agua, como las terrazas actuales del Río Omañas, Río Eria y Río Erjas. Estas características pueden variar en función de la estación climática como en el caso de la terraza 5 del Río Erjas.

Estas características generales así como de los sistemas de prospección utilizados están resumidas en el cuadro 2.

Cuadro 2: Resumen de las características de los aluviones investigados y sistema de prospección.

	LAS OMAÑAS (León)	CANILES (Granada)	RIO DUERNA (León)			RIO ERJAS (Cáceres)		RIO OMAÑAS (León)		RIO ERIA (León)
AMBIENTE SEDIMENTARIO	ABANICO ALUVIAL	ABANICO ALUVIAL	FLUVIAL (Terrazas 3,4 y 5)			FLUVIAL (Terrazas 4,5 y act.)		FLUVIAL Terraza actual)		FLUVIAL (Terraza actual)
EDAD	MIOCENO	FLEISTOCENO MED.	FLEISTOCENO MED. SUP.			FLEISTOCENO- HOLOCENO		HOLOCENO		HOLOCENO
CARACTERISTICAS ALUVION	Seco	Seco	Seco			Seco-Agua		Agua		Agua
POTENCIA TOTAL MAXIMA	+100 m.	+100 m.	6,3 m.			9,2 m.		7,9 m.		7,4 m.
POTENCIA INVESTIGADA MAXIMA	75 m.	55 m.	6,3 m.			9,2 m.		7,9 m.		7,4 m.
GEOFISICA	S.E.V. (136)	S.E.V. (106)	-			-		-		-
POZOS GRAN DIAMETRO	Grda	Grda	Retroex. + batllón			Retroexcavadora		Retroexcavadora		Retroexcavadora
MALLA POZOS	Irregular	Irregular	400 x 200 m.			200 x 200 m.		200 x 200 m.		200 x 200 m.
VOLUMEN MUESTRAS ("in situ")	7-19 m ³	2-5 m ³	8-19 m ³			5-67 m ³		69-125 m ³		34-134 m ³
PLANTA PILOTO (Tromel +)	SLUICE	SLUICE	SLUICE			JIGS		JIGS		JIGS
RECUBRIMIENTO (POTENCIA MEDIA)	1,0 m.	7,6 m.	0,4 m.	2,1 m	2,2 m.	2,5 m	2,7 m.	1,6 m.		2,1 m.
ALUVION AURIFERO (POTENCIA MEDIA)	25,0 m	3,5 m.	4,1 m.	2,2 m.	2,0 m.	2,7 m.	3,0 m.	4,9 m.		3,5 m.
STRIPPING RATIO	0,04	2,2	0,1	0,9	1,1	0,9	0,9	0,3		0,6
VOLUMEN (m ³ x 10 ⁶)	40	2,0	76	1,5	2,7	4,3	3,1	5,4	1,7	1,6
LEY (mg/m ³)	80	144	71	216	248	216	248	154	188	160
PESO MEDIO PARTICULAS Ar.	?	0,10	0,19 mg.			0,20 mg.		?		0,19 mg.
DENSIDAD ALUVION	2,3	2,3	2,3			2,2		2,2		2,2
AÑO TRABAJOS	1973-75	1989	1981-83/1990			1988		1987		1987

PROSPECCION DE ABANICOS ALUVIALES

Por los sistemas empleados, hemos elegido Caniles (Granada) como ejemplo guía, aún cuando resultó un fracaso como aluvión rentable (Pérez García, 1990).

GEOLOGIA (fig. 2).

El zócalo, entendiéndolo como tal todos los materiales de los que se originan los abanicos aluviales del Plioceno o Pleistoceno, está formado por dos unidades tectónicas: el Complejo Nevado-Filábride representado por micaesquistos del Paleozoico, y el Complejo Alpujarride, representado por cuarcitas, filitas y en mayor medida, calizas y dolomías. Sólo los sedimentos derivados del complejo Nevado-Filábride, donde existen mineralizaciones de Cu y Fe (siderita) alojadas en fracturas de distensión, con contenidos discretos de oro, llevan oro detrítico.

La serie post-orogénica comienza en el Plioceno con sedimentos marinos de plataforma costera, para continentalizarse posteriormente formándose sistemas de abanicos aluviales pasando a facies lacustres. Es en la tercera generación de abanicos aluviales (Pleistoceno medio) donde se desarrollan los placeres auríferos que fueron trabajados por los Romanos y constituyeron el objetivo de nuestra prospección. Se trata de facies proximales, caracterizadas por la existencia de una superposición de canales de alta energía en régimen "braided", separados por una facies más fina, con la matriz más rica en arcillas y tonalidades rojas ("aluvión arcilloso"). El último de los episodios de canal desarrolla hacia el techo, que coincide con la actual superficie topográfica, una facies de llanura de inundación, sobre la que se sobreimpuso en el Holoceno una costra calcárea de 0,5 m de potencia media. Dentro de los canales están conservados unos cuerpos ("channel lag deposits") de aún más alta granulometría, que son los portadores de tenores de oro más elevados ("pay streak").

Morfológicamente, se trata de un glacis al pie de las montañas, que se eleva de 80 a 130 m por encima de los aislados arroyos que lo surcan. Las observaciones geológicas sólo se pueden hacer en las laderas de uno de los barrancos mayores, donde los Romanos beneficiaron hasta 4 niveles distintos de "pay streak". Estas observaciones no son extrapolables a las zonas de llanura, ya que los canales tienen carácter lantejonar en la dimensión perpendicular a la dirección de aporte (fig. 3).

GEOFISICA.

Antes de comenzar una campaña de pozos a ciegas, se realizaron 106 Sondeos Eléctricos Verticales (configuración Schlumberger) en una malla 200 x 400 m (en algunas áreas, 100 x 400 m) con el objeto de localizar zonas de alta resistividad (mayor de 750 Ω m) a profundidades menores de 10 m, que tendrían que corresponder con el último episodio de canales de alta energía. En el proceso de investigación se deshecharon los niveles de canales más profundos debido al desmonte que llevaban consigo. El sistema funcionó correctamente, y las zonas así definidas fueron positivamente comprobadas cuando se realizaron los pozos (fig. 4).

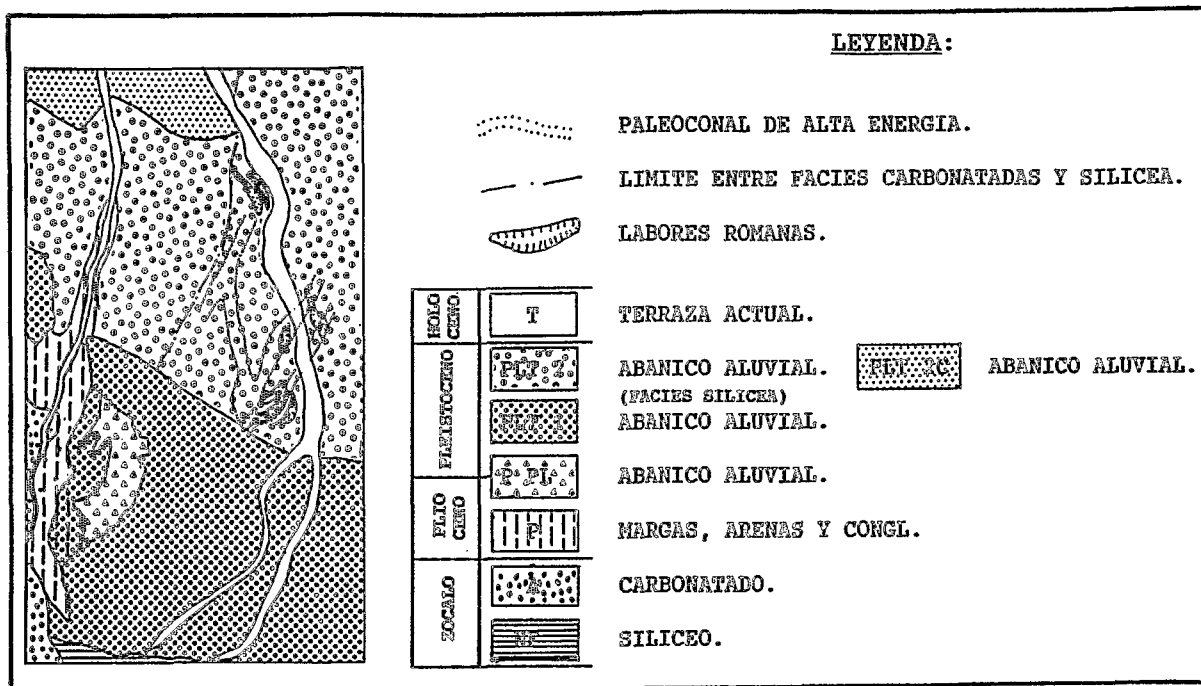


Fig. 2: Caniles (Granada): Mapa geológico.

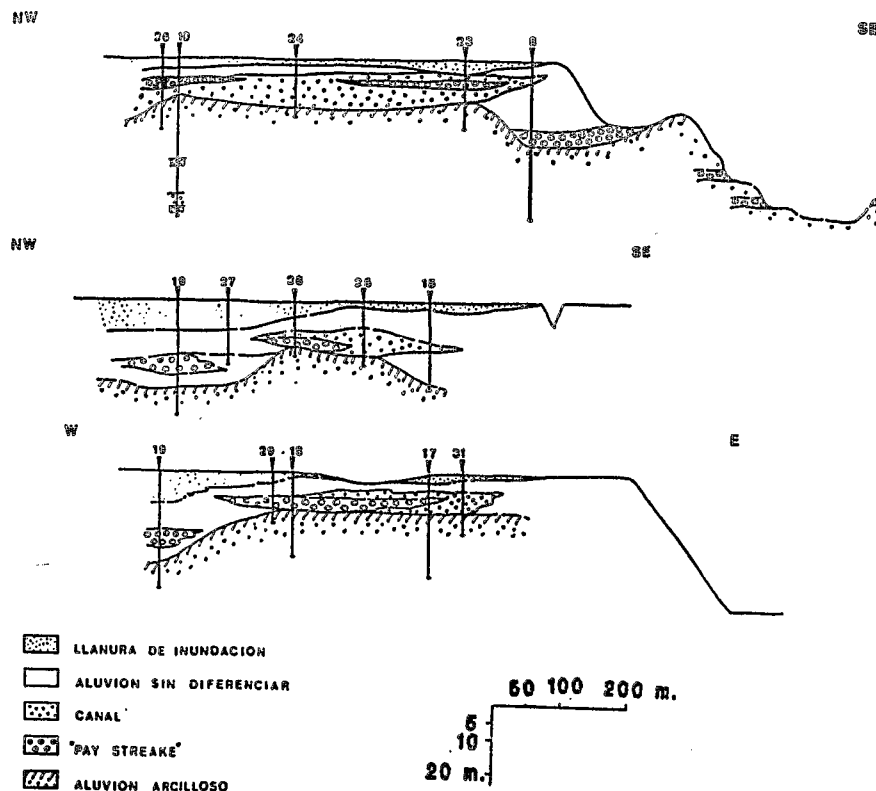


Fig. 3: Caniles (Granada): Perfil transversal a los canales de alta energía.



Fig. 4: Caniles (Granada): relación entre los resultados de los sondeos eléctricos verticales y la situación del último episodio de canales de alta energía.

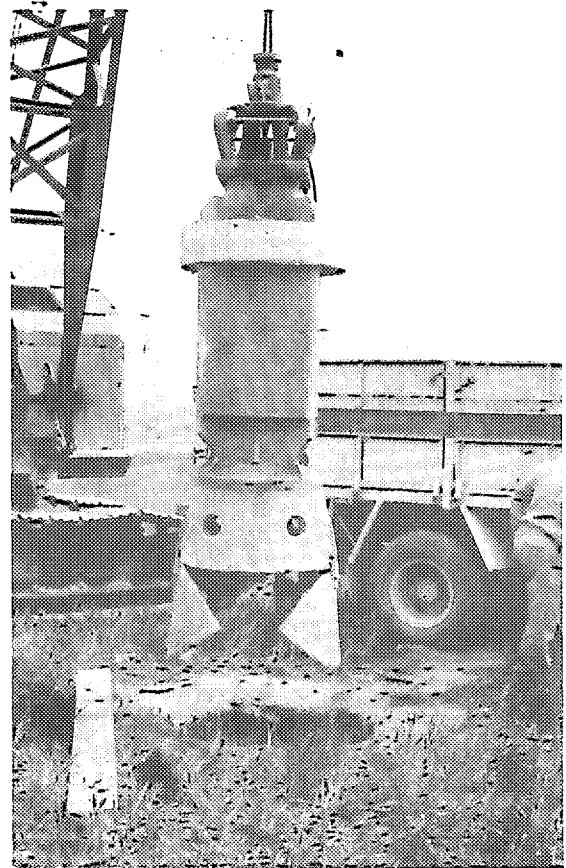


Fig. 5: Caniles (Granada): cuchara empleada en la perforación de pozos en aluviones secos y potentes.

POZOS.

Para su realización se utilizó una grúa de pilotaje "Kynus Koehring 405", provista de una cuchara bivalva de 1,5 t y 1 m de diámetro (1,45 m de diámetro de perforación), accionada por cable (fig. 5). El aluvión es suficientemente consistente para el mantenimiento vertical de las paredes. Algunos pozos exploratorios de los niveles inferiores, alcanzaron fácilmente 47 m (en Las Omañas este mismo equipo alcanzó 75 m). Las muestras se recogían cada 2 m de avance representando un volumen medio de 3,3 m³ (7,6 t de peso medio) y el material extraído con la cuchara se depositaba directamente en camiones para su transporte a la Planta-piloto. En total, se realizaron 31 pozos. El avance medio fue de 8 metros/día (cuatro muestras por día).

PLANTA-PILOTO.

- El diseño de la planta estuvo condicionado por:
 - El tamaño, no excesivamente grande, de las muestras.
 - El carácter seco del aluvión.
 - La disponibilidad de un discreto caudal de agua.

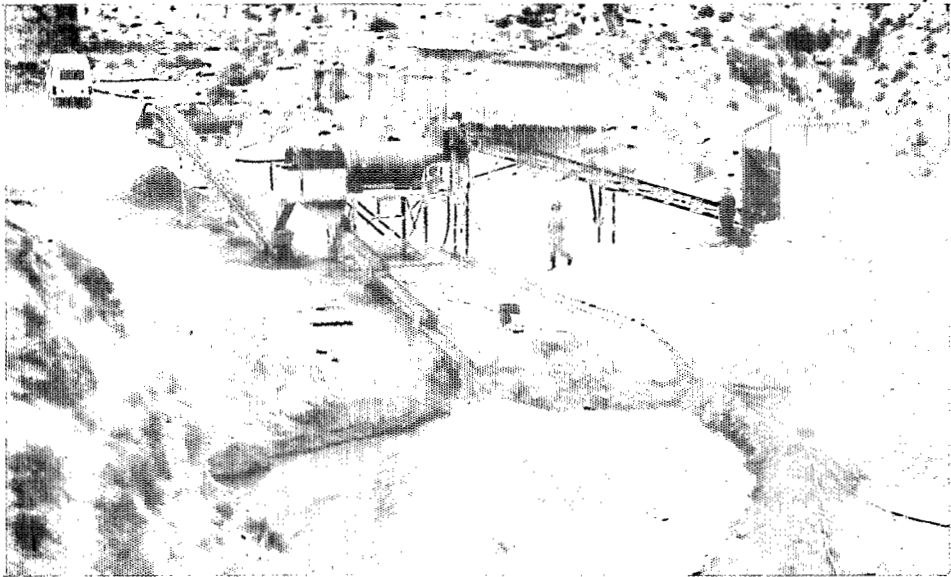


Fig. 6: Caniles (Granada): Planta-piloto. Su esquema es figura 7.

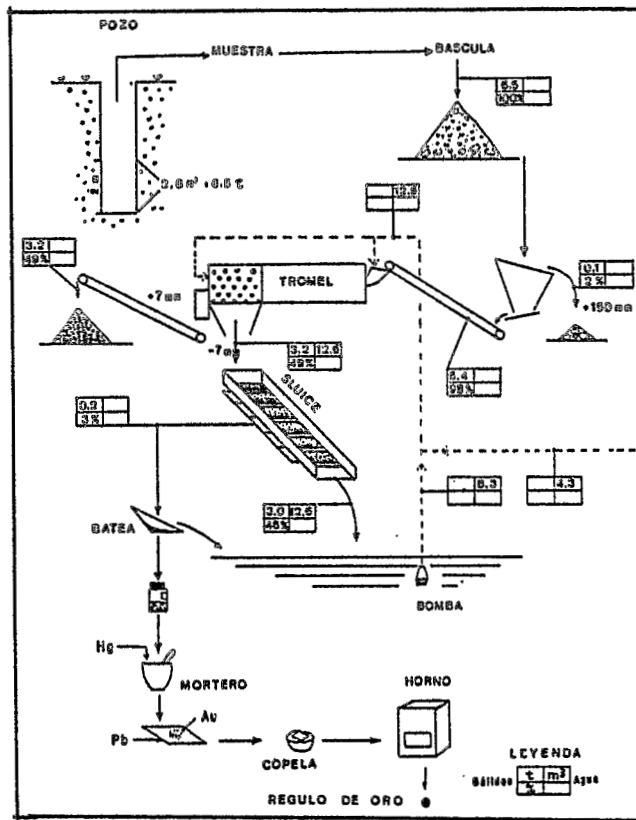


Fig. 7: Caniles (Granada): Esquema del tratamiento de una muestra.

La rapidez en la limpieza, una vez pasada la muestra, lo que permite la marcha sincronizada del pozo y de la planta.

En base a los puntos anteriores, se pensó en una planta capaz de procesar 5t/h (fig. 6). Básicamente consistía en: alimentador de bandeja de 400mm, tromel de 1m de diámetro y luz de criba de 7 mm, y "sluice" de 8,5 m de largo, 300 mm de ancho con rifles húngaros de 30 x 30 mm, separados uno de otro de 90 mm, además de las correspondientes bandas transportadoras. Una pequeña bomba sumergible reciclaba el 65% del agua necesaria para la operación. El caudal total era de 3,5 l/s (fig. 7). El concentrado del "sluice" (200 kg aproximadamente) era bateado hasta reducirlo a 0,5 kg para su posterior análisis.

EVALUACION Y DISTRIBUCION DEL ORO.

Se eligió como objetivo los canales de alta energía del episodio más moderno, buscando un "stripping ratio" lo más bajo posible. Con anterioridad a nuestra campaña de pozos (SEVELAR, S.A.), otra compañía (ENADIMSA), había realizado 12 pozos con retroexcavadora que sólo se tomaron en cuenta para el trazado de los bloques. Se empleó el sistema de polígonos. Las cifras finales se encuentran en el Cuadro 2. El trazado del último episodio de canales es "braided", con anchuras entre 200 y 600 m, alcanzando 800 m en las confluencias. Su potencia varía de 5 a 15 m. Dentro del canal, el "pay streak" no se sitúa siempre en la base, lo hace únicamente en las zonas de más alto contenido. Las dimensiones de estos cuerpos enriquecidos, oscilan entre 150 y 250 m de anchura con una potencia media de 3,5 m y una longitud de 1 a 2 km. El peso promedio por partícula es de 0,1 mg.

PROSPECCION DE TERRAZAS FLUVIALES

Este tipo de depósitos es tratado en su conjunto, debido a que tienen muchos puntos comunes, cualquiera que sea el río prospectado. La diferencia más significativa, no desde el punto de vista geológico, pero sí desde el operativo, es la presencia o no de agua subterránea. En la actualidad el Río Duerna y, sobre todo el río Erjas se encuentran en el filo de la rentabilidad.

GEOLOGIA.

Las terrazas que se han prospectado (Pérez García, 1984, 1987a, 1987b, 1988; Suringar, 1985) tienen varios puntos comunes. En todos los casos se trata de terrazas bajas o actuales, constituidas por un sólo ciclo fluvial cuya potencia oscila entre 4 y 6 m. Descansan sobre un bed-rock arcilloso (Mioceno), proceden del retrabajo de sedimentos más antiguos, su granulometría es elevada y fueron depositados en ambientes sedimentarios de tipo "Scott" o "Donjek" definidos por Miall (1978).

De las terrazas prospectadas, unas están muy cerca del área fuente y la componente de aporte más importante es lateral, el Río Erjas es un buen ejemplo de este caso (fig. 8).

El río que viene discurriendo encajado en pizarras, atraviesa un conglomerado mioceno con oro (labores romanas) donde se origina un ensanchamiento del valle y la formación de terrazas; aguas abajo del Mioceno se vuelve a encajar en pizarras. Antes y después de atravesar el citado Mioceno ni existen aluviones ni prácticamente oro en el lecho del río, que actuó con un

efecto jig, eliminando los finos no pesados, sobre el depósito mioceno, originando una concentración de oro (placer autóctono) sin apreciable transporte.

Otras terrazas se formaron más lejos de las fuentes primarias, a la salida de las montañas, sobre extensas llanuras, donde el río cambia rápidamente de curso. El Río Duerna es el mejor ejemplo. El transporte del oro es mayor, ya que el área fuente se encuentra solamente a cabecera de las terrazas. Aguas arriba pueden no existir aluviones importantes pero sí oro en el lecho del río. Los casos de Río Omañas y Río Eria se clasificarían como intermedios, se trata de zonas de transición entre las montañas y las llanuras.

Se prospectó aluviales actuales (Río Omañas, Río Eria y Río Erjas) que están con abundante agua subterránea y terrazas bajas (Río Duerna, Río Erjas) que han sido definidas como semicolgadas: la base de cada una está oculta por el depósito aluvial de la siguiente. Además estas terrazas tienen pendientes diferentes comprendidos entre valores bajos de 0,4% (Río Erjas), hasta valores más elevados de 0,8% (Río Omañas) y 1,0% (Río Duerna y Río Eria), lo que condicionó el depósito. Sólo en el Río Erjas se desarrolló a techo una importante facies de llanura de inundación, mientras que no existe en las demás (fig. 9). En algunos casos, abanicos aluviales cubren parcialmente los sedimentos fluviales.

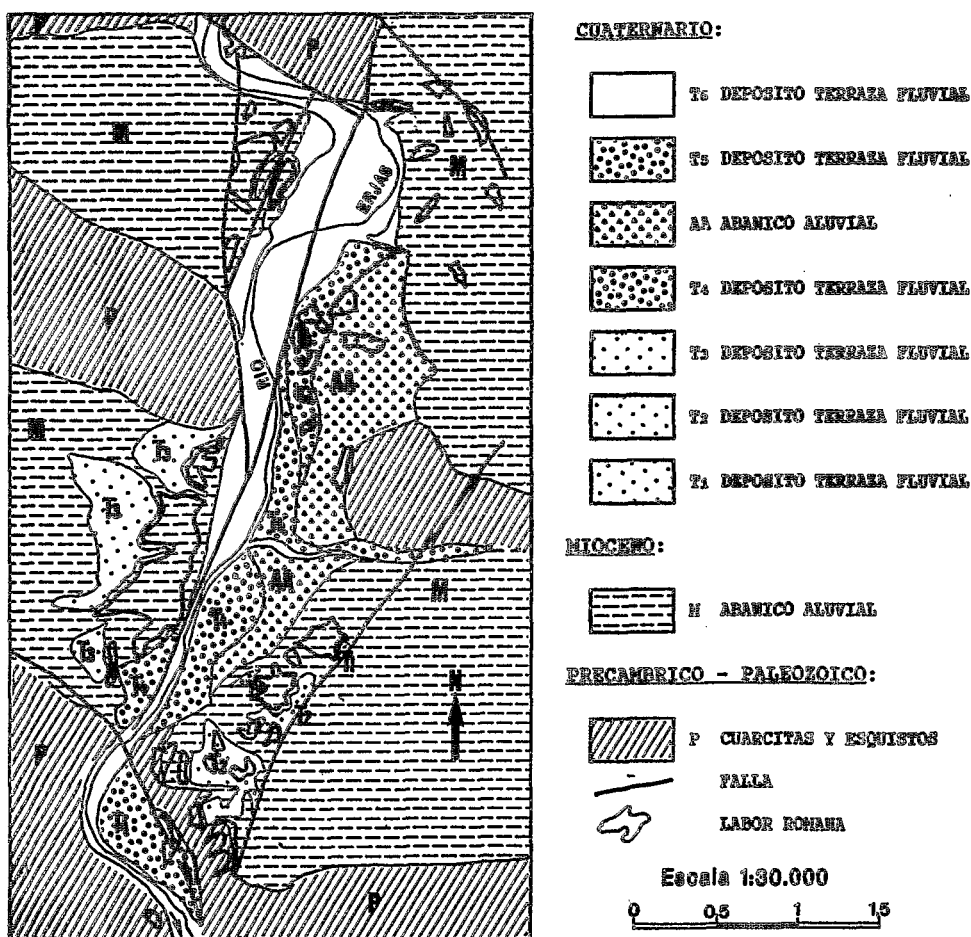


Fig. 8: Río Erjas (Cáceres): Mapa geológico. El Río Erjas es la frontera natural entre Portugal, al Oeste y España al Este.

A techo de la terraza 4 del Río Erjas (fig. 10) unos abanicos aluviales constituidos de flujos de barro cubren el 60% de la misma, y pueden alcanzar una potencia máxima de 4 m. Localmente, su granulometría puede ser muy elevada, aunque en general son sedimentos más finos que los fluviales. Se apoyan sobre los depósitos de llanura de inundación de la terraza, lo que origina que juntos representen un recubrimiento considerable, y obligan a deshechar zonas en la evaluación. En el Río Duerna se manifiestan localmente dos episodios de pequeños abanicos aluviales, que en conjunto no sobrepasan los 0,5 a 1 m de potencia.

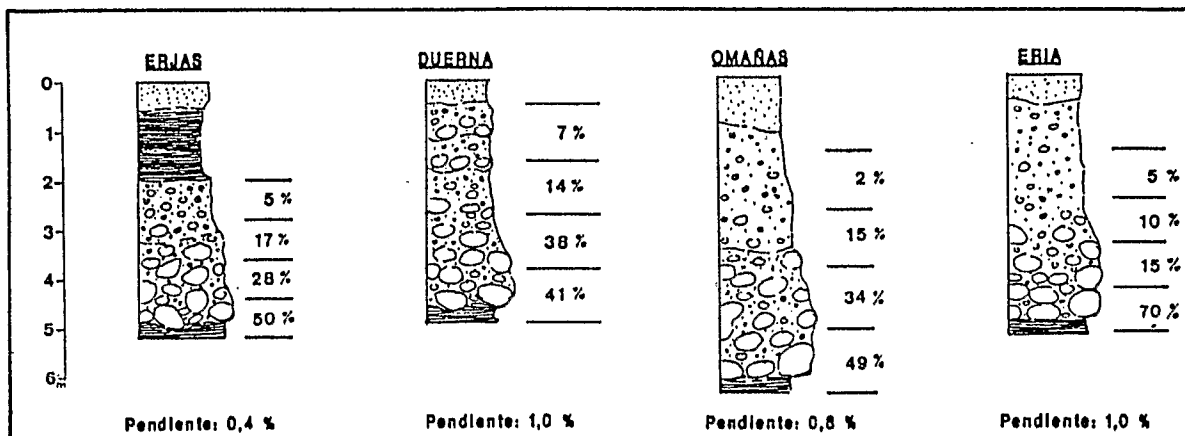


Fig. 9: Columnas estratigráficas tipo, distribución porcentual del oro en la vertical, y pendientes de las terrazas fluviales prospectadas.

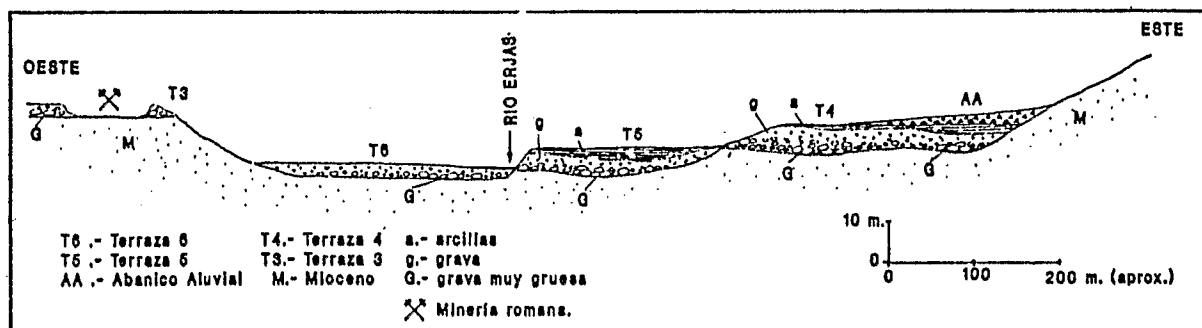


Fig. 10: Río Erjas (Cáceres): perfil transversal.

La tectónica reciente influyó bastante sobre el trazado del curso de los ríos y por lo tanto, en el trazado de las terrazas. En el Río Erjas, una serie de fallas N-S a N 45° que recorren longitudinalmente el valle, han condicionado los contactos entre las terrazas semicolgadas, y entre éstas y las laderas del valle (fig. 9). En la provincia de León (Pérez García, 1977), casi todos los ríos abandonan la zona montañosa siguiendo fracturas. Una de ellas, en el Río Duerna, viene marcada por el resalte rectilíneo de la Terraza 3.

Los bloques del zócalo definidos por estas fallas han jugado hasta la actualidad y han originado cambios en la red fluvial. El ejemplo más claro está en el citado Río Duerna, donde los canales prefentes de deposición de oro (alta energía) de las Terrazas 3 y 4 son claramente divergentes, debido a que entre las dos existió un basculamiento que corrigió el trazado del río

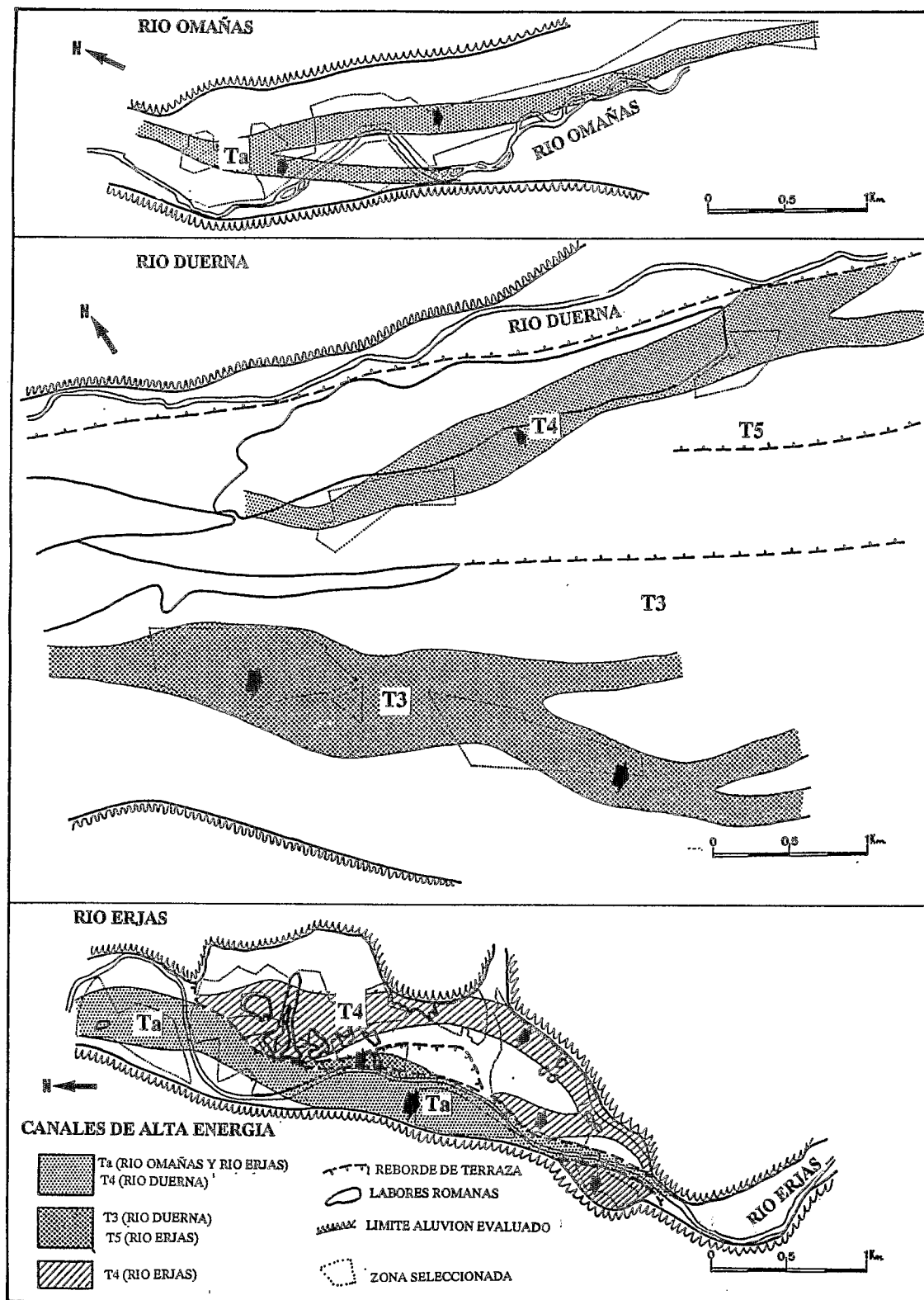
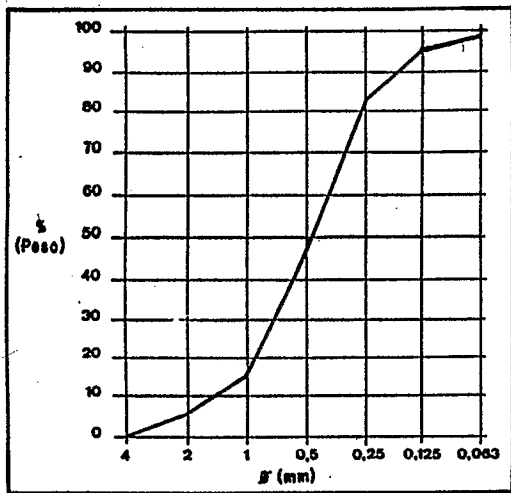


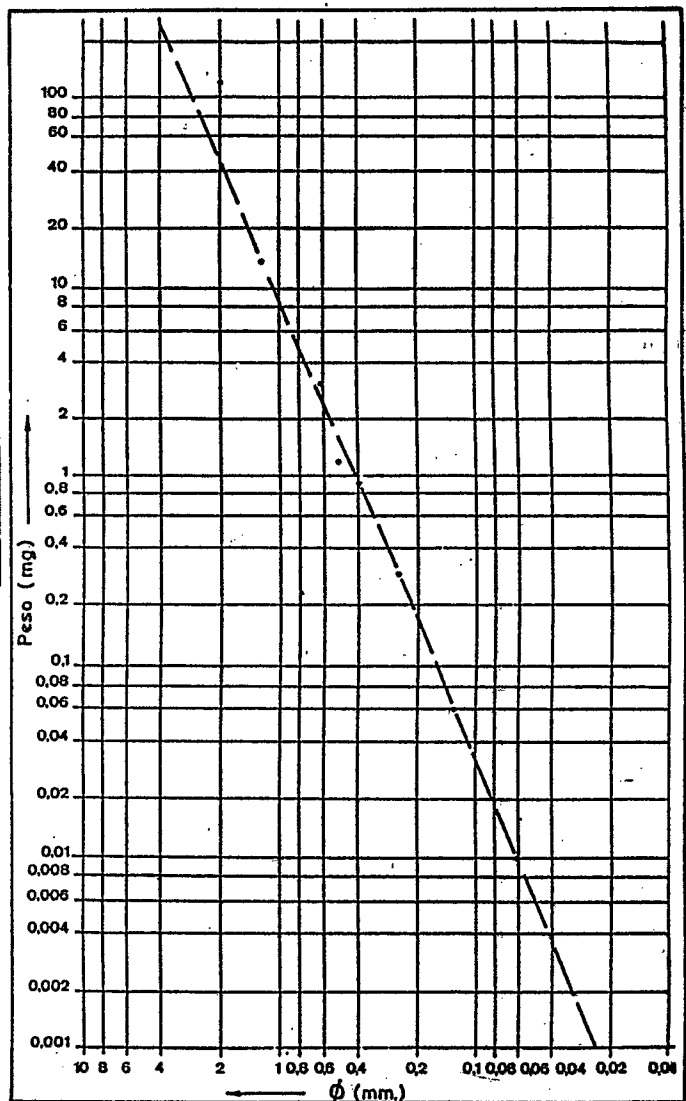
Fig. 11: Trazado de los canales de alta energía en las terrazas de los Ríos Omañas, Duerna y Erjas.

en un ángulo de 30° (fig. 11). En todas estas terrazas, como ocurría en los abanicos aluviales, existen canales preferentemente enriquecidos en oro; están situados en la base de los depósitos y sus trayectorias son más rectilíneas que las trazadas por los cursos actuales de los ríos, como corresponde a momentos de más alta energía que el actual. En el Río Omañas (Terraza actual) existe un canal tipo "straight" ancho de hasta 200 m prospectado sobre un recorrido de 3.500 m. De este principal se bifurca, con muy bajo ángulo, otro canal "straight" con anchura de 100 m. En el Río Duerna (Terrazas 3 y 4-5) los canales preferentes son "straight" durante los primeros 3.500 m aguas arriba y a partir de ahí tienen una morfología de tipos "braided" de baja sinuosidad. Son canales amplios, con anchuras en sus tramos rectos de 400 a 700 m, de acuerdo al modelo sedimentológico de corriente de agua confinada que alcanza una llanura. En la Terraza 4 del Río Erjas (fig. 11) se pueden reconstruir bastante bien, sobre un recorrido total de 4.000 m, los canales preferentes que dan una morfología "braided" muy clara, con anchuras de canal entre 150 y 450 m (en las confluencias). El canal de la Terraza 5 sólo es reconocible en un pequeño segmento y el de la terraza actual es rectilíneo con anchura de 250 a 350 m y longitud total de 3.000 m.



↑ Fig. 12: Río Duerna (León):
curva granulométrica de
las partículas de oro.

Fig. 13: Río Duerna (León): →
relación peso-tamaño de las
partículas de oro.



En el Río Duerna y el Río Erjas, parte de los canales en las terrazas secas han sido explotados por los Romanos. En el Río Omañas y el Río Ería no tuvieron acceso a ellos al existir un nivel de agua permanente. Tampoco tocaron el canal de la Terraza 3 del Río Duerna, aún estando seca, debido a que la superficie topográfica es totalmente horizontal, sin desniveles para aplicar técnicas de minería hidráulica de gravedad (Hérail y Pérez García, 1989). Estos canales preferentes constituyen, lógicamente, el objetivo de la prospección.

EL ORO DE LAS TERRAZAS: CARACTERISTICAS DE LAS PARTICULAS Y DISTRIBUCION VERTICAL DE LOS TENORES.

Nos hemos limitado, en algún aluvión, a realizar un estudio sobre la granulometría y finura, además de observaciones sobre la forma, pero adelantamos que las características son extrapolables en su mayoría, de unos depósitos a otros.

La figura 12 representa un análisis granulométrico realizado sobre más de 7.000 partículas. Solamente una quedó retenida en el tamiz de 2 mm (representando un 5% en peso del total) y 3 lo hicieron en el de 1 mm. La mediana es de 0,48 mm, el tamaño medio de 0,22 mm corresponde a un peso de 0,19 mg (fig. 13). El tamaño de las partículas es un dato importante, en tanto que nos permite estudiar el corte idóneo en el cribado, antes de la concentración, en el proceso piloto e industrial. En cuanto a la forma, la más generalizada en las partículas pequeñas es la laminar, mientras que puede ser también subsférica en las mayores. La finura, en todos los aluviones, varía entre 920 y 980 milésimas dentro del mismo depósito.

En todos los aluviones existe un incremento del contenido de oro hacia la base del depósito. Su valor cuantitativo es muy importante ya que nos permite, si el incremento es muy acusado, programar una minería selectiva, considerando el tramo superior de muy baja ley como recubrimiento o sobrecarga estéril. Es importante también, su conocimiento, porque en los aluviones con agua subterránea, los pozos que se realizan tienen una forma troncocónica invertida, teniendo menos volumen la parte baja, más rica, que la parte superior, más pobre, necesiéndose realizar unas correcciones posibles solamente si conocemos la citada distribución vertical del contenido de oro. Para calcularla, necesitamos unos datos previos a la investigación sistemática, que consisten en un muestreo metro a metro sobre la potencia del aluvión. Si éste está seco o tiene poca agua, se consigue realizando unas rozas laterales en algunos pozos situados estratégicamente. Las muestras recogidas son bateadas y analizadas. Así conocemos la ley a distintas profundidades (caso del Río Erjas y del Río Duerna). Si el agua subterránea es abundante hay que recurrir a la realización de sondeos entubados tipo "banka", también en lugares representativos. En el Río Omañas, existían más de 80 sondeos de 6" de campañas anteriores, con muestras cada pie. En el Río Ería, habíamos realizado dos años antes, una pequeña campaña de 12 sondeos de 400 mm de diámetro, con muestras cada metro.

El paso siguiente en el cálculo es deshechar el recubrimiento o sobrecarga natural (suelo vegetal, depósitos de llanura de inundación y otros sobreimpuestos a las terrazas como abanicos aluviales, etc.). La potencia del aluvión que queda se divide en cuatro partes iguales y se calcula los porcentajes de Au que tiene cada cuarto. Posteriormente, se calcula la media de todos los cuartos de cada pozo previo, obteniendo unas cifras promedio que son las que se aplican (fig. 10, 14a, b, c). En algunos casos (Río Duerna, fig. 14d), hemos observado que la distribución varía ligeramente entre pozos con alta y baja ley, así hemos aplicado dos distribuciones diferentes

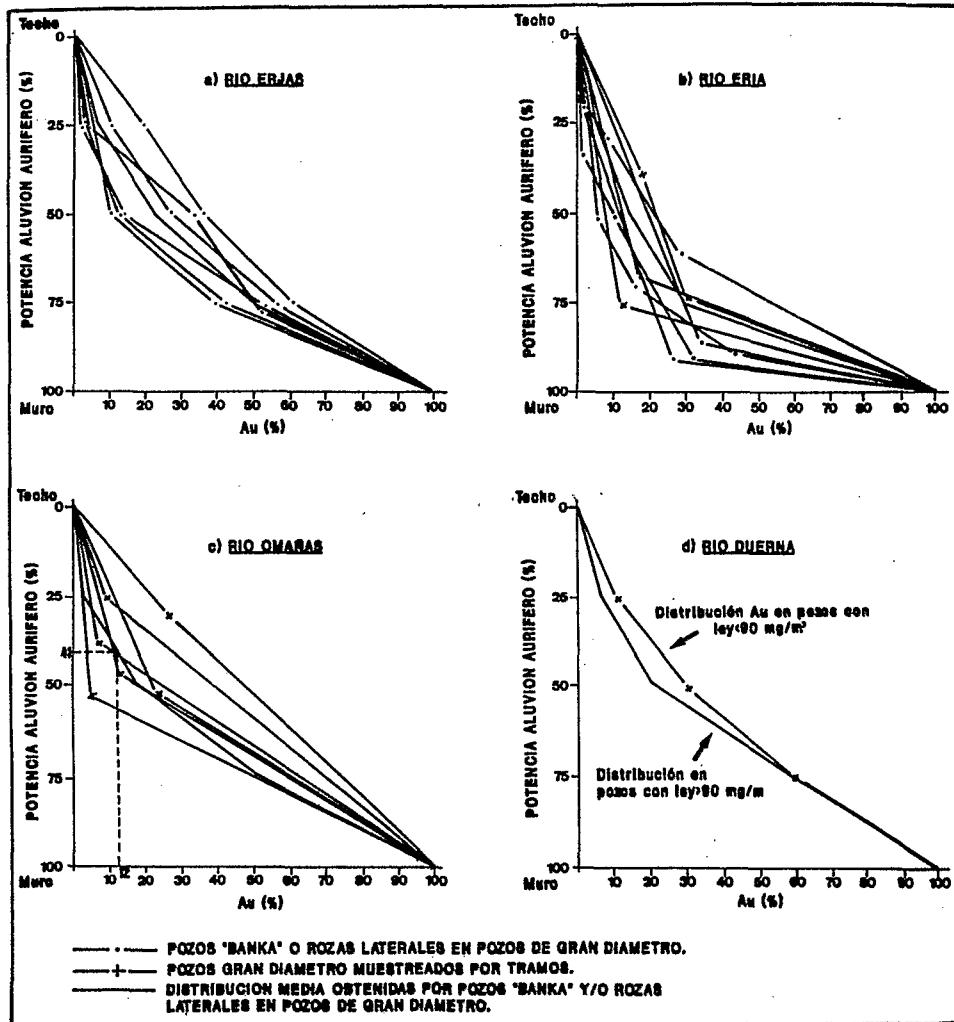


Fig. 14: Distribución vertical del oro en las terrazas fluviales. a) curvas de distribución del oro en rozas laterales de pozos y su media (Río Erjas). b) curvas de distribución del oro en sondeos "banka" mecanizados y su media en comparación con la distribución obtenida en pozos de gran diámetro divididos por tramos (Río Ería). c) relación entre la distribución media de oro en sondeos "banka" y pozos de gran diámetro divididos en tramos. La poca correspondencia hacia muro no es real, ya que, en los últimos, sólo hay un punto de corte y cercano al techo (Río Omañas). d) diferentes distribuciones verticales de oro en función del contenido (Río Duerna).

LOS POZOS DE PROSPECCION.

En terrazas con agua los pozos tradicionales, sistemas "banka" mecanizado de 6", son poco representativos, debido al escaso material que se obtiene y a la dificultad que presenta la ejecución en aluviones muy gruesos. En alguna ocasión, los hemos sustituidos por sondeos de más diámetro (400 mm) que proporcionan más muestra y presentan menos inconvenientes en su ejecución, aún cuando el tiempo de realización, en este tipo de aluviones, es elevado (tres días para un sondeo de 6 a 7 m y traslado al siguiente punto). Así lo más conveniente es hacer pozos grandes con ayuda de una retroexcavadora con cazo de 1 m³, y utilizar bombas sumergibles para eliminar el agua y llevar el pozo en regimen semi-seco. Naturalmente, esto

obligaba a guardar unos ángulos de talud determinados en las paredes del pozo para evitar derrumbes, y en muchos casos se tiene que realizar escalones a diversas profundidades (fig. 15). Igualmente, la pericia del maquinista era fundamental. La realización de este tipo de pozo sigue los siguientes pasos:

Apartar con bulldozer la tierra vegetal para su posterior reposición.

Desmontar hasta -1,5 m aproximadamente. El material se apila junto al pozo para la fase final de relleno del mismo. El área desmontada es de 6 x 6 m a 8 x 8 m.

Preparación de una rampa por la retroexcavadora para su emplazamiento al nivel de la base del desmonte, para alcanzar la profundidad necesaria.

Comienzo de la realización del pozo, con unas dimensiones en la boca de 5 x 5 m, cargando el material directamente en camiones que se estacionan en la rampa, detrás de la retroexcavadora.

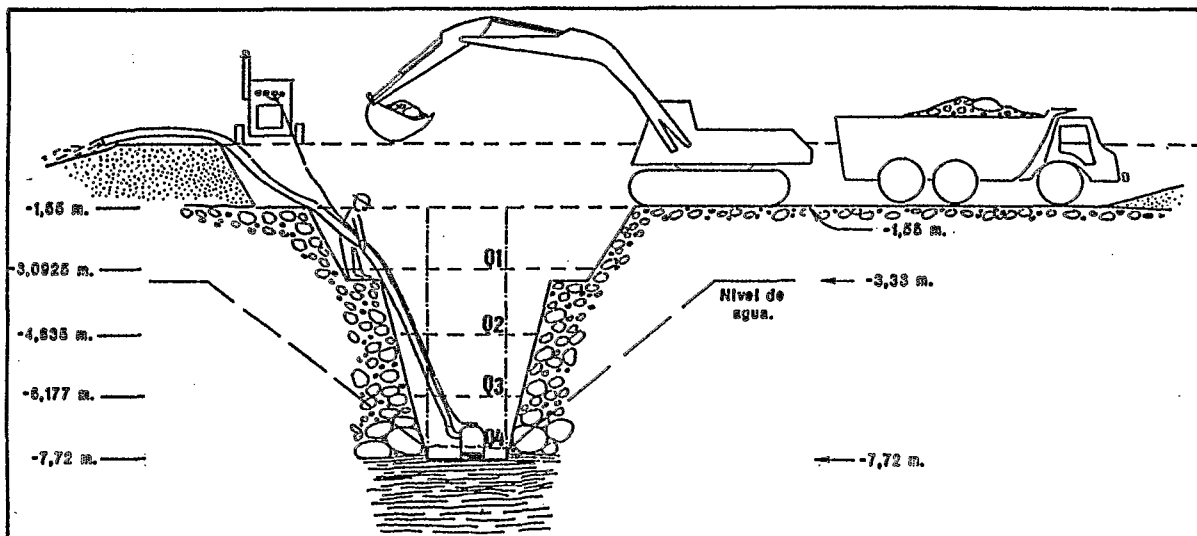


Fig. 15: Esquema de la realización de un pozo en una terraza fluvial con agua subterránea (pozo 23 de Río Omañas-León). Se complementa con la tabla 3.

En los cuatro proyectos, la distribución del oro es muy parecida, y destaca que en la mitad inferior del aluvión se encuentre entre el 78% (Río Erjas) y el 85% (Río Ería) del oro total. Esto permite seleccionar una profundidad de corte ideal, calculada por el balance entre el costo del movimiento de recubrimiento y el porcentaje de oro que perdemos en esa sobrecarga. Durante el desarrollo de la prospección sistemática con muestras de gran volumen, se debe comprobar que la distribución vertical obtenida responde a la realidad. Para ello se puede dividir algún pozo en dos partes, uno superior y otro inferior (no necesariamente iguales) y lavarlas por separado. Los porcentajes de oro en cada parte deben corresponder aproximadamente con los que se obtendrían con la distribución que se está aplicando. En la práctica hemos observado bastante concordancia (fig. 14b y c).

En las terrazas secas, el sistema seguido ha sido muy sencillo, utilizando una retroexcavadora, sustituyendo el cazo por un batilón o almeja, accionado hidráulicamente (fig. 16), y capaz de alcanzar 7 a 8 m de profundidad. El pozo es redondo con un diámetro en su boca de 2 m aproximadamente (Río Duerna).

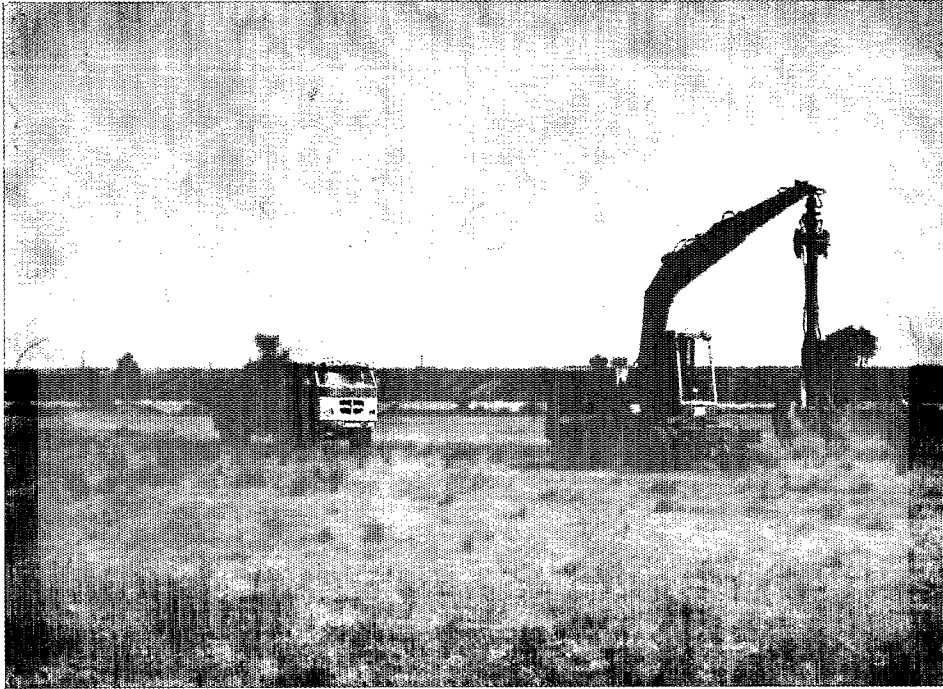


Fig. 16: Retroexcavadora con batilón (Río Duerna).

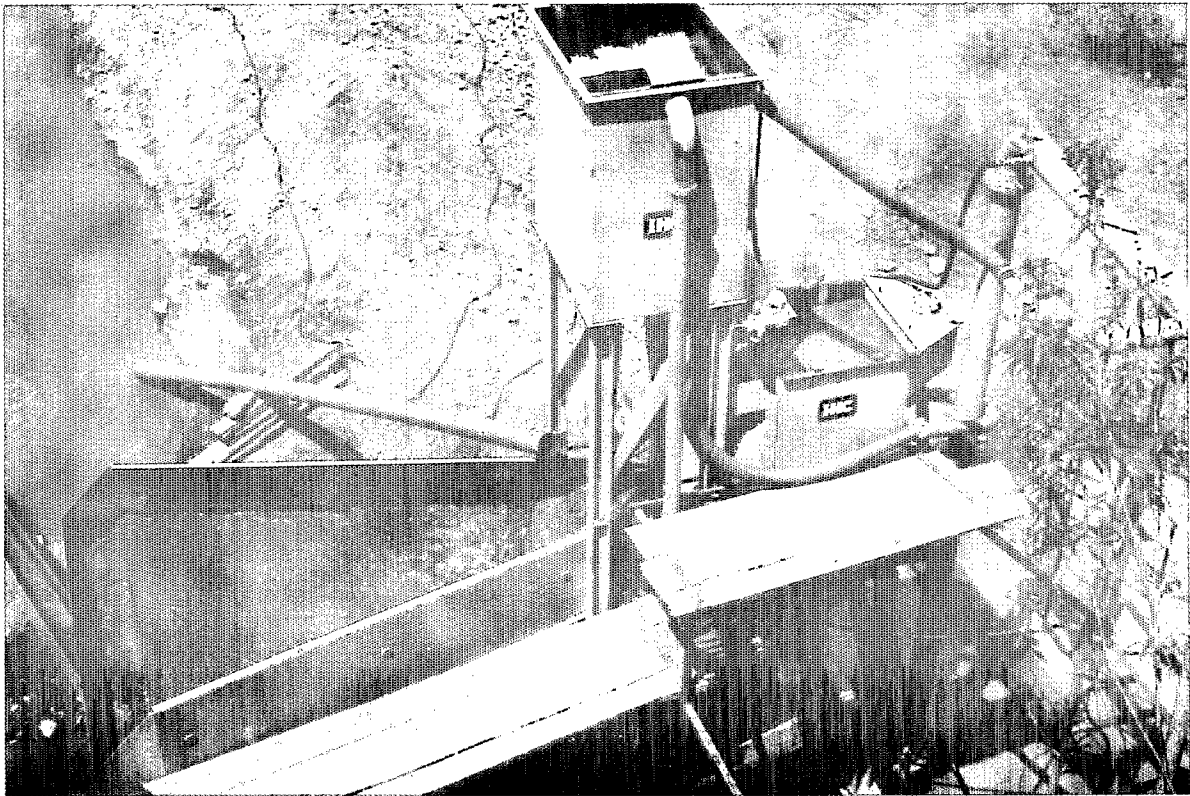


Fig. 17: Río Erjas (Cáceres): Jig primario a la izquierda, el secundario, más pequeño, a la derecha y el depósito de agua arriba.

El material se carga directamente en camiones que lo transportan a la planta-piloto, después de ser pesados en báscula. En el Río Duerna el control de la muestra se hizo exclusivamente por peso. La densidad usada para revertir el peso en volumen se calculó gracias a tres calicatas rectangulares, realizadas en puntos estratégicos, de 14 x 7 m, y una profundidad equivalente a la potencia del aluvión más 0,40 m que se excavaban en el "bed-rock" (igual criterio que los pozos). El volumen de cada calicata fue medido exclusivamente, y el material extraído, pesado. La densidad media obtenida fue de 2,34 (para los cálculos se empleó 2,3).

Al alcanzar el nivel freático se instala una bomba sumergible (fig. 15) tipo Flygt BS-2125-HT, capaz de elevar 80 m³/h a 10 m de altura, alimentada con un grupo generador de 25 kW. Al tener un peso elevado (83 kg) es desplazada de un lado a otro en el fondo del pozo con ayuda de una cadena que se suspende del cazo de la retroexcavadora. Si el aluvión tiene poca competencia en su parte superior, en contraste con su parte inferior, se continúa al llegar a ésta, con una sección menor (4 x 4 m) hasta el fondo del pozo. Se profundiza 0,3 a 0,4 m en el "bed-rock", dándose el pozo por finalizado. Se procede a la toma de medidas para el cálculo de volumen. Se realiza por secciones paralelas a la superficie (6 medidas o más por sección), controlando la profundidad de las mismas. Es fundamental mantener el nivel de agua muy bajo (menos de 0,5 m sobre el fondo del pozo) durante la ejecución. Es recomendable acabar dentro de la misma jornada de trabajo porque una subida del nivel de agua provoca el desplome de las paredes. Una vez procesado en la Planta-piloto el material extraído, se reintegra al pozo, para posteriormente extender el material del desmonte y la tierra vegetal, nivelando la superficie.

EL PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS.

El tratamiento de las voluminosas muestras (20 a 135 m³) de los pozos, se realiza en un lavadero adecuado. Básicamente, todas las plantas utilizadas fueron iguales (fig. 17, 18, 19 y 20). Cuentan con:

- Unidad de alimentación: parrilla de 200-250 mm, tolva de 3 a 12 m³, alimentador de bandeja o de cadena (400 a 500 m).

- Unidad de lavado y clasificación: tromel, entre 1,25 y 1,60 m de diámetro, con luz de criba entre 7 y 9 mm. En el río Erjas se construyó un tromel con criba oscilante con tamiz de 80 mm de luz y criba cónica de 3 m de longitud y 1,20 m de boca. En todos los casos, el material pasante por el tromel o la criba, es conducido a la unidad de concentración mediante una bomba de sólidos.

- Unidad de concentración: en el Río Duerna se instaló un ciclón de 250 mm para deslamar, y posteriormente un "sluice box" de 12.000 x 300 mm con rifles húngaros de 30 x 30 mm, espaciados 90 mm. Las muestras procedentes de las calicatas (280 m³ aproximadamente cada una) se concentraron, en un jig "Panamerican" de dos celdas 26" x 26" (sobre el "underflow" del ciclón). En los demás proyectos se empleó una unidad "I.H.C." que consistía en un jig primario (un módulo de jig radial con luz de 2 mm) y otro secundario (supermicro con luz también de 2mm) que trabajaba sobre el concentrado del anterior, enviándose el rebose del secundario a la cabeza del primario.

El agua limpia se suministraba de los ríos cercanos por bombeo y debido a su abundancia no se reciclaba desde la balsa de decantación de arenas. La capacidad de las plantas utilizadas referida al volumen "en banco", fueron:

Río Duerna	5 m ³ /h (11 t/h)
Ríos Ería y Omañas	30 m ³ /h (66 t/h)
Río Erjas	15 m ³ /h (33 t/h)

Al terminar una muestra, se procede a la limpieza cuidadosa de la Planta-piloto, que incluye la granalla de acero y magnetita y el lecho natural de minerales pesados de los jigs. Así hay varios puntos de muestreo: concentrado del jig secundario, lecho del jig primario, lecho del jig secundario, limpieza general, etc.. Todas estas muestras se bateaban hasta alcanzar concentrados entre 100 y 500 g que posteriormente eran analizados.

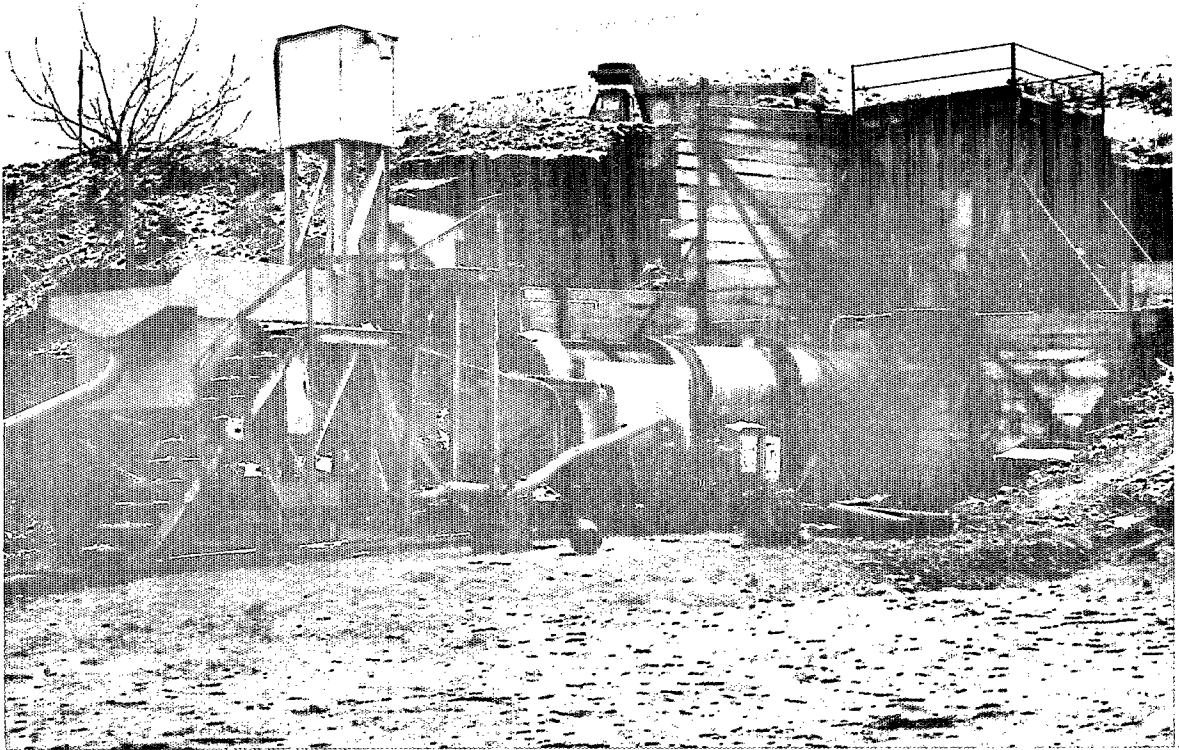


Fig. 18: Río Omañas (Léon): planta-piloto. Tolva-alimentadora (derecha), tromel (centro) y jigs (izquierda).

Los concentrados se analizan por amalgamación, siguiendo las siguientes pautas:

- Muestra: 0,1 a 0,5 kg de concentrado de batea.
- Acondicionamiento; para prevenir una mala amalgamación debido a posibles películas de óxidos de Fe y arcillas sobre las partículas de oro, se deja el concentrado durante 5 a 12h en una solución de H₂SO₄ de pH = 2 a 3, para su limpieza.
- Amalgamación; realizada a mano en mortero de porcelana, añadiendo 40 g de Hg y removiendo de 20' a 30' dependiendo de la cantidad de muestra. También se puede realizar en molino de bolas de porcelana.
- Extracción de la amalgama: el concentrado ya amalgamado se batea cuidadosamente sobre un recipiente para recoger el rechazo, hasta dejar la amalgama aislada, pasándola a continuación a una pequeña cápsula de porcelana.

- Ataque de la amalgama: se añade HNO_3 que se combina con el Hg. El oro queda libre del mercurio, formándose una "esponja" que se lava con agua distilada y se seca posteriormente.
- Copelación: la "esponja" de oro se envuelve en una lámina de Pb (sin Ag), y se coloca sobre una copela, introduciéndose en un horno-mufla a 850°C . La copela absorbe el plomo y las impurezas, quedando el régulo de metales preciosos sobre ella.
- Pesada del régulo en balanza de precisión de 0,1 mg de sensibilidad.

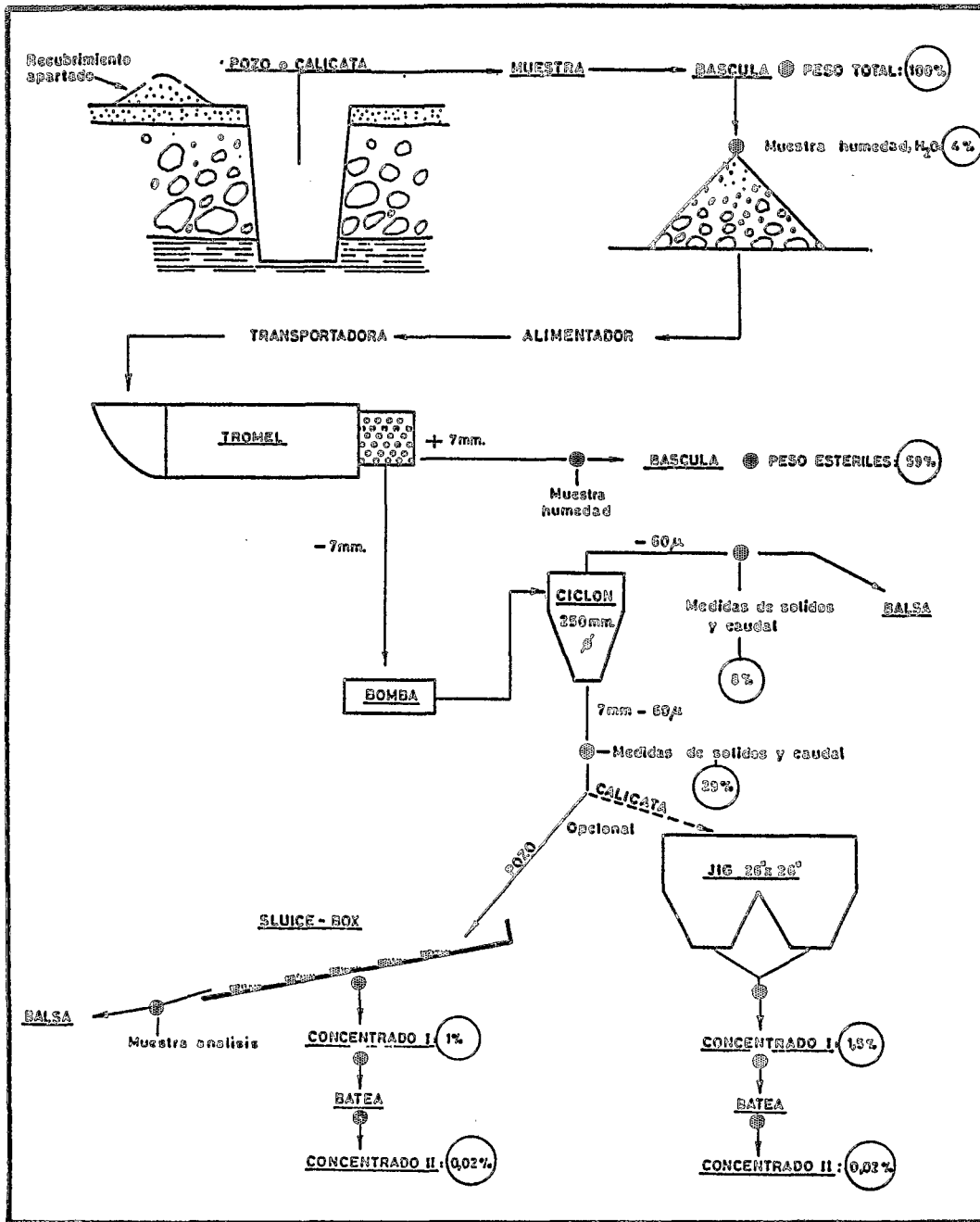


Fig. 19: Río Duerna (León): Esquema de tratamiento de una muestra. El "sluice" se empleó en la investigación sistemática con pozos, el jig se utilizó en el lavado y concentración de las calicatas.

De todos los r egulos obtenidos en una investigaci3n de aluvi3n, se seleccionan unos pocos para calcular la cantidad de oro que contienen. En las diferentes zonas prospectadas los resultados han sido idénticos, teniendo los r egulos 95% Au y 5% Ag. La suma de los r egulos obtenidos de los diferentes concentrados de una muestra representa, después de multiplicarla por 0,95, el tenor en oro fino de cada pozo. La comprobaci3n de los rechazos originados en la extracci3n de la amalgama, dieron como resultados valores de oro que nunca sobrepasaron el 0,1% del oro total.

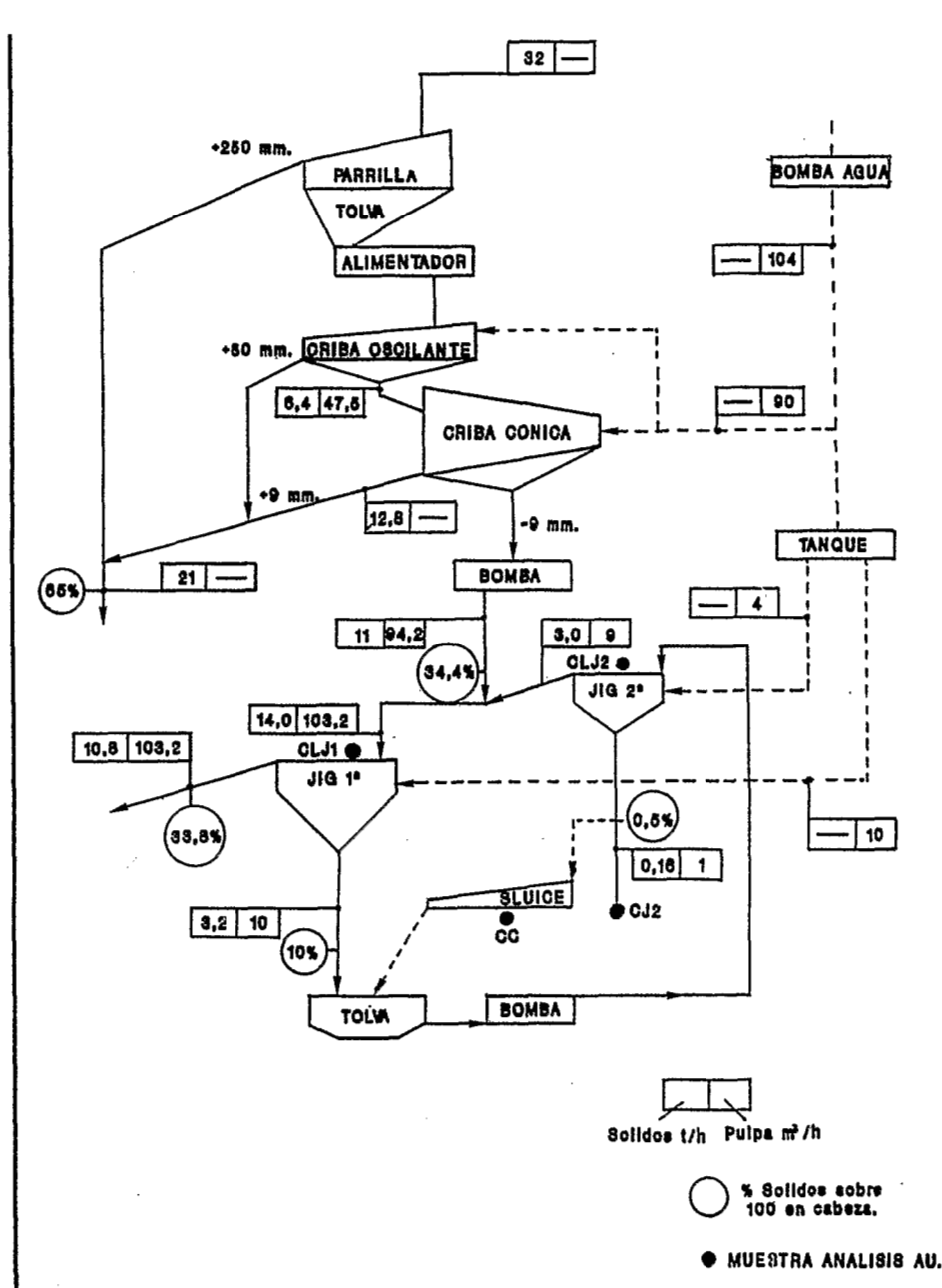


Fig. 20: Río Erjas (Cáceres): Esquema de flujo de materiales en planta-piloto.

CALCULO DE LEYES.

En las terrazas secas, donde se ha pesado la muestra, el cálculo del tenor es bastante simple:

$$\text{Ley Au (mg/m}^3\text{)} = \text{Ley Au (mg/t)} \times D, \text{ siendo D la densidad del aluvión.}$$

En las terrazas con agua, debido a las formas tronco-piramidales invertidas de pozo (fig. 16), es más complejo. En la tabla 3, se presenta un ejemplo práctico correspondiente al Pozo-23 del Río Omañas (fig. 15).

Tabla 3: Cálculo de leyes a partir de un pozo en una terraza fluvial con agua subterránea (Pozo 23 de Río Omañas-León). Se complementa con la figura. 15.

ORO EXTRAIDO : 15.251,3 mg.						
	Au VI(%)	VI(m ³)	VR(m ³)	Au VR(%)*	Au VR(mg)	Au VI(mg)
Q1	2	5,97	42,33	14,18	961,38	
Q2	15	5,97	22,75	57,16	3.875,37	
Q3	34	5,97	14,91	84,91	5.756,37	
Q4	49	5,97	8,37	68,70	4.657,77	
	100 %	23,88 m ³	88,36 m ³	224,95 %	15.251,30 mg	6.779,9 mg.

$$\text{LEY CALCULADA: } \frac{\text{Au VI}}{\text{VI}} = \frac{6.779,9 \text{ mg.}}{23,88 \text{ m}^3} = 283,9 \text{ mg./m}^3$$

* Suponiendo 100 % en VI.

EJEMPLO DE CALCULO:

$$\% \text{ Au VR(Q1)} = \frac{\% \text{ Au VI} \times \text{VR}}{\text{VI}} = \frac{2 \times 42,33}{5,97} = 14,18$$

$$\text{Au VR(Q1)} = \frac{\% \text{ Au VR} \times \text{Au VR}}{\% \text{ Au VR}} = \frac{14,18 \times 15.251,3}{224,95} = 961,38 \text{ mg.}$$

$$\text{Au VI(TOTAL)} = \frac{\% \text{ Au VI} \times \text{Au VR}}{\% \text{ Au VR}} = \frac{100 \times 15.251,3}{224,95} = 6.779,9 \text{ mg.}$$

La muestra siempre tendrá más material de la parte superior, más pobre que la inferior. Por otro lado la distribución del oro a lo largo de la vertical del aluvión, no es homogénea, sufriendo un importante incremento hacia el muro. De lo anterior se deduce que el Volumen Real (VR), que es el volumen total de la muestra que va a la planta-piloto, no es lo que se necesita. El necesario para los cálculos es el Volumen Ideal (VI), que acordamos como el volumen de un prisma recto que tiene de base la sección del fondo del pozo, y su altura corresponde a la potencia del aluvión aurífero (incluyendo, lógicamente, los centímetros que se ha penetrado en el "bed-rock").

Para calcular el tenor, tenemos que referirnos al oro contenido en el VI y por esto aplicar ciertas correcciones a los datos referentes al VR. Se divide la potencia del aluvión aurífero en cuatro partes iguales, con lo que tendremos el VI dividido también en 4 partes iguales, y el VR en otras cuatro partes pero desiguales (más pequeñas hacia el fondo del aluvión). A cada cuarto del VI, se le asigna el porcentaje establecido de antemano basado en los sondeos o pozos previos a la investigación sistemática y se supone que la distribución del oro en cada cuarto sí es homogénea.

De acuerdo a los puntos anteriores, se puede conocer el oro que hay en los cuatro tramos del VR en función del total de oro contenido en el VI (siempre el oro en el VR mayor que el contenido en el VI). Se considera el peso del oro extraído, y se equipara al oro que hay en el VR, si en el VI hubiera 100 y se deduce el peso real de oro que habría en el VI. Una vez obtenido este valor de oro en el VI, sólo queda dividirlo entre este volumen y así obtener la ley corregida y válida. Con estos conceptos claros es fácil, en los cálculos, cambiar la cota del desmonte según la conveniencia, independientemente de la que se usó en la realidad.

EVALUACION.

Las evaluaciones realizadas sobre los depósitos de terrazas fluviales son múltiples al tener tres parámetros variables: leyes de oro, volúmenes y "stripping ratio".

La cubicación se realizó por bloques, bien rómbicos o trapezoidales con cuatro pozos en las esquinas (Río Duerna), o bien polígonos irregulares con un pozo en su centro (los demás). Siempre se han respetado los contactos geológicos entre las terrazas, ajustándose los bloques a ellos. A cada bloque se le ha asignado el espesor del recubrimiento y potencia de aluvión aurífero del pozo o de los pozos (promedio) que lo definen, así como la ley en oro del citado pozo o de los pozos (media ponderada) afectados. En todas las evaluaciones se han guardado márgenes de seguridad a lo largo de río, carreteras y núcleos de población, y no se han considerado zonas que podrían tener un impacto ambiental tan fuerte que no se permite ningún tipo de explotación.

Las mallas empleadas oscilan entre 400 x 200 m y 200 x 200 m. Pueden parecer muy amplias, pero si comparamos con una malla 100 x 25 m de sondeos "banka" mecanizados de 6", se observa que tienen una representatividad con respecto al bloque definido de casi 10 veces más. En efecto, en el caso de la malla de pozos utilizada, el área de cada pozo es de 9 m² y el ratio área de pozo/área del bloque de 0,00023, mientras que con la red de sondeos "banka" este ratio baja a 0,000029.

Las leyes de oro sólo admiten la corrección de su finura, multiplicando por 0,95 (todos los datos finales representan oro fino de 1.000 milésimas). No se deben aplicar otras correcciones, ya que el sistema de lavado y concentración de las muestras es el estándar en un operación minera en aluviones, así se obtienen leyes de oro recuperado que no es necesariamente igual al oro contenido.

ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE PROSPECCION

DISCUSION Y COMPARACION DE SISTEMAS DE PROSPECCION.

En una prospección, basada en muestras de gran volumen, hay una serie de puntos conflictivos que hay que valorar, fundamentalmente en las terrazas fluviales con agua subterránea.

- Distribución vertical del oro.- La distribución porcentual que se aplicará para los cálculos de las leyes de los pozos, se aplicará al final de la prospección, ya que al menos un 10% de los pozos de evaluación hay que dividirlos en dos muestras, para comprobar la distribución previa, y corregirla si es necesario.

- Realización del pozo.- Algunos pozos, por la falta de consistencia del aluvión o la cantidad de agua, son muy difíciles de terminar y es necesario decidir si se incluyen o no en la evaluación. Si no se llega al "bed rock", se tiene que anular el pozo y si se llega sin poder profundizar lo suficiente, se admite el pozo teniendo en cuenta que los valores están subestimados.

- Medidas de volumen en el pozo.- Debido a derrumbes parciales, el pozo puede ser bastante irregular y es muy difícil medir su volumen, lo que entraña un gran peligro para la evaluación, ya que este parámetro junto con la cantidad de oro recuperada del pozo son las claves de prospección. Para ejercer un control en estos casos, o bien se pesan los camiones en básculas, o bien si no se puede hacer, se cubican los camiones. Así se actuó en el Río Erjas, y la correspondencia con la medida directa de volumen en el pozo fue muy cerrada ($\pm 5\%$), teniendo en cuenta la diferencia de densidades entre la del aluvión en banco (2,2) y la del material en el camión (1,85).

En cuanto al funcionamiento de las plantas-piloto, la experiencia mostró que las pérdidas de oro pueden ser importantes (3 a 7% en el Río Duerna) en el rechazo de tromel, si éste no está bien dimensionado o no hay suficiente agua (debe ser 1 m³ de agua por tonelada de material). Las pérdidas en los finos, traducidas a peso, son mínimas y los controles realizados en los reboses de los jigs y sluices, si están perfectamente calibrados, demuestran que se escapa aproximadamente el 0,1% del oro que se recupera. Por ejemplo, en la granalla de las cuatro últimas divisiones del módulo de jig radial de I.H.C., sólo se obtuvo el 0,4% del oro recuperado y en las dos últimas, no se detectó ni una sola partícula en ninguna muestra.

En el Río Omañas, donde existían sondeos "banka" previos a nuestra prospección, se realizó un estudio comparativo entre los dos sistemas de prospección en la zona de más alto contenido del aluvión, basado en 18 pozos de gran diámetro y 54 sondeos "banka" mecanizados. Los resultados resumidos fueron:

- . Ley de los bloques definidos por pozos de gran diámetro: 200,7 mg/m³ (100%).
- . Ley determinada a partir de sondeos "banka" (6"), en los bloques definidos por los pozos de gran diámetro: 199,7 mg/m³ (99,5%).
- . Ley determinada a partir de sondeos "banka" (6"), en los bloques definidos por estos sondeos: 204,9 mg/m³ (102,1%).
- . Ley determinada a partir de sondeos "banka" (6") más próximos a los pozos de gran diámetro: 254,1 mg/m³ (126,6%).

Se observa que sobre volúmenes de aluvión por encima de 1,5 millones de m^3 , la equivalencia es alta, y no así la comparación de sondeo y pozo más próximo, donde las desviaciones superan el 25%.

También pueden aparecer errores relativos de muestreo en diferentes tipos de pozo. A lo largo de varios apartados anteriores se ha subrayado la mayor representatividad de las muestras grandes en detrimento de las obtenidas por sondeos tipo "banka" mecanizados, tanto de 6" como de 400 mm, independientemente del mayor tiempo y dificultad de realización correcta de estos últimos. En la figura 21, basándose en Clifton et al., (1969), están representados los errores relativos de cada tipo de muestreo, en función del número de partículas de oro por muestra:

- . Pozos "banka" (6") ley obtenida, + 29%, -14%
- . Pozos "banka" (400 mm) ley obtenida, +13%, - 9%
- . Pozos gran diámetro ley obtenida, +2,8%, - 0,8%

Si añadimos a estos errores de los pozos "banka" en relación a los de gran diámetro, las diferencias de representatividad muestreadas anteriormente entre sondeos "banka" y pozos de gran diámetro, las diferencias se incrementan siempre a favor de los pozos de gran diámetro.

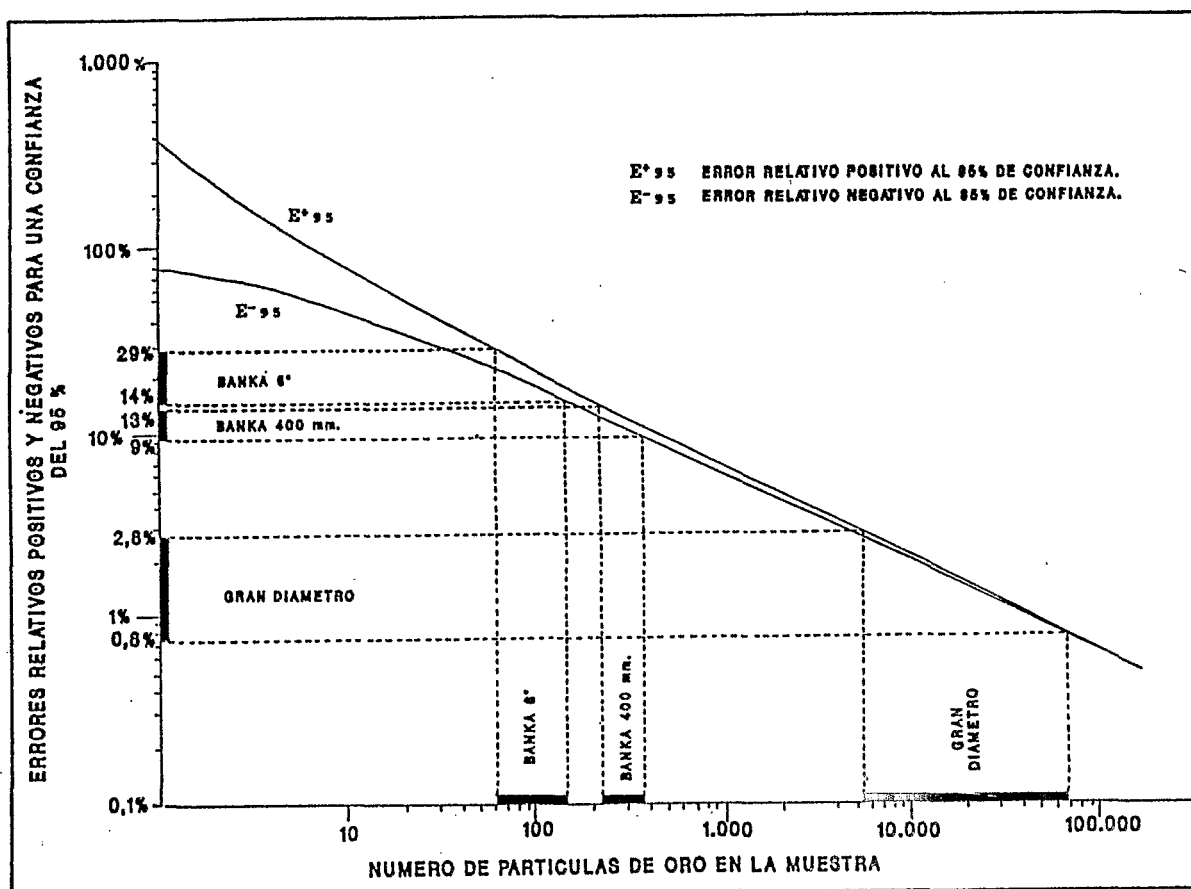
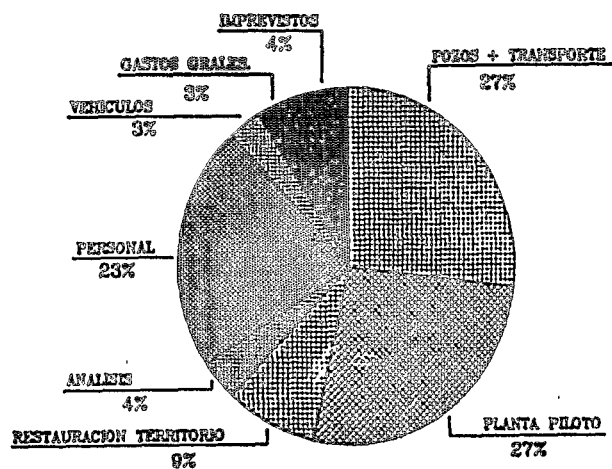


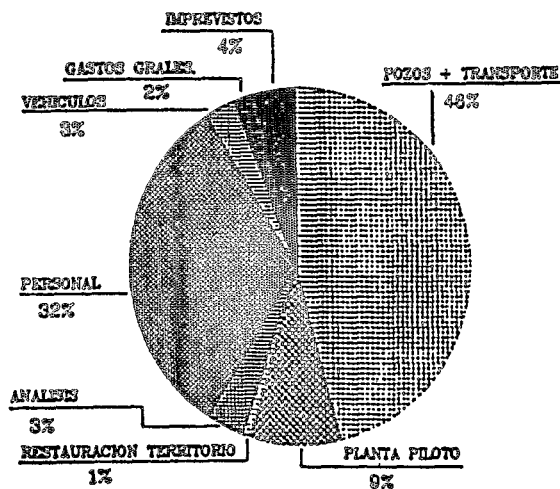
Fig. 21: Errores relativos de muestreo según el tipo de pozo.

DESGLOSE DE LA INVERSION POR CONCEPTOS

ERJAS
INVERSION: 530.000 \$



CANILES
INVERSION: 470.000 \$



DESGLOSE POZOS/MUESTRA/m³

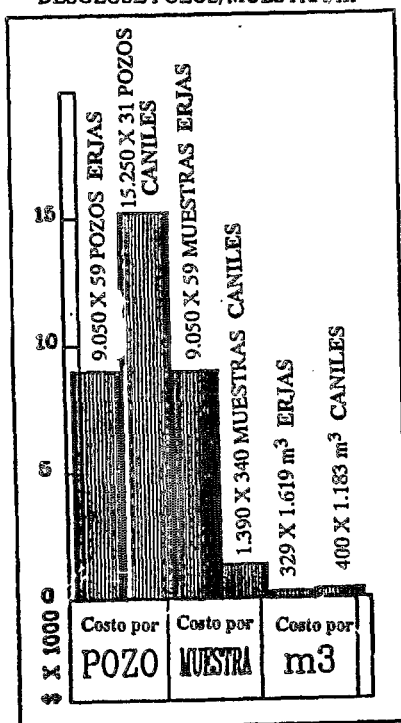


Fig. 22: Investigación en aluviones secos (Caniles) y con agua subterránea (Erjas). Inversión y distribución de costos.

DURACION Y COSTO DE LA PROSPECCION.

Además de las ventajas de su mayor representatividad y fiabilidad, la prospección basada en muestras grandes y Planta-piloto, tiene la ventaja de la rapidez si la comparamos con la convencional de los sondeos "banka" mecanizados. Un pozo en una terraza con agua subterránea se realiza y se procesa en una jornada laboral; un sondeo "banka" tarda tres días para la misma profundidad.

Un resumen cronológico, partiendo de una investigación de 40 a 60 pozos, y hasta el estudio de viabilidad sería:

	<i>Meses</i>	<i>Meses acumulados</i>
1) Geología + pozos previos:	2	2
2) Diseño + construcción de planta-piloto:	2,5	4,5
3) Transporte + instalación planta-piloto:	0,5	5
4) Pozos + evaluación:	4	9
5) Proyecto de viabilidad:	3	12

En la figura 22, se comparan los costos en aluvión seco (Caniles) y en otro donde existe agua en gran parte del mismo (Río Erjas), que además son los estudios más recientes. Las conclusiones más importantes serían:

- Costo total parecido. Un 10% más barato en el aluvión seco, que es debido principalmente a ser una planta-piloto más pequeña.
Caniles: 470.000 \$ US., Río Erjas: 530.000 \$ US.
- Costo similar por m³ procesado.
Caniles 400 \$ US., Río Erjas: 328 \$ US.
- Costo por pozo más elevado en aluviones secos.
Caniles: 15.250 \$ US., Río Erjas: 9.050 \$ US.
- Costo por muestra más elevado (cinco a ocho veces mayor) en aluviones con agua.
Caniles: 1.390 \$ US./muestra/3,5 m³. Río Erjas: .050 \$ U.S./muestra/30,8 m³.

Las cifras anteriores son reales, derivadas de unos ejercicios verdaderos. El costo de la investigación del Río Erjas realizada con sondeos "banka" mecanizados de 6" se puede evaluar de la siguiente manera:

- Costo total	356.500 \$ US.
- Costo por pozo	6.042 \$ US.
- Costo por muestra (0,018 m ³)	1.007 \$ US.
- Costo por m ³	54.846 \$ US.

El costo total se acerca al 70% de la prospección realizada con pozos de gran diámetro, pero el costo por m³ es el 606% más caro. Por otro lado, la duración de los sondeos sería de ocho meses, contra los cuatro meses en la prospección que se realizó (incluyendo en este último período, el trabajo de evaluación, de medio mes aproximadamente).

CONSIDERACIONES SOBRE LA EXPLOTACION DE ALUVIONES AURIFEROS EN ESPAÑA

De los proyectos que se han tratado en el presente trabajo, existen algunos que han llegado a la etapa del estudio de viabilidad. A título orientativo, y para completar la visión del tema, damos a continuación las condiciones teóricas que creemos necesarias para efectuar una explotación de 450.000 m³/año en una terraza seca.

- Movimiento suelo vegetal y recubrimiento : Mototraillas (contratadas)
- Sistema operación minera: Calles 80 m ancho
- Carga aluvión aurífero : Retroexcavadora 120 m³/h.(contratada)
- Transporte aluvión aurífero: Bandas transportadoras.
- Planta móvil: Cribas vibrantes mas "sluices" cortos.
- Rechazo grueso planta: Banda transportadora al corte.
- Rechazo fino planta: Por gravedad a balsa de decantación en el corte.
- Aporte de agua: 20% agua limpia y 80% agua reciclada.
- Terrenos Alquilados.

En cuanto a los parámetros económicos:

- Inversión estimada: 500.000 \$ US.
- Costo de operación: 1.050.000 \$ US./año.
- Precio de oro que iguala los ingresos y costos: 380 \$ US./Oz.

AGRADECIMIENTOS: Quiero agradecer a SEVELAR, S.A., Promotora de Minas de Carbón S.A., Mina Krystina S.A. y Río Tinto Minera S.A., el haberme permitido efectuar los trabajos de prospección que han dado pie a este resumen. También agradezco a J.E. Ascárate y A. Vergara del Banco de Crédito Industrial el apoyo prestado. Igualmente a M. Lamela y F.J. Sánchez, jefe de laboratorio y analista de R.T.M., que pusieron en marcha el sistema de análisis; a Talleres Wences y Seve S.L. por las ideas en la construcción de las plantas-piloto; a L. Díez por su aportación en la realización de los pozos; a B. Alvarez e I. Morán, bateadores; a la ORSTOM, que me ha ayudado en la presentación de este trabajo; a Borax España, S.A. por facilitarme su realización; y por último, quiero recordar a S. Marín, F. Marfany, E. Amor y W. García, a los que se debe buena parte de las ideas y el entusiasmo que me transmitieron durante las investigaciones sobre oro aluvionar.

REFERENCIAS

- BOYLE R.W. 1979., The geochemistry of gold and its deposits. Geol. Surv. of Canada, Bull. 280, 584 p.
- CLIFTON H.E., HUNTER R.E., SWANSON F.J., & PHILLIPS R.L., 1969. Sample size and meaningful gold analysis. U.S. Geol Surv., Prof. Pap., 635-C, pC1-C17.
- GARCIA VILADOMAT & MARQUINA, 1934. Catálogo descriptivo de los criadores minerales de España. Estudio de los yacimientos auríferos de la Provincia de León. Tomo II. Madrid. 241-248.
- HÉRAIL G., 1984. Géomorphologie et Gîtologie de l'or détritique. Editions du CNRS. 456 p.
- HÉRAIL G. & PEREZ GARCIA L.C., 1989. Intérêt archéologique d'une étude géomorpho-gîtologique: les gisements d'or alluvial du N.W. de l'Espagne. *In*: Minería y Metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas. Ed. CNRS.CSTC.
- MACDONALD E.H., 1983. Alluvial Mining. Chapman and Hall. London, New York.
- MIALL A.D., 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. *Fluvial Sedimentology*. Calgary. 859 p.
- PEREZ GARCIA L.C., 1977. Los sedimentos auríferos del NO de la cuenca del Duero (Provincia de León), y su prospección. Tesis Univ. Oviedo. 403 p + mapas fuera de texto.
- PEREZ GARCIA L.C., 1984. Evaluación de los aluviones auríferos de las terrazas 3,4 y 5 del Río Duerna (León). R.T.M.
- PEREZ GARCIA L.C., 1987a. Prospección de la terraza actual del Río Eria (León). P.M.C.
- PEREZ GARCIA L.C. 1987b., Prospección de la terraza actual del Río Omañas. P.M.C.
- PEREZ GARCIA L.C. & RIVAS A., 1988. Evaluación de los aluviones auríferos del Río Erjas (Cáceres). MINA KRYSTINA.
- PEREZ GARCIA L.C. 1990. Oro aluvionar de Caniles (Granada). Informe final. SEVELAR S.A.
- SANCHEZ-PALENCIA RAMOS F.J., 1983. La explotación de oro en Asturias y la Gallaecia en la antigüedad. Tesis ined. Univ. Complutense. Madrid.
- SURINGAR G.C.B., 1985. Estudio de viabilidad de los aluviones del Río Duerna. SEVELAR, S.A.