

Batista Silva, J. L. (1972): Aprovechamiento del potencial hídrico de nuestros ríos. Revista Voluntad Hidráulica N° 22, INRH, ISSN: 0505-9461, pp. 34–39, Cuba.

## Resumen

*El presente trabajo trata sobre las principales causas de formación del escurrimiento y el aprovechamiento del potencial hídrico de nuestros ríos. También analiza la influencia de un plan de repoblación forestal sobre el régimen hidrológico de una cuenca fluvial.*

Para obtener el mayor aprovechamiento energético de los ríos cubanos y asegurar el suministro de agua a la población, agricultura y distintas ramas de la industria, debemos tener en cuenta, en una forma adecuada, los regímenes específicos de las precipitaciones y el escurrimiento de los ríos de Cuba.

Pocos trabajos se han realizado al objeto de caracterizar el régimen de lluvias en Cuba. En el año 1965, el Ing. Ivan Trusov /1/ recopiló y procesó los datos de más de 600 pluviómetros distribuidos por toda la Isla, con diferentes períodos de observación. En este trabajo del Ing. Trusov se confirman las características que tienen las precipitaciones en Cuba, mencionadas ya por otros autores, y que pueden resumirse de la forma siguiente:

1. La influencia de los procesos atmosféricos es diferente para distintas partes del territorio y depende del sistema de circulación general.
2. La complicada estructura de la superficie con el contraste de la forma del relieve, y la altura, que influyen en la dirección de las corrientes de aire húmedo y la formación e intensidad de la lluvia sobre las montañas.
3. Las precipitaciones de tipo “convectivo” predominantes en el verano.
4. El calentamiento irregular de la superficie de la Isla y las aguas que bañan sus costas.

Como rasgo característico general en la distribución de lluvia para toda Cuba se confirma el aumento de la misma en dirección de este a oeste en las partes llanas, y, en general, su aumento desde las costas hacia el centro de la Isla. Es de señalar que dentro de nuestro territorio, relativamente pequeño, hay grandes variaciones en cuanto a la cantidad de precipitaciones anuales. Por ejemplo, en una zona estrecha que se encuentra en la costa sur de Oriente, desde Maisí hasta la bahía de Guantánamo, apenas caen 700 – 800 mm anualmente y en la Sierra de los Órganos se registran alrededor de 1700 – 1800 mm, para elevaciones de 200 m s.n.m.

El valor promedio de las precipitaciones anuales para toda la Isla varía entre 1400 – 1450 mm. Como dato curioso podemos señalar el comportamiento de las precipitaciones registrados los últimos 9 años, en relación al promedio anual:

1962 -----	Seco
1963 -----	Seco
1964 -----	Medio
1965 -----	Seco
1966 -----	Húmedo
1967 -----	Seco
1968 -----	Húmedo
1969 -----	Húmedo
1970 -----	Seco
1971 -----	Seco

Los términos seco, medio y húmedo deben entenderse como característica general para todo del territorio y no consideraciones locales. Por ejemplo, el año 1963 se considera año seco; sin embargo, para la provincia de Oriente, este año fue húmedo.

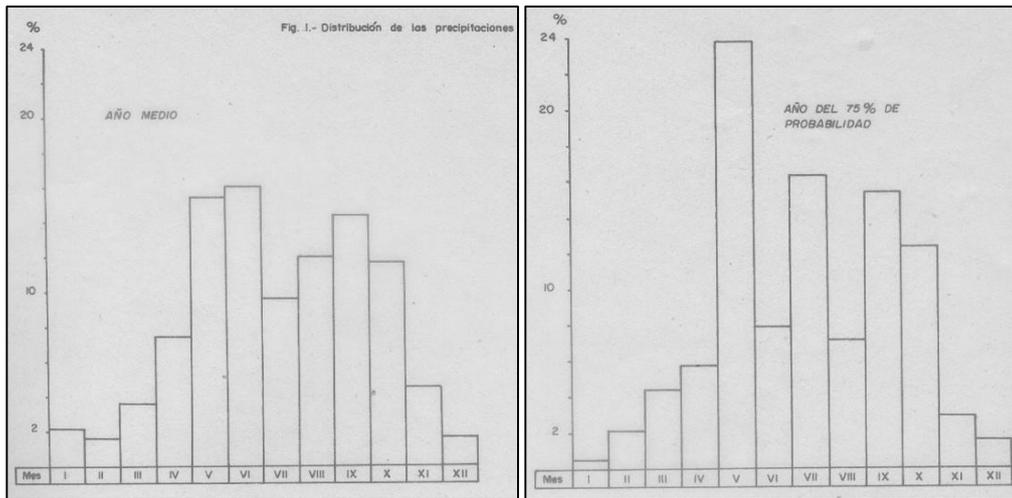
Actualmente es imposible predecir cómo serán los años futuros en nuestro país, a pesar de que existen distintas teorías y criterios al respecto. Lo cierto es que el régimen de las precipitaciones sigue siendo, hasta el momento, fenómeno casual, el que tratamos de representarnos con ayuda de la teoría probabilística. De aquí que actualmente procesamos los datos de las observaciones registradas en los pluviómetros y damos los valores probables para distintos tiempos retorno en años.

Para poder caracterizar el régimen de los ríos cubanos trataremos de dividirlos en dos grupos fundamentales:

- a) Ríos que no tienen corriente de agua durante todo el año.
- b) Ríos que tienen corriente de agua durante todo el año.

Se trata, en el primer caso, de arroyos que se cortan durante la época de seca, y quedan algunos charcos o pocetas a lo largo de su curso, no teniendo, en el peor de los casos, ni siquiera estos depósitos de agua. Con la primavera comenzarán las primeras lluvias y la cuenca va aportando agua al cauce superficialmente y el río escurre durante el llamado período húmedo (6 meses), dependiendo de las condiciones fisiográficas y, sobre todo, de la acuosidad del año.

Para los ríos que tienen corriente de agua durante todo el año, la situación es distinta. En años muy secos, el caudal puede disminuir intensamente, pero en el cauce se observa algún escurrimiento. Como ejemplo podemos citar el río Baracoa, en el norte de la provincia de La Habana, que, a pesar de la sequía de 1970 – 1971, tenía un pequeño escurrimiento en el mes de marzo. Estos tipos de ríos lograr drenar el nivel del manto freático y gracias a ello tienen una alimentación asegurada por parte de las aguas subterráneas.



Durante la temporada húmeda ocurren aguaceros intensos y prolongados que contribuyen a la formación de avenidas considerables que convierten el arroyo o río en una corriente caudalosa, independiente de la condición de intermitencia.

Como se observa, el régimen de los ríos cubanos se caracteriza por tener un escurrimiento mínimo (en algunos casos ninguno) durante unos meses y un escurrimiento con grandes avenidas el resto del año.

Cuando se realiza el cálculo del escurrimiento medio anual se toman en consideración estas dos características, es decir, se considera el volumen que escurre en la época de estiaje (si lo hubiese) y todo el volumen que producen las avenidas durante la temporada húmeda.

Es conocido que en la formación del escurrimiento intervienen factores que influyen en el mismo; de ellos merecen citarse los factores climáticos y los fisiográficos (la altura del lugar, carso, vegetación, lagunas y pantanos, etc.).

Está claro que, en nuestro país, el factor determinante, o mejor dicho, la fuente principal de alimentación de los ríos son las precipitaciones pluviales. Algunos ríos como el Mayabeque, reciben un aporte considerable de aguas subterráneas, garantizando así el escurrimiento durante todo el año. Estas corrientes logran drenar uno o varios niveles freáticos.

A lo largo de todo nuestro territorio está fuertemente desarrollado el carso. Este, algunas veces se asocia con "pérdidas de agua por fuga" de una cuenca, pero se necesitan investigaciones hidrogeológicas para determinar lo que ocurre ciertamente en una región cársica, ya que una cuenca puede recibir o aportar a otra una parte del escurrimiento subterráneo.

El cálculo correcto del volumen de escurrimiento superficial de una cuenca que tenga fuertemente desarrollado el carso, solo es posible cuando se tienen suficientes observaciones directas de los caudales observados durante cierto número de años en estaciones hidrométricas instaladas al efecto.

Con respecto a la influencia que ejerce la vegetación podemos decir lo siguiente: en una cuenca con grandes áreas boscosas, debajo de las cuales se ha acumulado una capa de hojas y ramas considerables, al ocurrir precipitaciones, el escurrimiento superficial disminuye y las avenidas de

probabilidades altas se transforman. Si por el contrario no existiera ese bosque y se produjeran las mismas precipitaciones, el suelo se compactaría y el escurrimiento llegaría rápidamente al cauce, formando avenidas. O sea, que, en términos generales, el escurrimiento es afectado por el uso que se le dé al terreno de la cuenca colectora. Debemos aclarar que las condiciones del estado de la cuenca influyen de forma distinta sobre el escurrimiento, en dependencia del tamaño de la cuenca, por citar el factor principal. Además, esta afectación es una para el escurrimiento medio anual, otra para la distribución del mismo y distinta para el escurrimiento máximo, la erosión y el azolvamiento.

Por último, la presencia de lagunas y áreas pantanosas tienden a retener y regular una parte del escurrimiento que se produce en la cuenca. Estas áreas tienen una significación relativa en la formación de los picos de las avenidas, al retener y transformar las mismas.

Es muy importante conocer la magnitud de las precipitaciones y el escurrimiento de una cuenca, para con estos datos argumentar los distintos proyectos de presas, canales y otras obras hidrotécnicas. Sin embargo, en la mayoría de los casos no se tienen suficientes registros de observaciones que nos permitan aplicar el cálculo de probabilidades sin incurrir en grandes errores. Las series de observaciones sobre las precipitaciones son relativamente largas, pero el escurrimiento apenas puede utilizarse 7 – 8 años.

La determinación del volumen de escurrimiento de los ríos cubanos es bastante difícil, pues, como dijimos antes, los datos de observaciones son insuficientes. Para calcular el escurrimiento medio anual, además de los datos de observación, se utilizan los métodos siguientes: el del balance hídrico adaptado a las condiciones de Cuba por el Ing. D. A. Matakiev /2/, las relaciones precipitación – escurrimiento y el método de las cuencas análogas. La fórmula propuesta por Matakiev fue deducida utilizando los datos de observaciones de 19 estaciones de aforo que tenían 2 – 3 años de observaciones. Mediante la aplicación de este método se obtienen buenos resultados, pero, según opinión del autor, no debe utilizarse para cuencas donde el curso está fuertemente desarrollado.

Para la aplicación del método de las cuencas análogas debemos tener suficientes datos de observaciones del escurrimiento y conocer muy bien las características fisiográficas y climáticas de las cuencas a considerar como análogas.

En algunas oportunidades se tienen datos de aforos y es posible relacionar las precipitaciones de muchos años con la corta serie de escurrimiento y obtener así el promedio anual.

Cuando damos el valor del escurrimiento medio anual para el 25% de probabilidad, por ejemplo, significa que de cada 4 años hay uno que tiene un escurrimiento promedio anual cercano a esa probabilidad, estando los otros 3 por debajo del valor dado.

Si se trata del 75%, quiere decir que un escurrimiento anual cercano a ese por ciento de probabilidad se observará una vez cada 4 años. Los otros 3 años se

observarán valores superiores al dado. Es decir, que puede darse un valor posible a ocurrir para distintas probabilidades, pero imposible predecir la fecha de ocurrencia.

De lo anterior se desprende que, dada la carencia de datos suficientes en cantidad y número de años de observaciones, es necesario experiencia y buen juicio, para con esos pocos datos hacer los cálculos y sacar conclusiones que permitan proyectar las obras dentro de márgenes adecuados de seguridad y eficiencia.

De 1990 a la fecha, se han construido en nuestro país embalses que acumularán un total de más de  $2\,000 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Cabe preguntarse algunas cuestiones relacionadas con la capacidad de los embalses. Por ejemplo, ¿podríamos aprovechar aún más el potencial de nuestros ríos?; ¿por qué ocurren “pérdidas” de escurrimiento a través del vertedor de las presas?; ¿sería posible cambiar el régimen hidrológico de una cuenca fluvial?

Cuando hablamos de los distintos métodos para determinar el volumen de escurrimiento medio anual vimos que la dificultad fundamental en estos cálculos es la carencia de datos. En los estudios hidrológicos para argumentar los proyectos de las futuras presas, aparecen los valores del escurrimiento anual y su variabilidad. Estos datos son utilizados por el hidroeconomista, quien teniendo en cuenta la futura utilización del agua acumulada, determina el volumen del embalse.

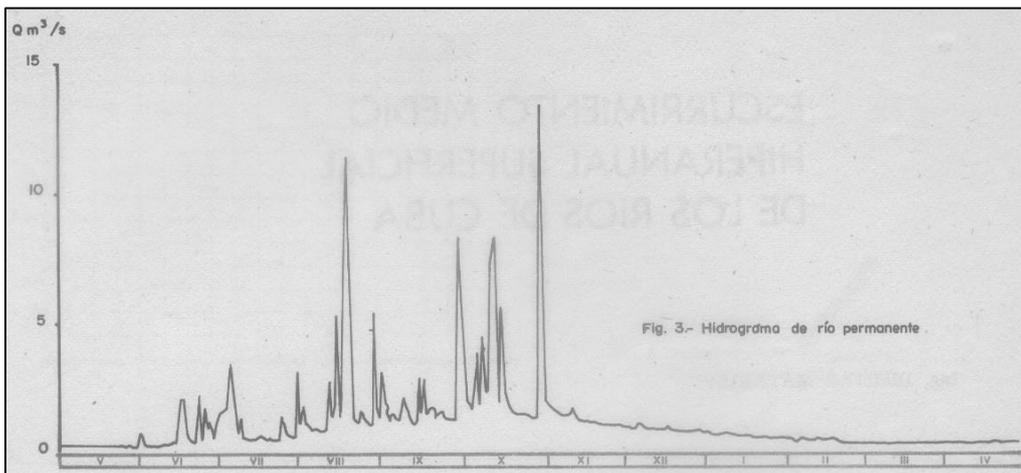
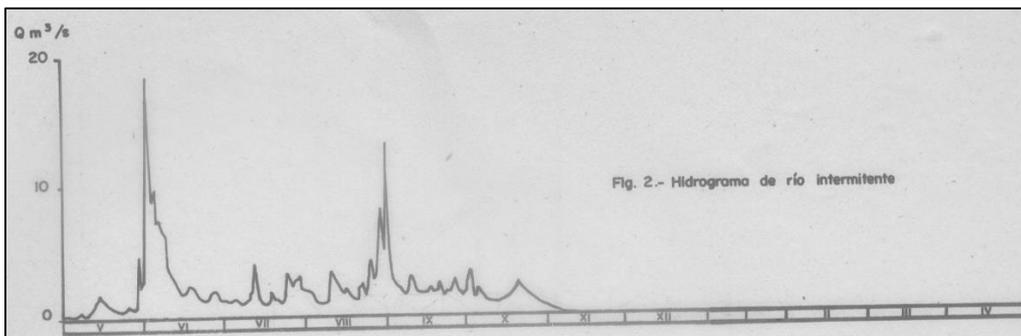
Mediante la construcción de un embalse podemos regular todo o parte del escurrimiento de un río. Una presa sin vertedor y con una corona tan alta que permita almacenar toda el agua que aporta el río hasta un cierre determinado, no tendrá vertimiento por el aliviadero en ninguna época del año. Claro está que este tipo de presa tiene el inconveniente de su costo. Una presa con vertedor del tipo llamado “mexicano” embalsa una cantidad determinada de agua y vierte por el aliviadero ciertos volúmenes, dependiendo de la explotación que se le dé al embalse, de las avenidas a ocurrir y del objetivo para el cual se construyó la presa.

Como ya se dijo, escoger el nivel de aguas normales (NAN) es tarea del hidroeconomista, quien debe basarse para ello, principalmente, en datos hidrológicos y topográficos, y teniendo en cuenta, además, los futuros usos del agua embalsada.

Veamos la tabla siguiente:

Presa	Volumen del escurrimiento medio anual $10^6 \text{ m}^3$	Capacidad del embalse $10^6 \text{ m}^3$
Minerva	112	123
Tacajó	12	12
Gilbert	89	42
Paso Malo	230	86
Hanabanilla	162	286

En los embalses Minerva y Tacajó se observa que el volumen de escurrimiento anual ( $W_o$ ) es cercano al volumen correspondiente al nivel de aguas ( $W_{NAN}$ ). Es lógico que si el embalse no se explota adecuadamente, los volúmenes de las distintas avenidas que se producen cada año sean evacuadas a través del aliviadero, o sea, que “las pérdidas” de estos volúmenes están en función de la explotación del embalse y la acuosidad del año.



Otros embalses tienen  $W_o > W_{NAN}$ , por ejemplo, Gilbert y Paso Malo. Aún en el caso de que se extraigan de ambos embalses anualmente unos 40 y 80 millones de metros cúbicos, respectivamente, habrá vertimiento, pues el  $W_o$  supera grandemente a la capacidad del embalse. En este caso, el vertimiento está en función del objetivo del embalse principalmente; lo que es lo mismo, si solo necesitamos anualmente 80 millones de  $m^3$  y hemos construido un embalse para 86 millones de  $m^3$ , se producirá vertimiento, ya que el volumen de escurrimiento anual que aporta el río al embalse es de 230 millones de  $m^3$ , según los datos del estudio hidrológico. Estas son las “pérdidas” del escurrimiento a través del vertedor.

Existe un tercer grupo de embalses, como el Hanabanilla, donde  $W_o < W_{NAN}$ . En ese embalse se lleva a cabo una explotación sistemática del agua acumulada para producir energía eléctrica fundamentalmente, lo que, sumado al hecho de que el volumen de escurrimiento es muy inferior al volumen del embalse, crea las condiciones de no vertimiento.

Resumiendo, existen tres tipos de embalses:

1. Los que tienen un volumen de escurrimiento mayor que el volumen del embalse.
2. Los que, por el contrario, el volumen de embalse es superior al del escurrimiento.
3. Los que tienen el volumen de embalse muy cercano al volumen de escurrimiento.

### ***¿Sería posible cambiar el régimen hidrológico de una cuenca fluvial?***

Existe la tendencia a pensar que con un amplio plan de repoblación forestal se altera el régimen hidrológico de una cuenca o de una zona determinada, o sea, la transformación del escurrimiento superficial en escurrimiento subterráneo, debido a una lenta filtración en el terreno, que después podrá recuperarse. Sin embargo, el hecho presenta varias formas de influencia sobre las distintas características del escurrimiento; por eso trataremos de explicarlas por separado y atendiendo a nuestras condiciones fisiográficas.

#### *1. Escurrimiento medio anual*

Para juzgar la influencia de la repoblación forestal en los parámetros hidrológicos podemos utilizar los datos de observaciones del escurrimiento. Estos datos se han utilizado en investigaciones donde se demuestra lo siguiente: el aumento de la capacidad de infiltración del suelo trae como consecuencia la redistribución del escurrimiento dentro del año, debido a que una gran parte del escurrimiento superficial pasa a ser subterráneo.

El escurrimiento promedio anual en cuencas con bosques y vegetación considerables sufre alteraciones porque disminuye la evaporación desde el suelo protegido, pero no podemos olvidar el consumo de agua por absorción y asimilación de las plantas.

En algunas zonas, el aumento de la necesidad de humedad en el suelo, como consecuencia de la intensificación de los cultivos no debe cargarse al escurrimiento superficial, que en el período seco es muy poco, ni tampoco al escurrimiento subterráneo, pues el nivel freático se encuentra muy bajo, sino a la menor cantidad de pérdidas por evaporación, que disminuye, debido a la destrucción de la capilaridad de la capa superficial del suelo. Esto sería el aprovechamiento máximo posible del escurrimiento y es tarea que deben resolver los agrónomos.

Alguna disminución del escurrimiento medio anual puede originarse con motivo de una pérdida adicional por evaporación, desde la superficie, por parte de la vegetación y zonas bajas pantanosas. En estas zonas inundadas puede recuperarse una parte del escurrimiento que se pierde por evaporación, construyendo, canales de desagüe y pozos de recarga.

En resumen, la norma de escurrimiento de los ríos grandes y medios que drenan totalmente las aguas subterráneas, en general, no varía, y, si esto ocurre, es en cantidades muy pequeñas. Debemos señalar que esto no es característico para la mayoría de nuestros ríos, que son pequeños y no logran drenar las aguas subterráneas.

Las variaciones del escurrimiento a causa de la alteración del régimen hidrológico en las cuencas pequeñas y con ríos que no tienen corriente permanente dependerán de la cantidad y espesor de los niveles freáticos que ellos drenan. Esto también depende de la potencia de los mantos acuíferos.

Si el cauce del río intermitente no drena ni siquiera un nivel freático (caso muy común en nuestros ríos), la cantidad de escurrimiento medio anual disminuirá notablemente, llegando a secarse, debido a que la vegetación y la estructura del suelo transformará una parte considerable del escurrimiento superficial en subterráneo, el cual puede resurgir en el trayecto de la corriente o pasar a formar parte del escurrimiento, continuando su curso aguas abajo. Si las corrientes no periódicas o intermitentes tienen cauces profundos que logran drenar algunos niveles freáticos, el valor del escurrimiento medio anual disminuye, dependiendo esto del espesor del manto freático. En cuencas donde el escurrimiento está garantizado por alimentación subterránea, ocurre una redistribución del escurrimiento superficial y del subterráneo, sin cambios cuantificables del mismo.

De esta manera, el cambio del régimen hidrológico de una cuenca por efecto de una repoblación forestal adecuada, depende de condiciones específicas.

Para cuencas pequeñas donde el río no drena las aguas subterráneas, el escurrimiento medio anual disminuirá considerablemente, llegando a cero en la mayoría de los casos.

Para cuencas grandes, las variaciones del escurrimiento dentro de las mismas se compensarán; la cantidad total del escurrimiento quedará igual o cambiará muy poco. Decir exactamente en cuánto será este cambio y en qué dirección, por el momento no es posible.

## *2. Distribución del escurrimiento*

En la distribución del escurrimiento, durante el año, pueden presentarse alteraciones, debidas a la repoblación forestal. La transformación del escurrimiento superficial favorece la alimentación subterránea en época de seca y disminuye el escurrimiento superficial producido por las lluvias. Este es el fenómeno en términos generales, considerando cuencas grandes con ríos que drenan niveles de aguas subterráneas, pero recordamos que en nuestro país predominan los ríos pequeños y que no logran drenar, en su mayoría, las aguas subterráneas.

En virtud de investigaciones realizadas al efecto, se ha demostrado que, para cuencas grandes y medianas el aumento de la capacidad de infiltración del suelo, como resultado de un plan de repoblación forestal, aumentará el escurrimiento mínimo y de estiaje en un 30 – 50%, por la entrega retardada del escurrimiento

superficial, producido por las lluvias. Sin embargo, lo anterior no tiene relación alguna para ríos de cuencas pequeñas que se alimentan exclusivamente de escurrimiento superficial producto de las lluvias. En este caso, como resultado de la transformación del escurrimiento superficial en subterráneo, este último correrá por niveles más bajos que el cauce y, por eso, disminuirá la magnitud del escurrimiento por meses o temporadas.

### *3. Gastos máximos*

Es conocida el efecto que produce la vegetación y las áreas pantanosas en los picos de avenidas. En cuencas donde la magnitud de las precipitaciones no es muy grande, este efecto es considerable y disminuye los picos de avenidas. Sin embargo, para precipitaciones cuantiosas y prolongadas durante varios días, el efecto transformador de la vegetación y los pantanos será insignificante.

Después que las numerosas depresiones del terreno en la cuenca se han llenado, determinada cantidad de agua es retenida por las raíces, troncos, hojas, etc., y cuando llega el momento en que la tasa de precipitaciones es mayor que la de infiltración, ocurren avenidas con picos de igual o mayor magnitud a las que se observaban antes de realizar una repoblación forestal intensas. Además, recordamos que en nuestro país los picos mayores de avenidas se producen principalmente, durante el paso de ciclones tropicales cuando ocurren precipitaciones intensas durante varios días.

### *4. Erosión y azolvamiento*

El resultado más positivo que se logra con la repoblación forestal se observa en el proceso de erosión y azolvamiento. La plantación de áreas boscosas y de distintos tipos de vegetación disminuye la erosión, evitando la acumulación de sedimentos (azolvamiento). Indudablemente que una cuenca con protección de cubierta vegetal será mucho menos erosionada que si no tuviese esa protección.

Debemos tener en cuenta que en climas húmedos donde son frecuentes las tormentas tropicales, se forman grandes avenidas que erosionan y acarrear los materiales de azolvamiento.

La plantación de áreas boscosas y diferentes tipos de vegetación origina algunos cambios en los distintos factores del escurrimiento, pero tales variaciones pueden o no ocurrir, dependiendo de elementos fisiográficos particulares. Estos factores son los siguientes: carácter del río, la profundidad de drenaje del cauce, el espesor de las capas freáticas y la forma de interrelación del río y la capa acuífera.

### *Conclusiones*

Es necesario que, para llevar a cabo investigaciones dirigidas a dar respuesta al problema del papel que juegan los bosques en el escurrimiento medio anual,

se tengan en cuenta las características principales de nuestros ríos y el hecho fundamental de que la mayoría de ellos (por no decir casi todos) tienen cuencas pequeñas, no logrando drenar las aguas subterráneas.

En cuanto a evitar la erosión, creemos que con las investigaciones realizadas hasta el momento, está perfectamente demostrado que una repoblación forestal adecuada disminuirá en cierta medida la erosión.

Entendemos que un mejor aprovechamiento del volumen del escurrimiento anual de los ríos no se logra, fundamentalmente, cambiando el régimen hidrológico de la cuenca con una repoblación forestal que, prácticamente, no aumentará el escurrimiento en cantidades apreciables.

Tampoco sería correcto, desde el punto de vista económico, construir presas que sean capaces de regular todo el escurrimiento.

A nuestro juicio, los factores fundamentales que pueden lograr un mejor aprovechamiento del escurrimiento son los siguientes:

- a. Observaciones sistemáticas del régimen de escurrimiento de nuestros ríos, para, con esos datos, calcular correctamente todos los parámetros de escurrimiento.
- b. Realizar los cálculos hidroeconómicos, basados en buenos datos hidrológicos y topográficos, y que respondan al objetivo planteado.
- c. Topografía confiable del vaso del embalse.
- d. Una explotación adecuada del agua embalsada.

### *Referencias*

/1/ Las precipitaciones en la Isla de Cuba, I. I. Trusov (1967).

/2/ El escurrimiento hidrológico promedio interanual en Cua. Dimitar Apostolov Matakiev (1967).

