

Evaluación y control de la aportación sólida al embalse de Beninar (Almería)

Por E. CARRASCO GADEA Dr. Ing.

J. LOPEZ MARTOS Dr. Ing.

M. VIZCAINO ALCALA Ing.

Confederación Hidrográfica del Sur de España

Se desarrolla el trabajo en dos partes. La primera de ellas expone las líneas generales del problema de la erosión y la segunda ilustra, con el ejemplo de la presa de Beninar, los principios expuestos en la introducción.

La presa de Beninar, en el rincón Sureste de España, es la obra más importante en el Plan de Aprovechamiento Integral del Río Grande de Adra, cuyos objetivos principales son el abastecimiento de la ciudad de Almería y la colaboración en el riego del "Campo de las Dalías".

La naturaleza geológica, clima, cubierta vegetal y usos del suelo en el área vertiente ofrecen unos graves problemas de erosión, cuyo remedio es indispensable para prolongar la vida útil del embalse.

En este trabajo intentamos mostrar las medidas emprendidas para controlar el aterramiento del embalse; medidas que incluyen el tratamiento de la cuenca vertiente para prevenir la erosión en su fuente, la corrección de los cauces de los ríos y arroyos para disminuir la velocidad de las avenidas, la construcción de presas de retenida en las entradas del embalse para evitar la llegada de material sólido al mismo, y, finalmente, si fuera absolutamente necesario, el desagüe de pequeños volúmenes de aguas turbias a través de los órganos de la presa misma.

INTRODUCCION

El Sureste peninsular se caracteriza por ser extraordinariamente montañoso, con valles profundos y estrechos y escasa pluviosidad, concentrada, además, en precipitaciones muy intensas pero de muy escasa duración.

Ambas circunstancias dan a sus cursos un carácter marcadamente torrencial. Los mal llamados ríos no corren, «salen». Con esta expresión se designa el fenómeno de que, cauces normalmente secos o con muy escaso caudal, sufren una avenida importante que, en la mayor parte de los casos, sólo dura pocas horas.

Por otra parte, el clima, con temperaturas suaves y muchas horas de sol al año, juntamente con técnicas de cultivo muy especializadas (enarenados, plásticos en el suelo, invernaderos de plástico e invernaderos de cristal), permite rendimientos elevadísimos en las zonas regables.

Lo anteriormente expuesto hace que, por lo que se refiere a esta zona, haya que cambiar, por

completo, el esquema de ordenación de los regadíos, que a primera vista parece el racional y que lo sería para otras zonas con características distintas.

Lo normal es que los cultivos se establezcan fuera del alcance de las inundaciones y que se vigile, para evitarlo, los posibles intentos de invasión de los cauces por los propietarios de los predios ribereños, conservando su capacidad de desagüe para que sean capaces, incluso, de evacuar las avenidas extraordinarias.

Pues bien, si en esta zona se pretendiese seguir ese criterio, no quedaría sitio para los regadíos, puesto que las avenidas extraordinarias llenan el valle de monte a monte, es decir, todo el valle es cauce. Los regadíos tienen, por fuerza, que ser establecidos en los cauces de las avenidas extraordinarias, dejando al río un cauce artificial totalmente insuficiente, en la inteligencia de que, periódicamente, se han de producir inundaciones en los cultivos. La amplitud del encauzamiento se ha de determinar como un compromiso entre la conveniencia de contar con la mayor superficie de riego

que sea posible, o sensato, tener, y que las inundaciones no sean excesivamente frecuentes. Prueba de lo que aquí se dice es que la unidad muy frecuentemente empleada de superficie agraria es el «marjal» (428 m²). Y marjal significa, según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, terreno bajo y pantanoso.

Pero una cosa es que los cultivos se inunden, con la pérdida periódica de la cosecha, ampliamente compensada con el buen rendimiento del resto de los años, y otra, muy distinta, es que se pierda la propia finca, convertida en gravera por los arrastres sólidos. Además, como el porcentaje de éstos puede ser muy alto, contribuyen a aumentar el caudal de la avenida y la densidad del agua, cuya fuerza viva suele causar destrozos, también, en el propio encauzamiento.

De lo expuesto se deduce lo fundamental que resulta la corrección de las cuencas, no ya solamente para evitar la colmatación de los embalses, en las que éstas existen, sino también en todas las demás, para proteger sus escasos pero fertilísimos regadíos.

El tratamiento de una cuenca, del que es un notable ejemplo el descrito por Juan López Martos en su trabajo sobre «Evaluación y control de la aportación sólida al embalse de Beninar (Almería)», además, reduce por laminación la intensidad de las avenidas y evita la progresiva desertización de sus terrenos de secano.

Pero, tal como puede deducirse del propio trabajo mencionado, el problema es muy complejo, pues, como en él puede verse, no se trata, sencillamente, de repoblar (con árboles) los montes y corregir (con diques) los cauces. En algunos casos puede ser más económico, e incluso más eficaz, la conservación o regeneración del monte bajo, evitando la roturación y el pastoreo abusivos. Algunos cultivos de secano, como los almendros o la viña, en terrenos de fuerte pendiente, son absolutamente incompatibles con la presencia de embalses o regadíos en valles estrechos aguas abajo si previamente no se ha abancalado el terreno. Habrá casos en los que sí será rentable la repoblación forestal con árboles. Y, finalmente, habrá otras, situadas en los extremos opuestos del espectro, en las que no se necesitará llevar a cabo ninguna actuación. Son éstas, de una parte, los macizos rocosos de difícil erosión y, de otra, los terrenos de cultivo en los que, por sus características, no sean de temer los arrastres.

Las plantaciones de almendros no cubren el terreno que no obstante ha de ser labrado. Cuando la pendiente es fuerte y el laboreo se hace con tractor,

éstos, para no volcar, siguen la línea de máxima pendiente, lo que agrava el fenómeno de degradación. Es, pues, necesario suprimir estos cultivos o promover el abancalamiento, pero esto necesita, indudablemente, subvención.

Parece, por tanto, que el estudio completo de todas las actuaciones necesarias para garantizar, tanto la supresión, o al menos la disminución o retención de los arrastres sólidos, como la degradación de los terrenos de secano, habría de corresponder a un equipo pluridisciplinar. Para aquellas cuencas, en las que el problema sea especialmente urgente o grave, se podría constituir una Comisión Técnica Mixta Agricultura-Obras Públicas y Urbanismo, de funcionamiento análogo a las que vienen interviniendo en los grandes planes de regadío, si bien en este caso con la intervención de ingenieros de montes.

Misión de estas comisiones técnicas mixtas sería: el estudio completo de la cuenca, su división en zonas según sus características de pendientes, naturaleza del suelo, cultivos existentes, etcétera; la propuesta de las actuaciones a llevar a cabo en cada caso, la elaboración del plan valorado de estas actuaciones, así como de su distribución en el tiempo, y la propuesta de distribución de dichas actuaciones entre los distintos organismos implicados de uno y otro Ministerio.

En el caso de la presa de Benimar, la misma disposición que ordenó su construcción establecía una actuación coordinada de ICONA y la Confederación Hidrográfica del Sur de España, que ha resultado muy fructífera pero que, sin embargo, adolecía de importantes lagunas. Por ejemplo, no contemplaba la actuación a llevar a cabo ante la existencia de cultivos de almendros en terrenos de fuerte pendiente, ni la defensa del monte bajo existente frente a la rotación y el pastoreo abusivos. Todas estas acciones podrán ser contempladas en el seno de la comisión técnica mixta correspondiente.

Hemos visto que el establecimiento de regadíos en el cauce de avenidas extraordinarias puede resultar rentable en algunos casos, pero esto no quita el que cuando, en definitiva, llega la avenida, cualquiera que sea el período de recurrencia de la que dé lugar el desbordamiento, las pérdidas se concentran en ese año, con lo que, aunque en el conjunto de período el resultado sea favorable, se produce el correspondiente trauma.

Sería necesario idear algún procedimiento de repartir esta carga de forma homogénea a lo largo del tiempo, a través de la creación de un fondo de compensación o de un seguro obligatorio que per-

mitiera al agricultor resarcirse de sus pérdidas en el año en que éstas se presentasen.

En todo caso, lo que sería preciso evitar a toda costa es que este sistema, que puede ser conveniente para los regadíos, especialmente cuando éstos no se pueden establecer fácilmente en otra parte, se generalice y se invadan los cauces de las avenidas extraordinarias con aprovechamientos de otro tipo, cuya compensación resultaría difícil o imposible, y con mayor razón viviendas, que pueden dar lugar a la pérdida de vidas humanas.

1. DESCRIPCION GENERAL

La presa de Beninar está situada sobre el río Grande de Adra, en la provincia andaluza de Almería, en la zona Suroriental de la península Ibérica. Constituye la obra principal del plan de aprovechamiento de las aportaciones de dicho río, cuyo destino final será el abastecimiento de la ciudad de Almería y la colaboración para el riego del «Campo de Dalías», cuya fuente exclusiva actual es un acuífero subterráneo peligrosamente sobreexplotado.

La demanda potencial futura del embalse (año 2000) puede estimarse en 34 Hm³/año para abastecimiento y 42 Hm³/año para riego, frente a una aportación media de 45 Hm³, lo que nos lleva lógicamente a tratar de utilizar no sólo la aportación, sino a acudir a cuencas vecinas 48 Hm³.

La cuenca aporta al lugar de emplazamiento del embalse una gran cantidad de sólidos, lo que unido al balance desfavorable demanda-aportación ha obligado a los responsables de la obra a plantear la lucha contra el aterramiento en el ámbito conjunto del embalse y la cuenca. Esto conlleva el trabajar en dos frentes: primeramente reducir la erosión en la cuenca vertiente, y en segundo lugar reducir la llegada de material sólido al embalse.

Este trabajo pretende, pues, mostrar las razones que avalan nuestro planteamiento, las vías emprendidas y los resultados hasta ahora obtenidos.

2. TIPOLOGIA DE LA PRESA

La presa, actualmente en construcción, es de materiales sueltos y perfil diferenciado (figura 1).

El espaldón impermeable está formado por filitas, roca metamórfica muy abundante en la zona del emplazamiento. La presa tiene una altura de 87 m. y un volumen de materiales de 4.807.174 m³. El volumen del embalse creado es de 70 Hm³. Cuenta la presa con los siguientes órganos de desagüe: aliviadero de superficie capaz de 500 m³/seg. dotado de tres compuertas Taintor de 6 X 3 m. cada una, un desagüe de fondo en torre con umbral de toma fijo a la cota 307,50, con capacidad de 35,6 m³ para 52 m. de carga de agua, regulable con compuertas tipo Bureau y Howell-Bunger, y la toma para la conducción, regulable igualmente con compuertas Bureau y Howell-Bunger y capacidad hasta 8 m³/segundo.

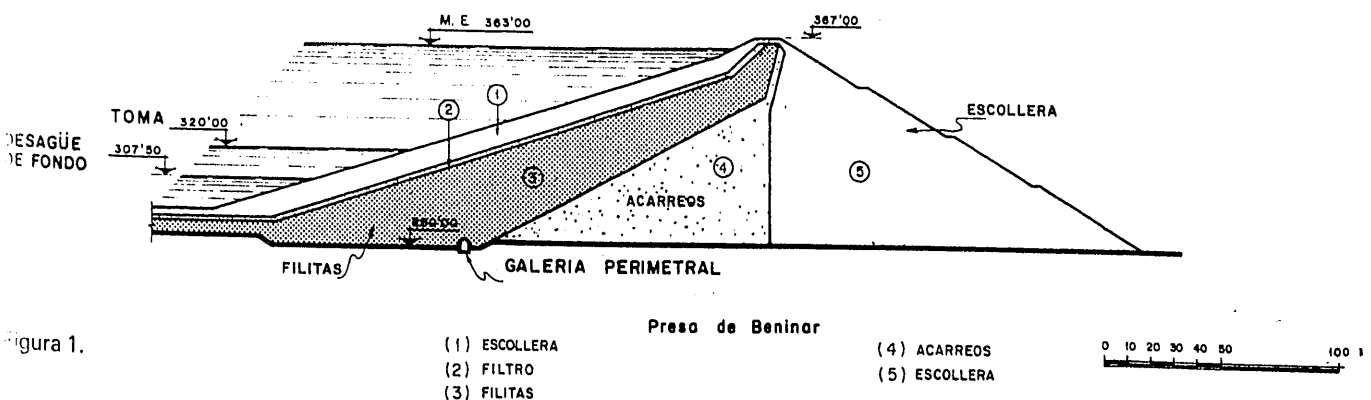
3. CARACTERISTICAS DE LA CUENCA

3.1. Situación y extensión

La cuenca vertiente de la presa de Beninar afecta a las provincias de Granada y Almería en sus límites oriental y occidental, respectivamente, en el sureste de la península Ibérica. Sus límites en coordenadas Lambert, son: 253,8-280,2 L.N.; 646,5-667,7 L.E. La extensión de la cuenca es de 521 km².

3.2. Topografía y clinometría

La cuenca es de topografía muy accidentada, las cotas máximas y mínimas son 2.784, en el alto de



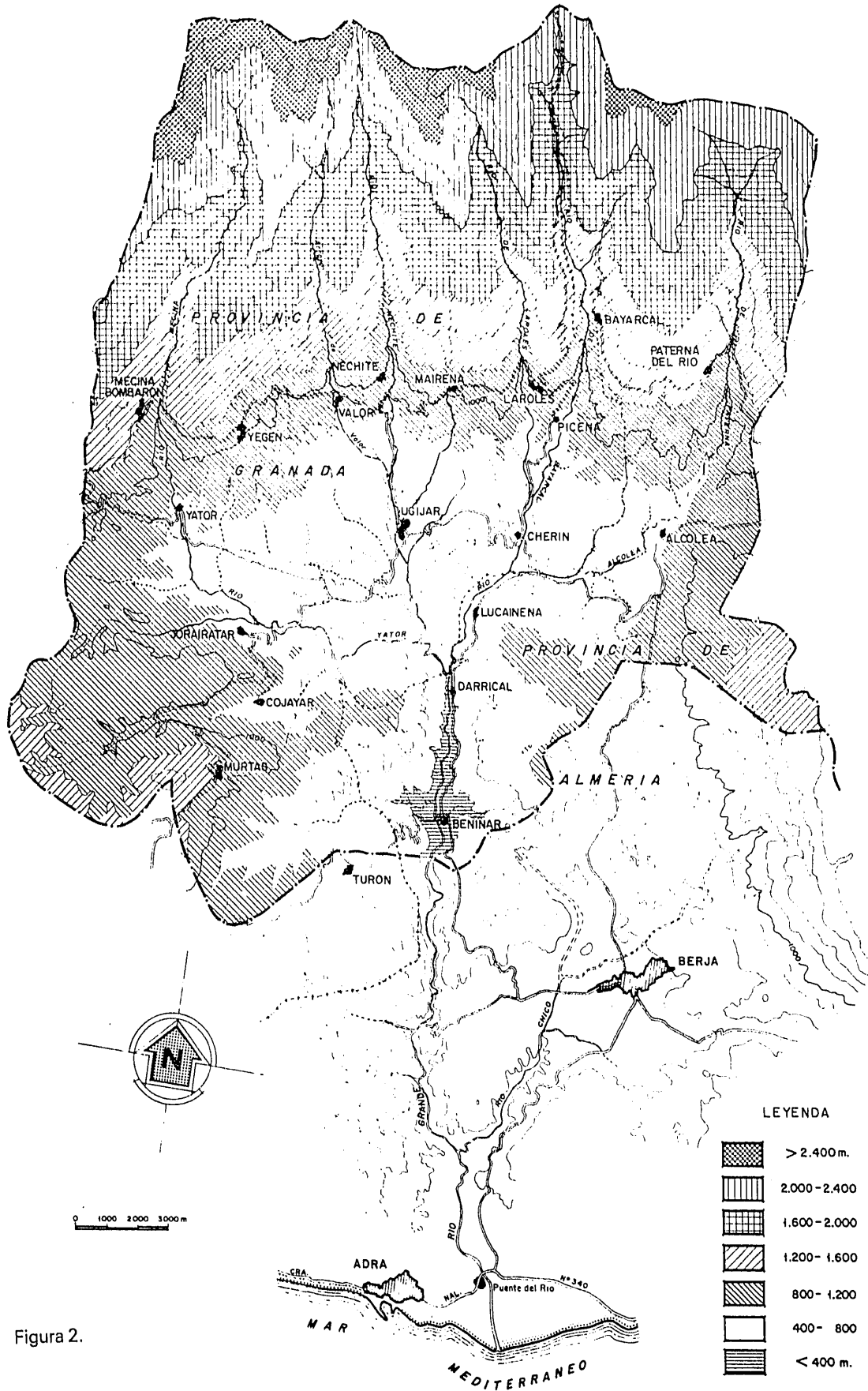


Figura 2.

EVALUACION Y CONTROL DE LA APORTACION SOLIDA AL EMBALSE DE BENINAR

San Juan, y 284, en el punto de emplazamiento de la presa, ambas sobre el nivel del mar. La cota media es de 1.534.

La distribución de alturas es la señalada en la figura 2.

La curva hipsométrica es la representada en la figura 3.

De su examen se deduce una zona apacible, entre las cotas 400 y 1.200. De la forma de la curva, y de acuerdo con Scheidegger, la cuenca presenta un estado evolutivo juventud-madurez.

En cuanto a clinometría, en el plano de la figura 4 distinguimos entre zonas con pendientes $P < 15\%$, $15 < P < 30\%$ y $P > 30\%$.

Cuantificados, resultan las siguientes superficies:

- $P < 15\%$: 93 km²
- $15 < P < 30\%$: 254 km²
- $P > 30\%$: 174 km²

3.3. Climatología

3.3.1. Temperaturas

La distribución de temperaturas en la cuenca se ha obtenido a partir de los datos registrados, durante un período de observación de veinte años, en cuatro estaciones enclavadas en la cuenca y sus inmediaciones

Estas son:

Estación	Altura sobre el nivel del mar
Berja	350
Castala	650
Laujar	907
Laujar Cerrillo	2.100

Las temperaturas medias deducidas para la cuenca, son:

Tercio inferior de la cuenca	21° C
Valles de Beninar, Yator y Alcolea	17° C
Aldeas de Sierra Nevada	15° C
Abeceras de Sierra Nevada	12° C

3.2. Pluviometría

La pluviometría de la cuenca es muy variable en el espacio y en el tiempo, como es característico de las zonas ribereñas del Mediterráneo.

En la figura 5 se representa el plano de isoyetas medias correspondiente al período 1945/46-1964/65; se puede observar cómo los valores oscilan desde 400 mm/m² y año en la divisoria Norte.

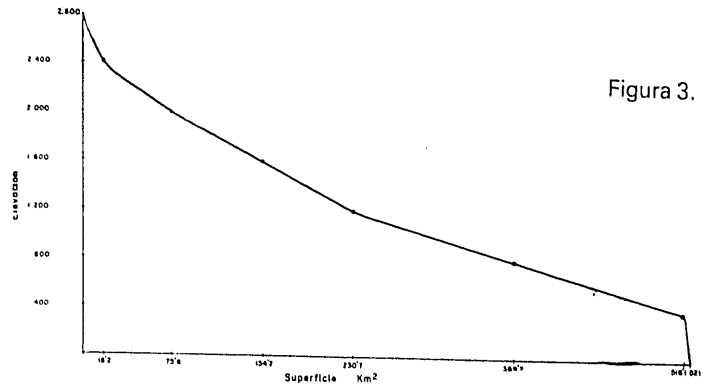


Figura 3.

Seguindo a Drouhin y otros (R-49, Q-14; IV Congreso ICOLD, 1951), los efectos erosivos sobre una cuenca están en relación con la intensidad y duración de las tormentas, considerándose peligrosas aquellas precipitaciones cuya intensidad alcanza los valores siguientes: 30 mm. en veinticuatro horas o 20 mm. en dos horas. Se tendrá, pues, una idea del potencial erosivo de estas cuencas analizando sus datos pluviométricos. Se observa que en el período 1943-1961 en las provincias de Granada y Almería los valores límites anteriores se han superado en 12 ocasiones el primero y en 8 el segundo.

Como dato significativo haremos referencia al fuerte temporal que durante los días 18 y 19 de octubre afectó a las cuencas del Sureste del territorio peninsular español, ocasionando elevados daños materiales y costando la vida a más de 80 personas. En la cuenca del embalse de Beninar se registraron cantidades de lluvia superiores a los 300 mm/m² en siete horas. Reconstruido el diagrama de avenida a partir de los datos de aforo disponibles y de las observaciones hechas en las distintas cuencas parciales, resultó un caudal máximo de 910 m³/seg., el cual supera el valor teórico calculado para la avenida de quinientos años de períodos de retorno: 500 m³/seg.

3.4. Red de drenaje

La red de drenaje está caracterizada por la gran pendiente de los cauces, en particular a partir de la cota 1.000 s.n.m., y por la orientación Norte-Sur de los principales. Distinguiremos como más importantes los ríos Yator y Alcolea, que confluyen unos seis kilómetros agua arriba de la ubicación de la presa para formar el río Grande de Adra.

El número total de cauces de distinto orden es de 12.747, con una longitud de 3.417 km., lo que da una frecuencia de 24,46 cauces/km² y una densidad media de drenaje de 6,56 kg/km² (L. G. R. y R. Vega de Pedro, V Coloquio de Geografía, Granada, España, 1977).

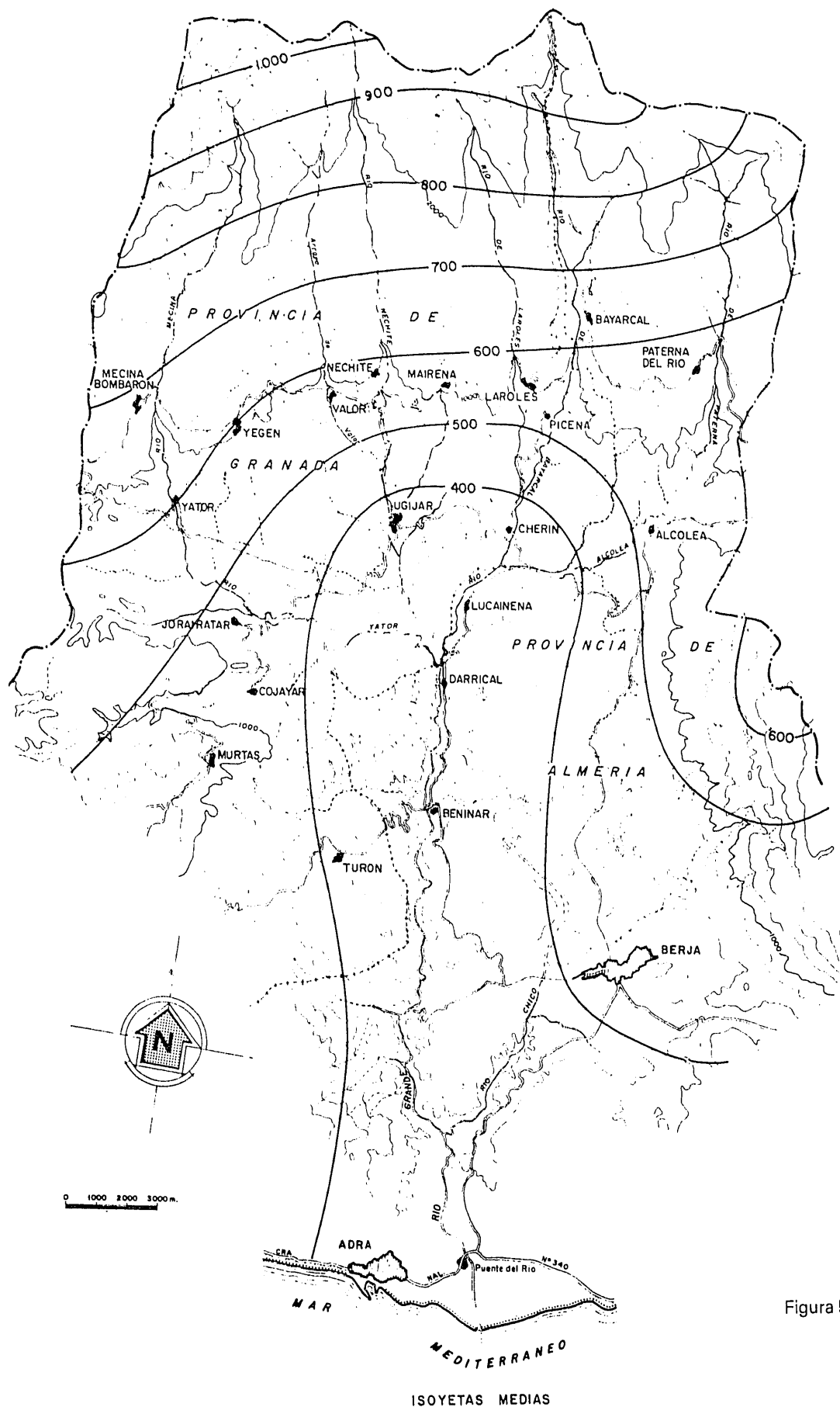


Figura 5.

3.5. Geología

Desde el punto de vista geológico, toda la cuenca queda inmersa en las cordilleras béticas, caracterizada aquí por dos grandes formaciones: Nevado-Filábride al Norte, a partir de la cota 1.000 y hacia arriba, y la Alpujarride, al Sur. Esta última es alóctona, tectónicamente superpuesta a la primera y de procedencia meridional. A su vez, según Aldaya, esta formación la constituyen cinco mantos superpuestos que, en orden ascendente, son los de Lújar, Cástaras, Alcázar, Murtas y Adra. En la zona de contacto entre Alpujarride y Nevado-Filábrides quedan restos de depósitos más recientes de sedimentos marinos y continentales.

Las rocas que caracterizan a la formación Nevado-Filábride son micasquitos grafitosos, cuarcitas, micacitas y anfibolitas. En cuanto a los mantos de corrimiento, su composición corresponde a un mismo esquema: un potente paquete de calizas y dolomías que yacen sobre otro de filitas y cuarcitas. La zona de contacto está caracterizada por conglomerados basales, calizas arenosas, margas y limos amarillos. Los minerales constitutivos de las filitas son principalmente cuarzo, moscovita, plagioclasas, clorita y sericita. Estos minerales son el resultado de un metamorfismo regional sobre un sedimento cuarzo-arcilloso. Las filitas se presentan en láminas finas, untuosas, no duras y bastante rotas, son plásticas, con tendencia a degradarse y deslizar posteriormente.

Desde el punto de vista erosivo y de arrastre, los elementos afines a este fenómeno son las filitas de los respectivos mantos y las formaciones señaladas de la zona de contacto. En el mapa de la figura 6 se representa una cartografía de las distintas formaciones.

3.6. Utilización del suelo

Aquí, como desgraciadamente se podía hacer extensivo a distintas zonas del Globo, es aplicable la máxima «antes el bosque, después el desierto». Es en este apartado donde ponemos un énfasis especial, no ya por contemplar el problema desde un punto de vista como el que nos ocupa, sino porque rebasa soluciones eminentemente técnicas, entrando en las de tipo social, que aquí no vienen al caso.

En la cuenca se desarrollan cultivos en zonas donde las características físicas del suelo han permitido el laboreo sin tener en cuenta un factor tan importante y limitativo cual es la pendiente de las laderas, y así vemos asentados cultivos en cualquier tipo de pendiente, por monstruoso que parezca.

Una vista aérea nos muestra un mosaico de 521 km² constituido por manchas extensas o pequeñas diseminadas en terrenos blandos susceptibles de laboreo y laboreadas, que contrastan con los potentes afloramientos de roca dura y terrenos desnudos totalmente arruinados.

Hemos contabilizado la distribución de usos del suelo y calculado su porcentaje con relación a la superficie total, y tenemos:

Bosque denso y claro	5,1 %
Repoblación artificial.	11,6 %
Matorral de alta montaña	8,6 %
Matorral degradado	27,7 %
Cultivo agrícola en secano	35,3 %
Cultivo agrícola en regadío	9,3 %
Vegas	0,7 %
Terrenos totalmente desnudos.	1,7 %

Vemos el alto porcentaje dedicado al cultivo agrícola de secano, localizado en dos zonas: la occidental, que comprende Turón, Murtas, Cojayar, Jorairatar, consagrada preferentemente al almendro, siguiéndole en importancia la higuera, especies ambas que para su desarrollo óptimo necesitan el arado de la tierra al menos dos veces al año (otoño y primavera), períodos éstos que coinciden con la formación de tormentas. Además, hemos de observar las fuertes pendientes de los asentamientos y la naturaleza filítica del suelo. En la zona intermedia de la cuenca, dominada por la formación miocena, el cultivo de secano se orienta al cereal y aquí, aunque las pendientes no son altas, la naturaleza del suelo le hace especialmente propenso al fenómeno erosivo, con grandes cárcavas y barrancos de paredes casi verticales, como se puede ver en Yator, Ugijar y Cherin.

Hemos de señalar también como zonas potencialmente peligrosas las situadas en la margen izquierda de los ríos Alcolea y Adra en su curso medio, entre los 500 y 1.000 m. sobre el nivel del mar, en que predominan calizas, y en las que se desarrolla un matorral claro y degradado, fundamentalmente debido al pastoreo trashumante de ganado caprino. Este área la hemos estimado en un 27,7 % de la superficie de la cuenca.

4. EROSION

El proceso de erosión de los terrenos como consecuencia de los agentes atmosféricos, fundamentalmente lluvia, es un fenómeno conocido de modelado de suelos, modelado que vendrá influido directamente por las condiciones de la cuenca, tales

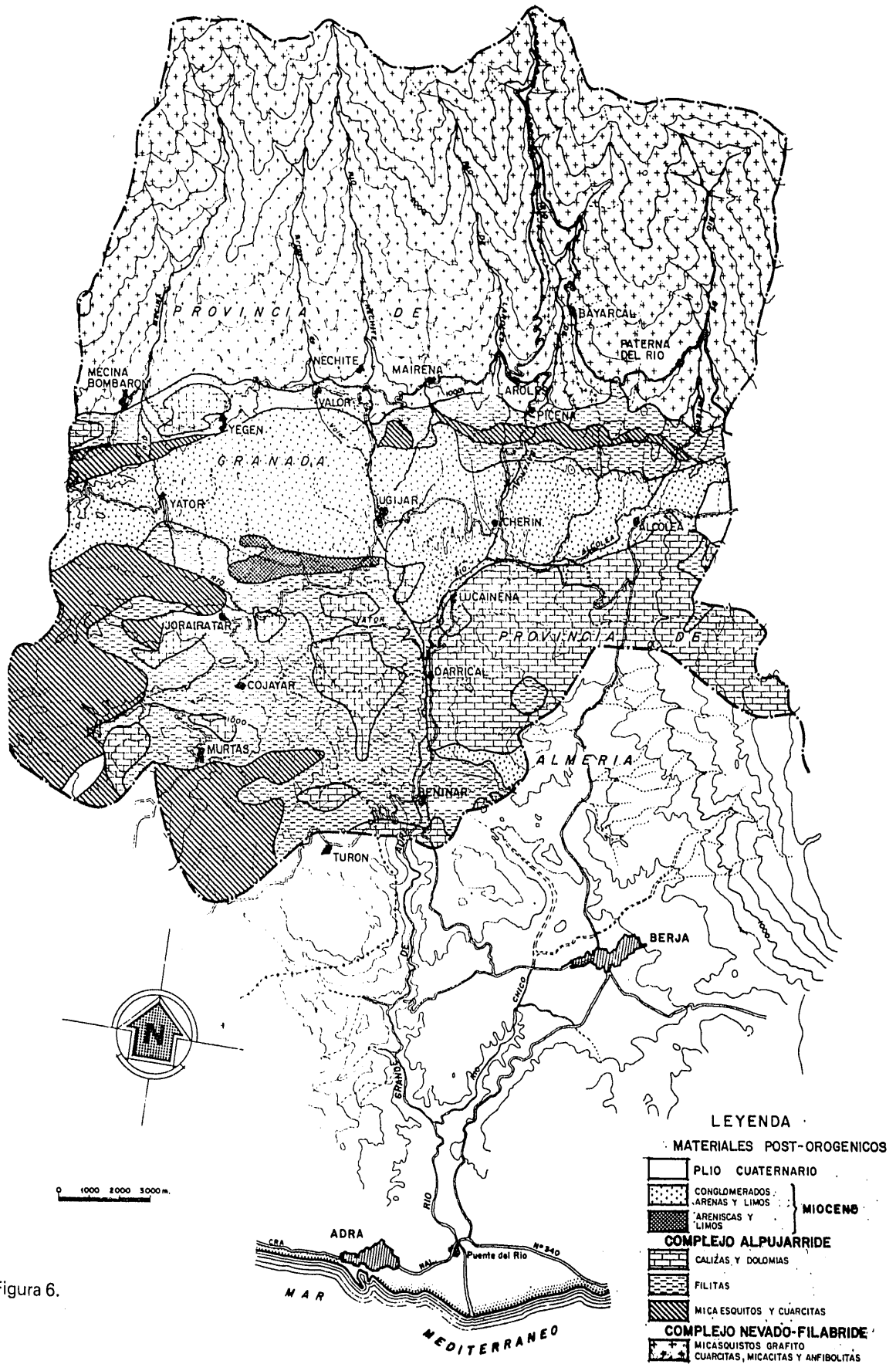


Figura 6.

GEOLOGIA

como las señaladas: clinometría, naturaleza geológica, usos del suelo, etcétera.

La cuenca del embalse de Beninar, receptora de escasos aguaceros, intensos y violentos, presenta un campo favorable para el desarrollo de fenómenos erosivos, cuya grave incidencia sobre la vida útil del mismo pretendemos combatir luchando en dos frentes: inicio del proceso y transporte y sedimentación de los elementos producidos.

4.1. Erosión y transporte de partículas gruesas

La acción erosiva de una corriente y su poder de transporte son función de la fuerza de arrastre límite, entendiéndose como tal aquella que es capaz de poner en movimiento los acarros del lecho, viniendo ésta dada, aproximadamente, por la expresión:

$$F = w \cdot j \cdot h$$

donde F = fuerza de arrastre en kg/m^2 .

w = peso específico del líquido en kg/m^3 .

j = pendiente del cauce en %.

h = calado de la corriente en m.

En la cuenca que nos ocupa, y fijándonos sólo en los cauces principales, tales como los ríos Yator, Nechite, Bayarcal y Alcolea, las pendientes medias respectivas, tomando como final la presa de Beninar, son las que se representan en el gráfico adjunto. Además, la forma en V de sus valles da lugar a fuertes calados después de lluvias intensas (figura 7).

Estas dos variables, pendiente y calado, coadyuvan al intenso fenómeno erosivo y de transporte de áridos del lecho.

4.2. Erosión y transporte en suspensión

Cuando los elementos sólidos arrastrados por el agua son lo suficientemente finos tienen una velocidad similar a la de la corriente y pueden ser elevados en el seno de ésta formando entonces una suspensión. En toda corriente podrá haber material en suspensión sin arrastre de acarros, pero nunca sucederá lo contrario. Los elementos en suspensión existen siempre, aunque sólo sean los procedentes del desgaste de los acarros como consecuencia del choque de unos con otros, según pudieron comprobar E. Fugger y K. Kasfuer. En los torrentes, la proporción de partículas finas, inferiores a 0,1 mm., durante las crecidas puede ser muy grande, enturbiando de forma ostensible la corriente.

En nuestra cuenca se dan las condiciones óptimas para un intenso proceso erosivo: lluvias inten-

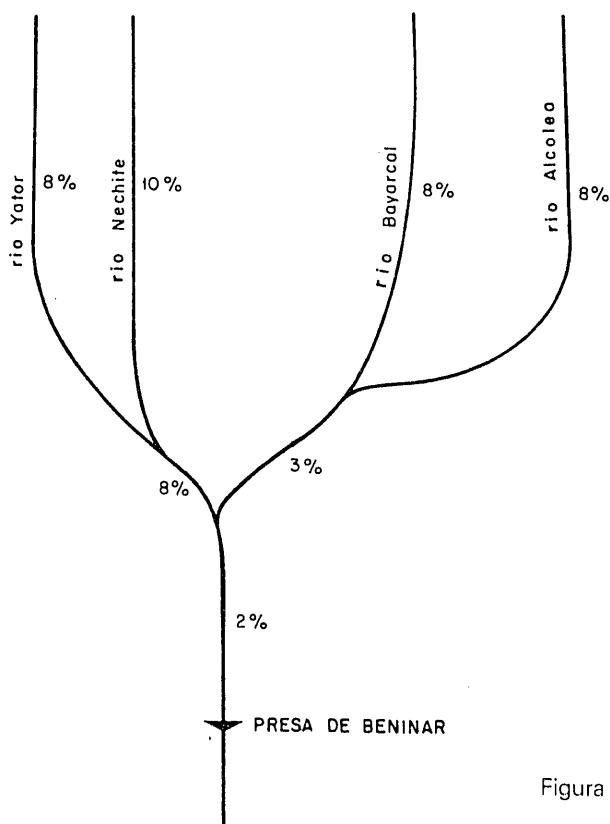


Figura 7.

sas y esporádicas, denudación del suelo, amplias áreas de material deleznable y fino: filitas y limos, fuertes pendientes, y una utilización del suelo que agrava la propensión natural de esta cuenca.

5. ESTIMACION DE LA EROSION DE LA CUENCA

Al plantear la construcción del embalse de Beninar en el año 1967, una de las cuestiones más preocupantes era la gran aportación sólida de la cuenca, de la que se carecía de datos cuantitativos, como ya habían señalado en 1940 Antón y otros, que realizaron un breve informe sobre la cuestión. Se ha tratado, pues, de evaluar ésta por los distintos procedimientos que describimos a continuación.

5.1. Estimación geológica

Se partió de las siguientes hipótesis esquemáticas:

a) La erosión actual es equivalente a la media durante el cuaternario.

b) El volumen arrancado a lo largo de dicho período bajo la paleografía pliocena es análogo por unidad de área al excavado sobre los niveles pliocenos.

Hechas estas hipótesis, es claro que sólo podemos obtener un orden de magnitud no muy distante de la realidad.

Conocido el paleorrelieve antecuaternalio, se puede evaluar el arranque anual; así pues, se han buscado relieves intactos cuaternarios y vestigios de terrazas que coordinan bien entre sí para dibujar curvas de nivel y perfiles precuaternalios que se han superpuesto a los actuales. Suponiendo 500.000 años desde el comienzo de la erosión cuaternaria, se ha evaluado la erosión en 0,22 mm/año, lo que da un volumen de depósitos aceptando un 33 % de huecos de:

$$521 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \times 0,22 \text{ mm} \cdot 1,5 = 171.600 \text{ m}^3$$

5.2. Estudio granulométrico e hidráulico de los lechos compensados

Utilizando el procedimiento del profesor García-Nájera, que permite calcular caudales generadores de avenidas extraordinarias, sin indicar su periodicidad, a partir de la granulometría de los depósitos y la pendiente y forma del cauce, teniendo en cuenta las avenidas registradas se hacen dos hipótesis que dieron los resultados siguientes:

a) Cinco avenidas extraordinarias y diez ordinarias en veinte años:

Aportación sólida media anual 1,5 Hm³
 Pérdida media de suelo 3 mm/año

b) Una avenida extraordinaria y cinco ordinarias en veinte años:

Aportación sólida media anual 0,45 Hm³
 Pérdida media de suelo 0,35 mm/año

5.3. Fórmula de Kresnik, modificada por García-Nájera

La fórmula de Kresnik es $Q = \alpha \frac{32 F}{0,50 + \sqrt{F}}$

Esta fórmula ha sido modificada por el profesor García-Nájera de la siguiente forma: los resultados obtenidos se multiplican por 0,75 cuando la cuenca tiene pendientes mayores del 30 % en menos de la tercera parte de su superficie, y se multiplican por 0,25 cuando más de las dos terceras partes de la superficie de la cuenca tienen una pendiente superior al 30 %.

Esto nos da un caudal generador máximo de 0,2 m³/seg., una aportación sólida media de 0,40 Hm³/año y una pérdida media anual de suelo de 0,75 mm.

5.4. Método de Fournier

Para su aplicación se han tomado ocho estaciones pluviométricas de la cuenca y su entorno, con datos de precipitación de veinte años. El mes de máxima precipitación en todos ellos corresponde a diciembre.

Calculados los coeficientes de Fournier se trazan las líneas isóxeras de la cuenca, y a partir de ellas, auxiliados por el gráfico de López Cadenas, se calculan las degradaciones específicas en tm/km². Obtenemos por adición el peso sólido evaluado en 350.550 tm. Estimando un p.e. de 1,8 tm/m³, el volumen arrancado será 194.750 m³, que equivale a una pérdida de suelo de 0,36 mm/año.

Un estudio realizado en la cuenca y aplicando este mismo método por L. G. Rossel y R. Vega de Pedro (Granada, 1977), se llega a una pérdida de suelo de 0,17 mm/año.

5.5. Otros métodos

Se evaluó también la aportación sólida total en el emplazamiento de la presa a partir de una corta serie de aforos de sólidos realizados en dicho lugar que comprendía los años 51-52 a 56-57, y no se consideraban desde luego los arrastres de fondo. Mediante correlación de estos datos con los caudales se llega a establecer una aportación sólida media de 0,554 Hm³/año. Finalmente, y desde una serie de muestras de agua tomadas en distintas corrientes de la cuenca cuyo caudal se estimaba en el momento de la toma, se llegó a una evaluación de la aportación sólida de 0,425 Hm³.

5.6. Crítica de los diferentes resultados

La escasez de datos en relación con el transporte de sólidos, bien sean suspendidos, bien sean arrastrados, en la cuenca del embalse de Beninar nos ha obligado a acercarnos al problema desde distintos puntos de partida, obteniéndose resultados bastante diversos, que sólo pueden considerarse como aproximaciones al problema y que se exponen en el cuadro siguiente:

Método	Aportación sólida (Hm ³ /año)	Pérdida de suelo (mm/año)
Estimación geológica	0,172	0,22
Lechos compensados	0,45	0,85
Kresnik-García-Nájera	0,40	0,75
Fournier	0,195	0,36
Aforos sólidos	0,55	1,05
Muestras directas	0,42	0,81

Se consideraron cifras francamente defectuosas las obtenidas por la estimación geológica y por el método de Fournier; en aquél método será probablemente incorrecta la hipótesis de la igualdad de las erosiones sobre y bajo terrazas, y el de Fournier no considera circunstancias fundamentales como son: estado de la superficie y cubierta vegetal, entre otras. Por estas razones no se han estimado dichas observaciones y como cifra de aportación sólida en principio la de $0,5 \text{ Hm}^3$, que corresponde a una pérdida de suelo de $0,94 \text{ mm/año}$, datos éstos en concordancia con los otros resultados obtenidos.

6. PROTECCION DEL EMBALSE

Para lograr la protección del embalse, alargando al máximo posible su vida útil, se han considerado las siguientes medidas: eliminación de los sólidos en suspensión mediante los órganos de desagüe de la presa, corrección hidrológico forestal de la cuenca para disminuir la aportación sólida al embalse, construcción de diques de fábrica y vegetales para disminuir la velocidad del agua en los cauces y la construcción de pequeñas presas de retenida en las entradas del embalse, para recoger los materiales sólidos arrastrados antes de su llegada a aquél. Estas presas servirían también para continuar el estudio del proceso erosivo en la cuenca.

Los dos últimos métodos para disminuir la tasa de sedimentación en el embalse tienen para nosotros mayor interés que el primero por las siguientes razones: primeramente, nos encontramos ante una desfavorable relación demanda-aportación, por lo que estamos obligados a no desaprovechar ni una gota de agua, que además está destinada a usos consuntivos; en segundo lugar, la mayor parte de los sólidos aportados son materiales arrastrados, y, finalmente, el método de los desagües se podría utilizar con ocasión de las esporádicas avenidas, y en estos momentos dichos desagües no se aprovecharían eficientemente.

Hemos de admitir, no obstante, que las presas de retenida y el programa de reforestación no son suficientes por sí mismos para eliminar totalmente el aterramiento del embalse, que continúa siendo un problema que no se puede ignorar.

Merece, a nuestro juicio, la pena reflexionar sobre este problema a la luz de los resultados obtenidos en Iril Emda y publicados por J. Band en 1958. Según dicha publicación, para una eliminación del 40% de los sólidos aportados al embalse ($4,009 \text{ Hm}^3$ sobre $10,150 \text{ Hm}^3$ de aportación total) es necesario desaguar el 13,4% de la aportación

líquida con agua fangosa de $1,07 \text{ tm/m}^3$ de peso específico, y el 31,2% si el peso específico fuera $1,03 \text{ Tm/m}^3$. Con un valor medio del peso específico de $1,05 \text{ Tm/m}^3$, el porcentaje de desagües sería el 18,7%. Si aplicamos este último porcentaje de desagües a las aportaciones de Beninar, suponiendo una semejanza global para el mecanismo de eliminación de los sólidos, los desagües de Beninar podrían ser: $0,187 \times 45 = 8,42 \text{ Hm}^3/\text{año}$.

Tratamos ahora de acercarnos al aspecto económico del problema. Con los desagües teóricos calculados se podrían regar $8,42 \times 10^6 / 7.000 = 1.200$ hectáreas bajo invernadero en el «Campo de Dalías». La producción neta de estos regadíos es de $1,7 \times 10^6$ ptas/ha., por lo que la producción potencial de los desagües se elevaría a $1.200 \times 1,7 = 2.040 \times 10^6$ ptas/año. La importancia de las cifras expuestas obliga a profundizar en el problema por una doble vía: optimización del aprovechamiento de los desagües, otros métodos alternativos de eliminación de los depositos (aumento de la capacidad de los diques de retenida).

Cabe finalmente una última observación: con la eliminación de aportaciones sólidas mediante desagües parciales no puede evitarse el tratamiento de la cuenca, ya que los procesos erosivos, si no se actúa sobre ellos, tienden a intensificarse, con lo que aumentará la aportación sólida y se acortará de todas formas la vida del embalse, o habría que aumentar los vertidos hasta cifras que hicieran imposible la explotación del embalse. Es claro, desde luego, que las actuaciones en la cuenca no son labores específicas de los constructores de presas de embalse, pero desde luego sí entra en el cometido de los mismos al menos el llamar la atención sobre estos problemas de tan grave repercusión sobre el embalse.

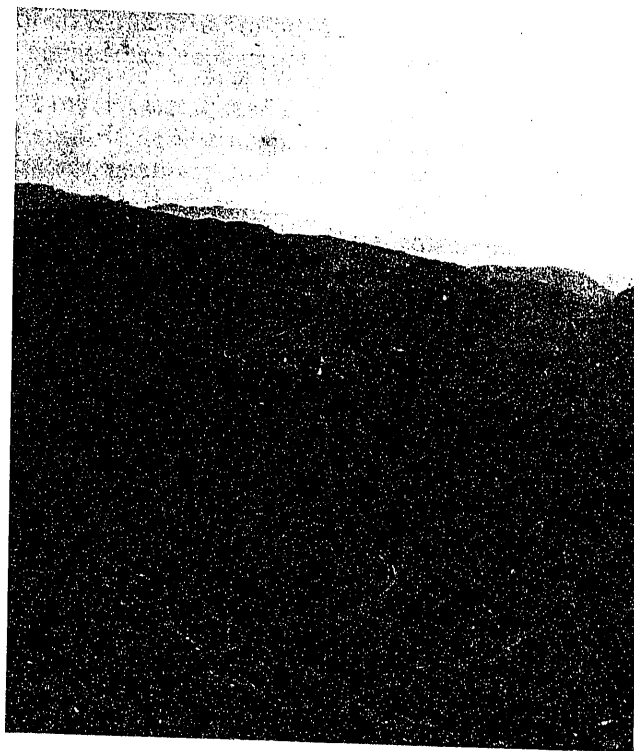
En Beninar, por el momento, el tema de los aterramientos del embalse se ha acometido desde la corrección de la cuenca, labor encomendada al Servicios de Aplicaciones Forestales de la Confederación Hidrográfica del Sur de España y al Instituto para la Conservación de la Naturaleza, y también mediante la construcción de pequeñas presas de retenida, tarea que lleva a cabo el mismo equipo que construye la presa principal. Con estas presas se pretende además estudiar el proceso erosivo y la aportación sólida que puede llegar al embalse.

6.1. Tratamiento de la cuenca

En la cuenca se actúa en una doble dirección: por una parte, mediante repoblación forestal y regeneración del matorral; por otra, con el concurso de



Dique de corrección en un barranco.



Trabajo de repoblación en la cuenca.

diques de retenida de pequeñas dimensiones en cárcavas, barrancos y ramblas, cuya misión principal es disminuir la velocidad de las aguas.

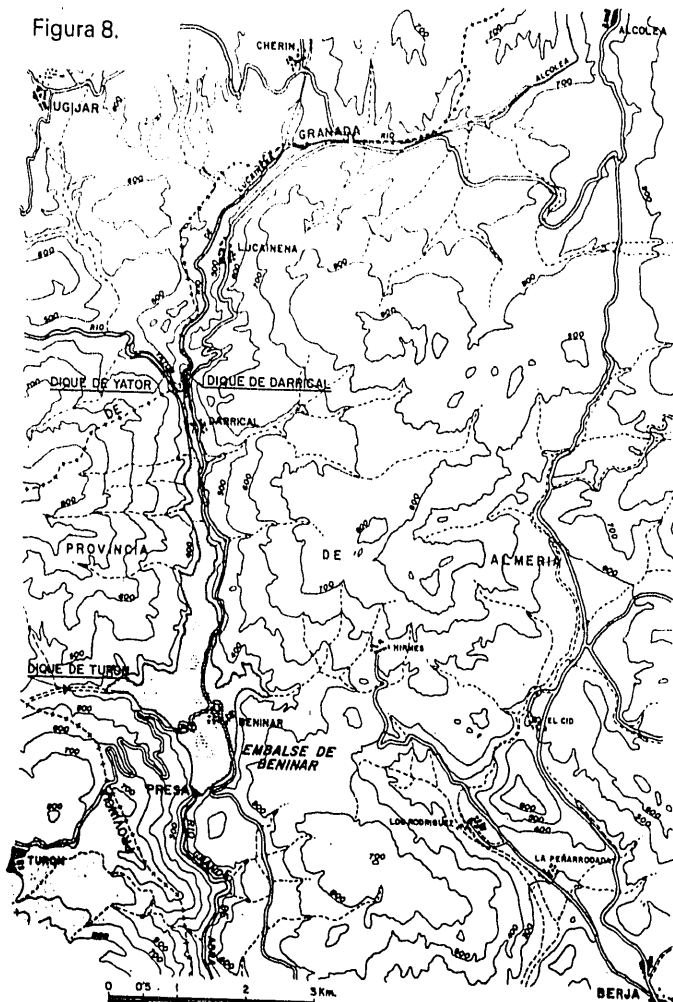
La superficie potencialmente peligrosa y por tanto objeto de atención se ha estimado en 28.800 ha., de las cuales, y en el momento de presentar este trabajo, se han tratado 13.524 ha. Las especies corresponden a las variedades autóctonas o exóticas de buen resultado, de acuerdo con experiencias realizadas (*pinus halepensis*, *pinus pinaster*, *quercus ilex*, *genista umbellata*, *anthyllis citisoides*, etc.).

En cárcavas, barrancos y ramblas se han construido 192 diques de gaviones, faltando por ejecutar 83. La capacidad teórica de retención asciende a 129.457 m³.

Presas de retenida

Para lograr la retención de sólidos transportados, tanto se lleva a cabo y surte efecto la corrección de la cuenca, y para evitar el transporte de los sólidos ya depositados en los cauces por efecto de la gran capacidad de transporte de un caudal procedente de una cuenca en vías de protección se han construido tres presas pequeñas situadas en los ríos: Rambla de Turón, Río Alcolea y Río Yator (figura 8). Se ha elegido su emplazamiento cercano a la línea de máximo embalse para

Figura 8.



evitar en lo posible el transporte hasta aquél de los sólidos ya depositados en los cauces respectivos.

La cuenca vertiente a dichas presas tiene una superficie de 506 km², lo que supone el 97 % de la cuenca del embalse. En cuanto a aportación sólida supone, según las estimaciones hechas en los estudios expuestos con anterioridad, el 95 % del total.

6.3. Presa de Turón

La rambla de Turón es un típico torrente mediterráneo, de 42 km² de cuenca, que sólo aporta caudal en contadas ocasiones, tres en los últimos diez años, y muy pocas horas cada vez, con caudales punta muy fuertes, que transportan gran cantidad de sólidos, de forma que más se asemeja el caudal a una masa fluida que a un fluido viscoso. Baste como ejemplo citar la avenida provocada por el temporal ocurrido los días 18 y 19 de octubre de 1973 en la zona Sureste de la península Ibérica, que tuvo una duración de cinco horas, con un caudal máximo superior a 300 m³/seg., y ocasionó la ruina parcial del dique, cuya construcción se había terminado en agosto del mismo año, además de la casi colmatación del mismo.

La presa, de 6 m. de altura, se había proyectado con un doble propósito: primeramente, evitar que los

materiales sólidos alcanzasen el embalse y, en segundo lugar, como punto de muestreo para continuar el estudio de la aportación sólida en suspensión; con este fin se había dotado de una pasarela apoyada sobre los estribos y sobre cuatro pilas empotradas en el vertedero de la presa, siendo la distancia entre éste y aquélla de 3 metros.

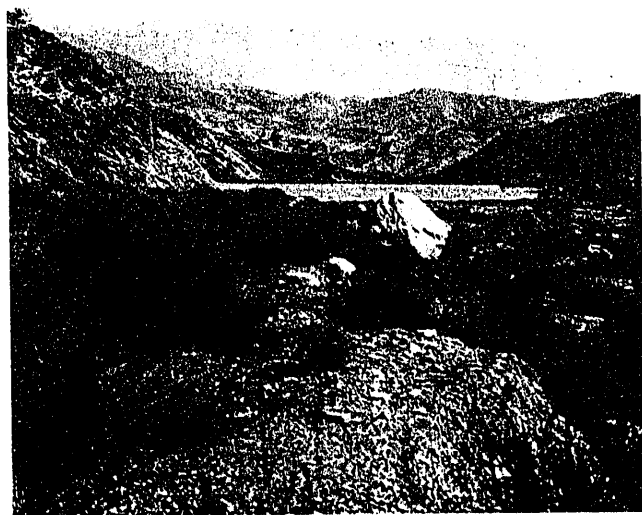
Durante la riada, y como consecuencia del arrastre de árboles y gaviones, el Servicio de Aplicaciones Forestales realizaba aguas arriba obras de fijación del cauce, se produjo un taponamiento de los vanos provocando su embalse y posterior flotación y arrastre de la pasarela, a la que acompañaron las pilas arrancando éstas el metro superior del vertedero.

La rotura, de forma súbita, imprimió al agua almacenada una velocidad alta, produciendo un hundimiento del lecho aguas arriba, que posteriormente fue evaluado, ya que disponíamos de perfiles transversales del lecho cada 50 m. apoyados en las márgenes y materializados con mojones de referencia, así como un perfil longitudinal por el eje del cauce. La toma de estos datos se realizó en 1971.

A final de octubre de 1973 (recordemos que la riada tuvo lugar la noche del 18 al 19 del mismo mes) tomamos los datos de los transversales modificados, resultando los siguientes valores:

Volumen socavado	185.250 m ³
Volumen acumulado	84.268 m ³

En la figura 9 se presenta un esquema de un transversal tipo, así como un longitudinal del cauce. En 1975 proyectamos la construcción de un nuevo dique, que contruimos en 1979, cimentado sobre el anterior. Tiene 60 m. de longitud y 3 de altura sobre el lecho actual. La capacidad de retención estimada es de 92.792 m³. Desde su terminación sólo ha circulado agua en una ocasión: el 24 de junio de 1981.



Presa de retenida en rambla de Turón.

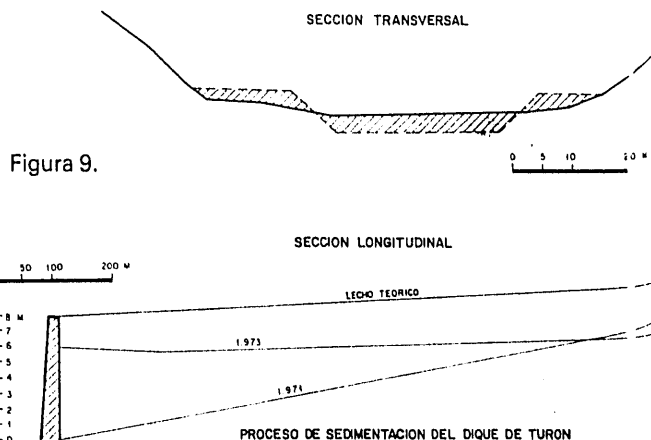


Figura 9.

PROCESO DE SEDIMENTACION DEL DIQUE DE TURON

6.4. Presa de Darrical

Esta presa se construyó en el período 1973-74. La cuenca vertiente es de 198 km², siendo sus características las siguientes:

- Altura sobre el cauce 9 m.
- Longitud entre estribos 20,50 m.

Durante su construcción, y cuando emergía 3 m. sobre el cauce, soportó el paso de la riada de los días 18 y 19 de octubre de 1973.

La evolución del volumen de arrastres retenidos ha sido la siguiente:

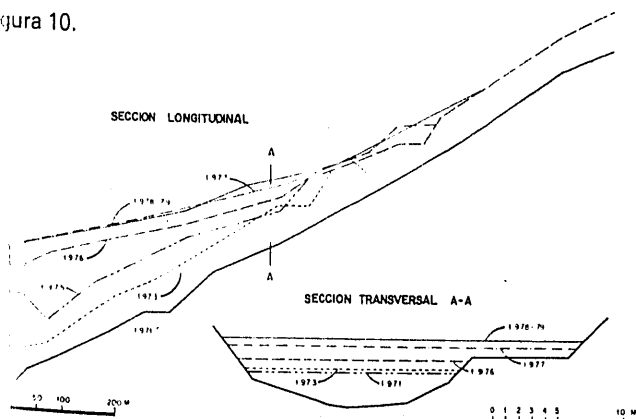
Período	V. m ³ .
1973-1974	96.118
1974-1975	11.762
1975-1976	39.092
1976-1977	27.218
1977-1978	3.040
1978-1979	13.922
Suman	191.152

El perfil longitudinal del cauce se ha desarrollado según se esquematiza en la figura 10. También presentamos cómo ha cambiado a lo largo de los años el P-20.

La pendiente inicial del cauce era del 2,2 % y ha pasado a 1,3 %, no habiéndose observado en estos dos últimos años un incremento del volumen acumulado.

En la fecha de redacción de este trabajo se encuentra en fase de ejecución un nuevo dique de retenida de 4 m. de altura y a 350 m. aguas arriba del anterior, con una capacidad estimada de retención similar al ya colmatado.

Figura 10.



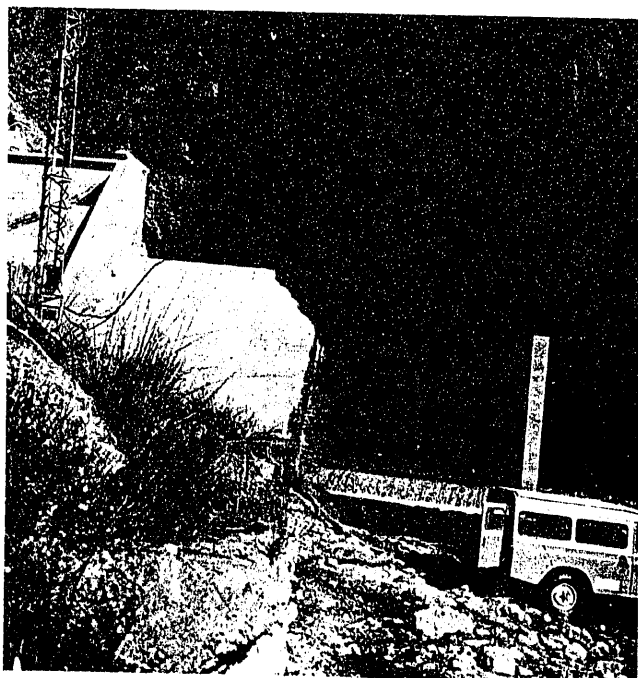
PROCESO DE SEDIMENTACION DEL DIQUE DE ALDOLEA

6.5. Presa de Yator

Según se ve en la figura 9, se ha ubicado en el río del mismo nombre. Tiene una longitud de 18 m. y una altura de 9 m. sobre el cauce. Su construcción ha finalizado en febrero del año en curso, y la capacidad estimada de retención es de 155.814. Su cuenca es de 266 km².



Iniciación aterramiento presa de retenida del río Yator.



Presa de retenida del río Yator.

6.6. Características de los materiales transportados

Es éste un dato del que, desgraciadamente, poco podemos aportar. Disponemos de las curvas granulométricas de tres muestras tomadas en el lecho del río Alcolea en 1975 y que presentamos en la figura 11. Dichas muestras, denominadas 1, 2 y 3, se tomaron a las distancias respectivas de 137, 154 y 285 m. aguas arriba de la presa. Vemos la gran similitud entre 2 y 3, con mayor porcentaje de gruesos que la 1, lo que nos indica un cambio de pendiente brusco del cauce, como se puede comprobar en la figura 11. Es de notar la ausencia total de finos, considerados éstos de tamaño inferior a 0,08 mm., en las tres muestras tomadas, y que nos indican que dicha fracción, lógico componente de un suelo, pasa sobre la presa de retenida.

Desconocemos, y es nuestro interés trabajar sobre el porcentaje de partículas finas en relación con las retenidas.

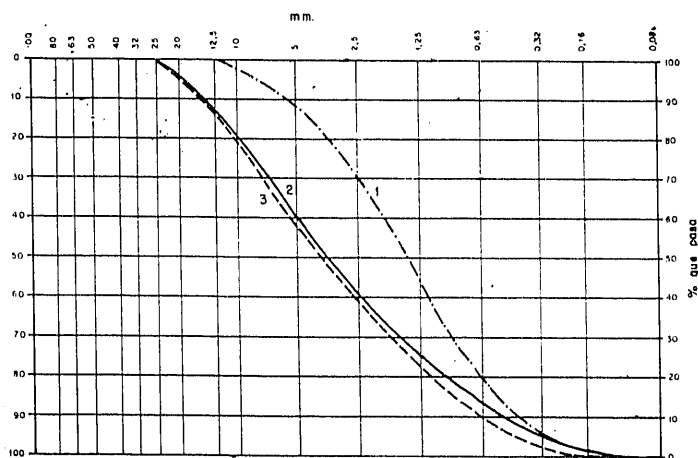
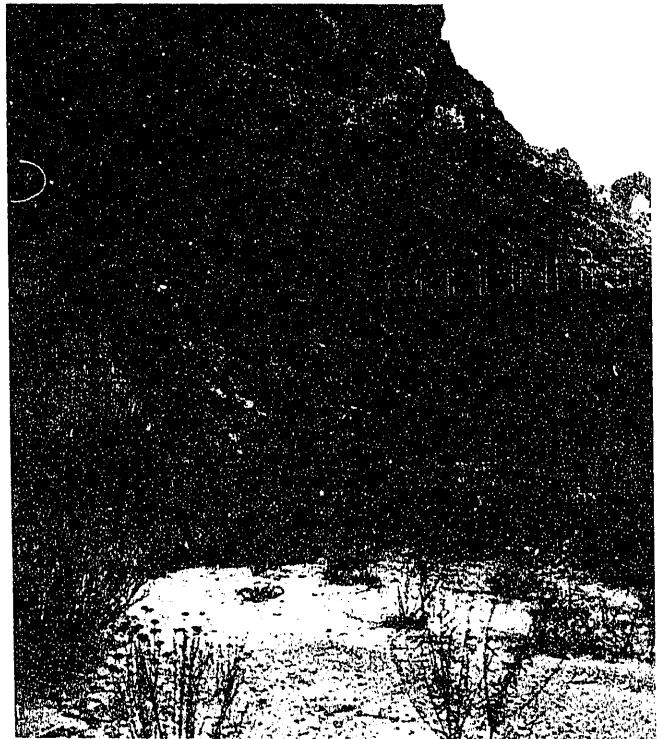


Figura 11.

7. OTRAS MEDIDAS EN LA CUENCA

Recientemente hemos iniciado una serie de medidas en la cuenca tendentes a evaluar los puntos siguientes:

- a) Sólidos en suspensión, correlacionándolos con el caudal circulante y lluvia caída sobre la cuenca.
- b) Erosión producida por la lluvia sobre las laderas en función del modo de utilización del suelo.
- c) Comparación de las curvas granulométricas del suelo en las laderas, en superficie y a 1 cm. de profundidad.



Presa de retenida del río Alcolea, ya aterrada.



Presa de retenida en el río Alcolea.

EVALUACION Y CONTROL DE LA APORTACION SOLIDA AL EMBALSE DE BENINAR

a) Hasta el momento, hemos realizado las siguientes medidas:

Fecha	Lugar de la toma de muestras	q m ³ /seg.	gr/litro	Lluvia en mm. y tm.
7-3-81.....	Desvío de la presa	0,276	1,207	—
2-4-81.....	Desvío de la presa	0,062	0,044	—
3-4-81.....	Desvío de la presa	0,090	0,204	—
12-4-81.....	Desvío de la presa	0,268	0,380	—
23-4-81.....	Desvío de la presa	0,620	1,208	—
24-6-81.....	Desvío de la presa	0,778	26,740	37 mm. 1 h.

Hemos de observar el fuerte incremento de la aportación sólida, desde el día 24, en que se registra lluvia, frente al 23, pues para una relación de caudales de 1,255 el de sólidos en suspensión es de 22,13.

La granulometría del sólido en suspensión este día es la representada en la figura 12.

b) Se han establecido tres áreas situadas en la misma cuenca, y muy próximas entre sí, con pendientes similares, distinguiendo el uso del suelo. Estas áreas se han dotado de un pequeño canal perimetral que en el punto bajo desagua sobre una cubeta o arqueta de decantación. Después de cada lluvia se limpia y recoge cuidadosamente el sólido acumulado en la canaleta como en la arqueta.

Las características de las áreas son las siguientes:

Area número	Superficie	Pendiente	Naturaleza	Uso del suelo
1	5.600 m ²	43 %	Filitas	Erial-matorral degradado
2	1.360 m ²	36 %	Filitas	Almendros en cultivo
3	900 m ²	35 %	Filitas	Matorral-monte bajo claro

De la lluvia registrada el día 24 se ha obtenido:

Area número 1:

Arrastre de 350,5 kg. de material de peso específico aparente 1,75 kg/dm³.

$$\text{Volumen arrastrado: } \frac{350,5}{1,75} = 0,200 \text{ m}^3.$$

$$\text{Pérdida de suelo: } \frac{0,200}{5.600} = 0,035 \text{ mm.}$$

Areas números 2 y 3: Inapreciable.

c) En la figura 13 se puede ver una comparación de las curvas granulométricas del suelo en la superficie y a 1 cm. de profundidad. Este dato es de particular interés y revela el lavado sistemático de un gran porcentaje de las partículas finas del suelo.

Como puede verse en la figura 13 citada, hay una

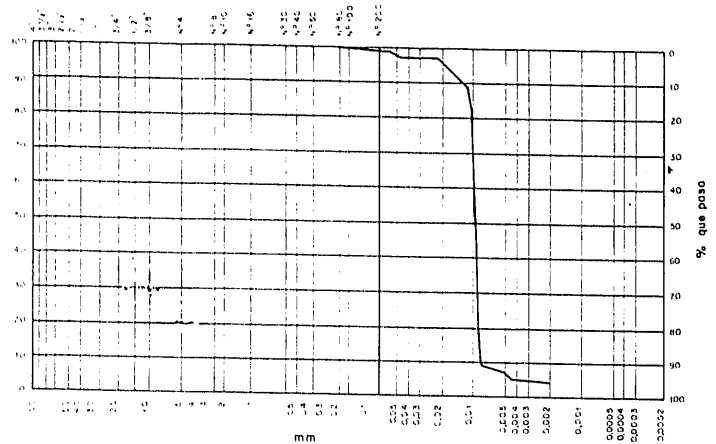


Figura 12.

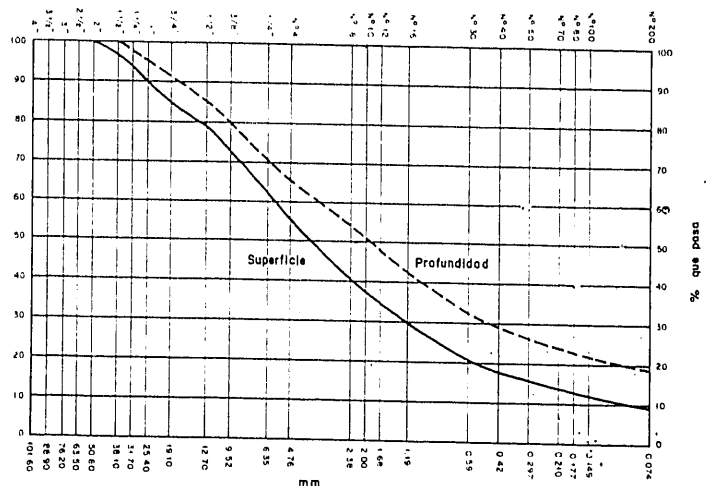


Figura 13.

diferencia del 8 % en las partículas finas en las dos curvas granulométricas. Esta pérdida de las partículas finas del suelo, originada por la lluvia, disminuye si la superficie permanece sin tocar; si, por el contrario, la superficie es arada regularmente, el porcentaje de partículas finas superiores es renovado y el proceso de erosión se repite, como anteriormente.

8. CONCLUSIONES

Nuestros estudios están aún incompletos y, consecuentemente, no es posible proporcionar conclusiones definitivas sobre el tema; no obstante, nuestros resultados indican los aspectos clave de los problemas planteados sobre los que debemos centrar nuestra atención.

Las líneas de trabajo futuro deben centrarse en las siguientes cuestiones:

— Exhaustiva toma de muestras de aguas turbias para las presas de Yator y Darrical; en la de Turón se tomarán, si es posible, cuando se produzca alguna

de sus esporádicas avenidas. Determinación de sólidos suspendidos y sus características.

— Estudio de la relación entre volumen de sólidos y retenidos y los eliminados por coronación de las presas de retención.

— Evaluación de la aportación sólida total de la cuenca, partiendo de los datos anteriores. Estudio comparativo con la estimación hecha previamente por los distintos métodos.

— Evolución de dicha aportación, en función de las obras de corrección que se llevan a cabo en la cuenca.

— Medida y estudio de la erosión en las parcelas preparadas a este efecto.

— Una vez en operación el embalse, hacer experiencias de vertido con el desagüe de fondo, cuando vaya a funcionar el aliviadero o con pequeños volúmenes que no perturben la explotación, para determinar el porcentaje de sólidos que podrían eliminarse por esta vía.