



EL ESCURRIMIENTO SÓLIDO Y SU RELACIÓN CAUSAL CON EL ESCURRIMIENTO LIQUIDO EN SIETE CUENCAS HIDROLÓGICAS SUPERFICIALES DE PINAR DEL RÍO, CUBA

Julio Iván Gonzalez Piedra¹ & José Carlos de Araújo²

RESUMEN --- Se estudia la relación causal entre el escurrimiento sólido y líquido en siete cuencas de la región montañosa de Pinar del Rio, occidente de Cuba. A pesar de que las series de ambos escurrimientos no son largas, el método estadístico utilizado nos da la posibilidad de un acercamiento al fenómeno de la pérdida de los suelos por efecto de la acción del agua. Las relaciones encontradas son interesantes y útiles, mostrando la dependencia del escurrimiento sólido (pérdida de suelos) y el escurrimiento líquido o caudales de agua. Es interesante además la relación encontrada entre ambos escurrimientos y el área de las cuencas. Este estudio es una contribución al conocimiento de la hidrología y la erosión hídrica en el occidente de Cuba y en el país en general.

RESUMO --- Nesse trabalho estuda-se a relação causal entre as descargas líquida e sólida em sete bacias hidrográficas da região montanhosa de Pinar del Rio, ocidente de Cuba. Apesar de as séries de descargas não serem longas, o método estatístico utilizado nos dá a possibilidade de análise do fenômeno da perda de solos por ação hídrica. As relações encontradas são interessantes e úteis, mostrando a dependência da descarga sólida (e, portanto, da perda de solos) com a descarga líquida, ou seja, com o escoamento superficial. Além disso, as relações encontradas entre as duas descargas e a área de captação são relevantes. Esse estudo é, portanto, uma contribuição ao conhecimento hidrológico e da erosão hídrica para o ocidente cubano e para o país em geral.

ABSTRACT --- Causal relationship between sediment discharge and streamflow discharge in seven watersheds is studied in the mountain region of Pinar del Rio, west part of Cuba. Despite short observations series of both river discharges, the used statistical methods carried out an approach to the soil losses by the effect of water impacting action. The observed relationships are interesting and useful, bringing the dependence of sediment discharge from streamflow discharge. Besides, it is interesting to provide relations between both discharges and the watersheds areas. This study is a contribution to the knowledge of hydrology and water erosion in the western part of Cuba and for the whole country

Palavras-chave: descarga sólida, descarga líquida, bacia hidrográfica.

¹ Professor de Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba. Email: igp@geo.uh.cu

² Professor do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC. Campus do Pici, bloco 804, Fortaleza, CE. Email: jcaraujo@ufc.br

INTRODUCCIÓN

Para los países insulares, es de gran importancia el conocer los distintos escenarios posibles que se pueden producir en sus costas, a partir de la modificación o alteraciones de los flujos de agua que llegan a las mismas (Bronstert et al., 2014). Estas alteraciones pueden ser cualitativas y cuantitativas, es decir, por cargas contaminantes que alteran las cualidades de las aguas fluviales, y porque debido a la regulación del escurrimiento por obras hidráulicas, el flujo de agua que antes llegaba a la costa antes de construirse estas obras se ve alterado, generalmente disminuido de manera notable, produciendo cambios negativos en el hábitat de las especies marinas que habitan en estos ecosistemas.

Para Cuba, es particularmente importante por ser uno de los países de mayor densidad de embalses en el Caribe y Centroamérica, con 632 cuencas hidrológicas superficiales (hidrográficas) que drenan directamente a la zona costera y que en buena parte de ellas se ha modificado el escurrimiento por distintas vías, así como la alteración cualitativa de sus aguas por el propio desarrollo socioeconómico del país. (González Piedra, 2006). El problema se reduce a investigar que pasa y que pasará en nuestras zonas costeras, debido al inevitable uso de los recursos hídricos para el desarrollo socioeconómico del país. Por consiguiente el objetivo planteado en este trabajo es el de investigar la relación causal, de manera cuantitativa, entre el escurrimiento sólido y el escurrimiento líquido en las siete cuencas mencionadas. Inevitablemente hay que seguir construyendo embalses de almacenamiento y presas derivadoras (Peter et al. 2014), canales magistrales y secundarios de diversa magnitud, etc. En el presente trabajo, se da respuesta al objetivo planteado mas arriba, demostrando la estrecha relación funcional entre el escurrimiento sólido y el escurrimiento líquido o caudales de agua para siete cuencas de la región montañosa del occidente de Cuba (Provincia de Pinar del Río).

MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio

El área de estudio abarca siete cuencas de la provincia de Pinar del Río, las cuales son: Cuyaguaje (tres cuencas), Hondo, San Diego, San Juan y Martínez y Caimito, esta última en la vertiente norte de la provincia, mientras el resto drena por la vertiente sur (ver mapa en Fig. 1).



Fig. 1. Esquema de las cuencas hidrográficas seleccionadas.

La cuenca del río Cuyaguaje, tiene tres estaciones hidrométricas y es de los ríos mejor estudiados de Cuba, su red fluvial es algo extensa, recorriendo diferentes paisajes, desde la zona predominantemente montañosa, donde las pendientes son más abruptas, cayendo repentinamente en los sectores medio e inferior donde las diferencias de pendientes realmente no son notables, esto sucede prácticamente en todas las cuencas de la vertiente sur relacionadas en su sector superior y medio con la falla de Pinar. Los suelos en el sector superior son esqueléticos, pobres, mientras que ya en el sector inferior fundamentalmente se encuentran algunos espesores importantes. Es de destacar la influencia carsica en toda la cuenca de este río, que se manifiesta hidrológicamente en los hidrogramas de sus caudales. La vegetación en su sector superior ya va siendo algo escasa y esparcida, distinguiéndose algunos pequeños bosques de diversas especies de árboles. Prevalen los cultivos varios en los sectores medio e inferior. Las subcuencas hasta las estaciones hidrométricas V aniversario y La Guira, se ubican en los sectores superior y superior – medio de dicha cuenca, la estación Los Portales se encuentra ubicada más en el sector inferior, abarcando 502 km², que constituye un 81 % de toda la cuenca (estimado en 620 km² por el autor).

En el resto de las cuencas, el área de estudio (hasta su estación hidrométrica), se encuentra en el sector superior de las mismas, precisamente el sector más erosionado donde predominan los suelos esqueléticos y la vegetación es relativamente escasa y muy esparcida, con grupos de árboles maderables y frutales, arbustos intercalados, y algunos cultivos de subsistencia, haciendo más vulnerables los pocos suelos con alguna productividad en el área. La red de drenaje va de poco densa a densa en algunas zonas específicas, generalmente valores desde 0.8 a 1.2 km/km². Al igual

que en el Cuyaguaje, estas cuencas tienen pendientes relativamente altas en su sector superior, pasando casi bruscamente a pendientes suaves o ligeras en los sectores medio e inferior, evidenciándose dos sectores muy diferentes en cuanto a procesos de desprendimientos o erosión intensa con los procesos de deposición o acumulación. La cuenca del río Caimito, por estar en la vertiente norte no es muy diferente a las anteriores en cuanto a su relieve, solo que las pendientes son mayores relativamente, y los sectores medio e inferior también tienen pendientes apreciables, su estación hidrométrica “El Central” se ubica también plenamente en el sector superior de la cuenca, y su área con respecto a la total es de un 19% solamente, prevaleciendo los procesos de desprendimiento y erosión intensa, a veces en masa ante fuertes aguaceros. En la Tabla 1 se da la morfometría de las cuencas de estudio.

Tabla 1.- Morfometría de las cuencas de estudio

No.	Estación	Cuenca	Area (km ²)	Pendiente parcial m/km	Area total (km ²)	Pendiente total m/km
1	Los Gavilanes	San Diego	157	124	452	81
2	El Central	Caimito	40	181	210	110
3	El Tabaco	San Juan y M.	62	213	274	65
4	La Guira	Cuyaguaje	281	132	620	84
5	Portales II	Cuyaguaje	502	127	620	84
6	V Aniversario	Cuyaguaje	145	91	620	84
7	Pilotos	Honda	84	75	613	59

Fuente: Elaborada por el autor a partir de datos iniciales de González L., 1999.

Metodología

La metodología utilizada por los autores tiene su base en el manejo de los paquetes estadísticos Statgraphic Plus, Past y otros, en lo que se refiere al tratamiento de la información recopilada. Por supuesto, se utilizaron también otros métodos más de carácter teórico, como el geográfico – comparativo, inductivo – deductivo, propios de las Ciencias Geográficas. En adelante se explica muy brevemente como se utilizaron estos métodos y algunas de sus características más relevantes.

Como se menciono anteriormente, solo fue posible trabajar con siete cuencas con estaciones hidrométricas, de las cuales seis drenan a la vertiente sur y solo una a la vertiente norte.

A partir de la realidad de que las series no son largas, o lo suficientemente largas como para obtener validaciones aceptables, fue necesario poner bien en claro los riesgos de trabajar con tal información, y a través de la teoría de errores, propia de los métodos estadísticos que se seleccionaron en este trabajo, establecer las reglas de juego desde un principio. Por tanto, y sobre la base de los datos hidrométricos existentes se lograron los siguientes indicadores:

Para el cálculo del valor medio del escurrimiento líquido (Qo) y el escurrimiento sólido (Qs), se utilizó la fórmula:

$$Eo (\%) = Cv / \sqrt{N - 1} \quad (1)$$

Donde, Eo, error promedio del valor medio, en %, teniendo en cuenta el coeficiente de variación (Cv) y el número de miembros de la serie (N). En tal sentido, se definió un error del 20 % o menor como aceptable para el cálculo de los valores medios de Qo y Qs. Por tanto, el límite quedaría así: Para $Cv \leq 0.50$; Error $\leq 20 \%$ (aceptable), este valor se determinó por la relación (1) y por tanto $N \geq 8$. Para un coeficiente de correlación lineal r aceptable, se utilizó la fórmula del error del coeficiente de correlación lineal de Pearson:

$$\sigma = (1 - r^2) / \sqrt{N - 1} \quad (2)$$

Donde σ es el error o desviación del coeficiente de correlación lineal de Pearson (r), N, el número de miembros de la serie. Para un error $Er = 20 \%$ (aceptable), $r \geq 0.8$ y la desviación de $r = 0.15$, por tanto $N \geq 8$.

Con ello, queda demostrado que aun con pocos datos y un tanto de rigor estadístico es posible un acercamiento al comportamiento de determinados procesos que tienen lugar en la naturaleza, aunque los resultados alcanzados aun tengan la sombra de la poca información.

Haciendo uso de paquetes estadísticos (Statgraphic Plus, Past), se determinaron las características generales de los escurrimientos líquidos (Qo) y los escurrimientos sólidos (Qs) en cada una de las cuencas estudiadas; las relaciones entre los Qo y Qs de cada cuenca; las relaciones de Qo y Qs para las siete cuencas como conjunto de datos a nivel regional para buscar una posible ley o regularidades entre estas variables; relaciones entre Qo y Qs con las áreas de las cuencas (Ac) y pendientes (Yc).

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se dan las principales tablas contentivas de los resultados alcanzados a través de los métodos utilizados.

Tabla 2.- Principales características de las variables Qo (m³/s), Qs (kg/s) y K (kg/m³) en las cuencas estudiadas.

Cuenca (estación)	Area (km ²)	Yc (m/km)	Qo (m ³ /s)	CVo (-)	Qs (kg/s)	CVs (-)	K (kg/m ³)	CVk (-)	r Pearson	Tendencia
Cuy. V Aniversario	145	91	3.38	0.45	0.641	0.55	0.18	0.22	0.92	0
Cuy. La Guira	281	132	6.63	0.41	1.198	0.49	0.17	0.21	0.92	0

Cuy., Portales II	502	127	12.23	0.39	2.652	0.53	0.21	0.22	0.91	0
Hondo, Pilotos	84	75	1.77	0.32	0.385	0.40	0.23	0.15	0.72	0
S. Diego, Gavilanes 1	157	124	2.86	0.37	0.913	0.81	0.27	0.46	0.95	1
Caimito, El Central	40	181	1.20	0.23	0.277	0.60	0.23	0.57	0.41	0
S. Juan y M., Tabaco	62	213	1.60	0.41	0.218	1.01	0.13	0.71	0.50	0

Fuente: Archivos de hidrometría del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba

Em La Tabla 2, Yc es la pendiente promedio; Qo el caudal medio; CVo el coeficiente de variación de los caudales promedios anuales; Qs el caudal sólido; CVs el coeficiente de variación de los caudales sólidos promedios anuales; K la concentración del caudal solido; CVk el coeficiente de variación de la concentración K; r el coeficiente de correlación lineal de Pearson para $Q_s = f(Q_o)$; y 'Tendencia' es la tendencia de la concentración (tendencia negativa es 0, tendencia positiva es 1). El cálculo del escurrimiento sólido para toda la cuenca fue estimado a partir de la relación entre las áreas y las pendientes de las cuencas. Se determina la relación entre los caudales y las áreas a través de una simple regla de tres, donde se despeja el valor de Qsc, es decir, $Q_s/Q_{sc} = A_1/A_2$ por tanto,

$$Q_{sc} = (A_2/A_1) * Q_s \quad (3)$$

Qsc es el valor estimado del escurrimiento sólido para toda la cuenca hasta la desembocadura al mar (kg/s); Qs el valor del escurrimiento solido hasta la estación hidrométrica (kg/s); A1 la area de la cuenca hasta la estación hidrométrica (km²); y A2 la area de la cuenca hasta la desembocadura (km²). Se asume que la descarga de escurrimiento sólido es mayor mientras mayor es el área de la cuenca, esta relación no es directa por la influencia de las pendientes de la cuenca que disminuyen en las zonas bajas cercanas a las costas, que a su vez hacen disminuir el valor de la descarga sólida. Este valor de Qsc, para toda la cuenca se ve disminuido por la disminución de la pendiente (factor limitante o regulador) y por tanto su valor más cercano a la realidad se calcula por la fórmula (4).

$$Q_{scr} = Q_{sc} * K_p \quad (4)$$

Donde, Qscr es el valor medio del escurrimiento, estimado, para toda la cuenca ya rectificado por el efecto regulador de la pendiente; Qsc es el valor medio estimado del escurrimiento sólido para toda la cuenca (sin considerar la regulación por disminución de la pendiente); y Kp es el índice de disminución por efecto de la pendiente, oscila entre 0,5 y 1,0. Los valores del escurrimiento sólido promedio en ambas variantes aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3.- Determinación del caudal sólido en correspondencia con las cuencas parciales y totales.

Cuenca (estación)	Area parcial (km ²)	Qs (kg/s)	Area total (km ²)	Qsc (kg/s)	Qscr (kg/s)
Cuyaguaje, V Aniversario	145	0.640	620	*	*
Cuyaguaje, La Guira	281	1.198	620	*	*
Cuyaguaje, Portales II	502	2.65	620	3.27	2.16
Hondo, Pilotos	84	0.385	0.613	2.81	2.21
S. Diego, Gavilanes 1	157	0.913	452	2.63	1.72
Caimito, El Central	40	0.276	210	1.45	(1.45)
S. Juan y M., Tabaco	213	0.218	0.274	0.28	(0.28)

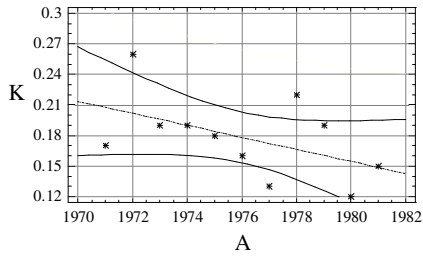
Fuente: Elaborada por el autor.

Qs, caudal sólido promedio hasta estación hidrométrica, kg/s. Qsc, Caudal sólido para toda la cuenca; Qscr, Caudal sólido de toda la cuenca (corregido por disminución de pendiente).

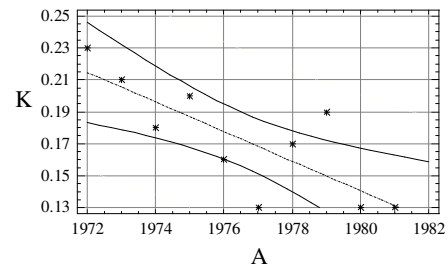
Tabla 4.- Relación entre el escurrimiento líquido (Qo) y el escurrimiento sólido (Qs) para cada una de las cuencas estudiadas

Cuenca (estación)	Número de años	r	Modelo	Significación estadística (%)
Cuyaguaje, V Aniversario	11	0.92	$Q_s = 0.217*Q_o - 0.092$	Sí, 99
Cuyaguaje, La Guira	10	0.92	$Q_s = 0.20*Q_o - 0.124$	Sí, 99
Cuyaguaje, Portales II	10	0.91	$Q_s = 0.267*Q_o - 0.610$	Sí, 99
Hondo, Pilotos	8	0.72	$Q_s = 0.199*Q_o + 0.0326$	Sí, 95
S. Diego, Gavilanes 1	9	0.95	$Q_s = 0.660*Q_o - 0.977$	Sí, 99
Caimito, El Central	9	0.41	$Q_s = 0.246*Q_o - 0.019$	No, 90
S. Juan y M., Tabaco	11	0.50	$Q_s = 0.165*Q_o - 0.0484$	No, 90

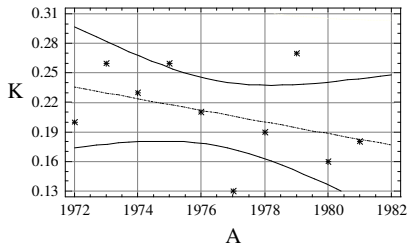
Fuente: Elaborada por el autor



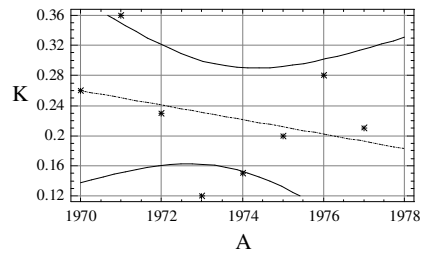
(A) Cuyaguajeje, V Aniversario ($r = -0.49$)



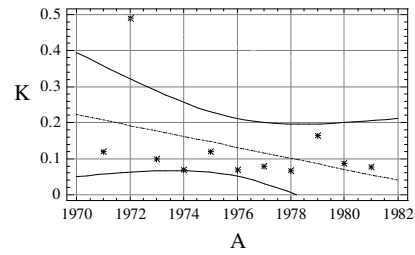
(B) Cuyaguajeje, La Guira ($r = -0.79$)



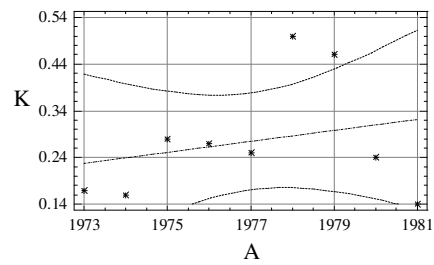
(C) Cuyaguajeje, Portales II ($r = -0.38$)



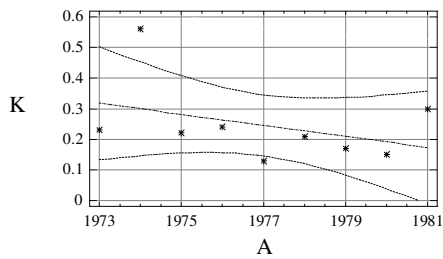
(D) Hondo, Pilotos ($r = -0.31$)



(E) San Juan y Martínez, El tabaco. ($r = -0.41$)



(F) San Diego, Los Gavilanes. ($r = 0.25$)



(G) Caimito, El Central. ($r = -0.38$)

Fig. 2. Relaciones individuales entre variables. Tendencias de $K = f(A)$, donde K (Kg/m^3), A (años) para las siete cuencas

Las principales relaciones para todas las cuencas se presentan en las Figuras 3 y 4.

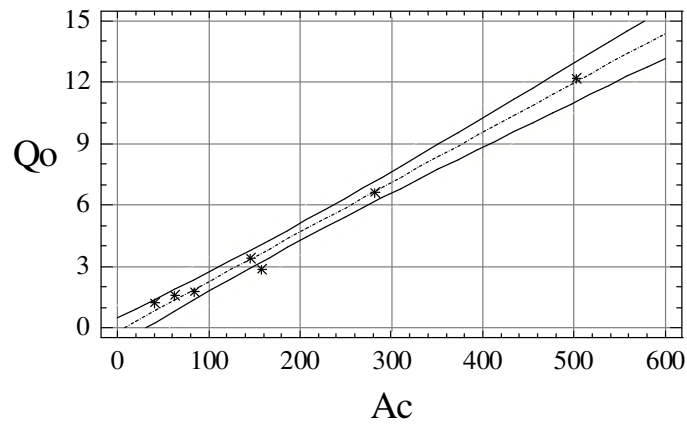


Fig. 3 Relación $Q_o = f(Ac)$. Relación del caudal líquido (Q_o) con el área de la cuenca (Ac), según Tabla 2. Cada punto representa una de las siete cuencas del estudio

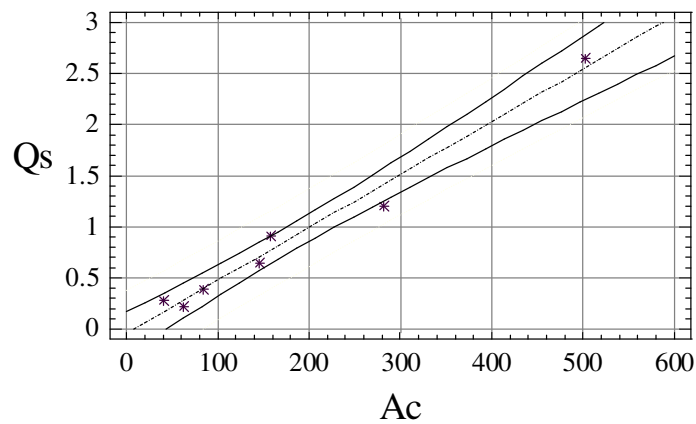


Fig. 4 Relación $Q_s = f(Ac)$. Relación del caudal sólido (Q_s) con el área de la cuenca (Ac), según Tabla 2. Cada punto representa una de las siete cuencas del estudio

Sobre el escurrimiento líquido (Q_o), el escurrimiento sólido (Q_s) y la concentración (K), en cada una de las cuencas estudiadas, como se puede observar en la Tabla 2, los valores medios de Q_o de las cuencas estudiadas están muy en correspondencia con el área de drenaje de las mismas (se verifica en próximo análisis), correspondiendo el mayor valor a la cuenca más grande, la del

Cuyaguaje hasta los Portales, y el valor menor a la cuenca del río Caimito hasta El Central. Sus respectivos coeficientes de variación, a pesar de no ser largas las series no son valores altos, se consideran normales, según la zona y región.

En cuanto al escurrimiento sólido Q_s , se distribuye muy parecido a Q_o , dada su relación tan estrecha como se vera mas adelante. Los coeficientes de variación de Q_s son relativamente altos para las cuencas San Diego, Caimito y San Juan y Martínez, causa no conocida hasta el momento, este aspecto será motivo de estudio en otros trabajos (de Araújo, Gonzalez Piedra, 2009).

El análisis del coeficiente de concentración K (kg/m^3) merece especial atención en este acápite. Las figuras desde la 2 hasta la 8, muestran una tendencia a la disminución en el tiempo (excepto San Diego, que no lo evidencia bien), ello provoca incertidumbre del por que sucede esto, y evidentemente salen algunas posibles respuestas, una de ellas, que las partículas de suelo se agotan con el tiempo y por tanto cada vez es mas difícil el proceso de dispersión de estas partículas por el impacto de la lluvia y su traslado a posteriori con la escorrentía, esta pudiera ser una respuesta al problema, pero otra puede ser el incremento de las medidas de protección en el área, y pueden haber otras, lo cierto es que es otro tema que esta por estudiar con mas detalles, el propósito de este trabajo no llega hasta allá.

Por otro lado la distribución del coeficiente de concentración K (kg/m^3) es muy diferente a los anteriores. Las cuencas Hondo, San Diego y Caimito tienen el valor de K muy superiores a los de las cuencas del Cuyaguaje, quizás causa de ello pueda ser que las condiciones fisicogeograficas son diferentes, las del Cuyaguaje tienen afectación carsica y el poder erosivo se regula mucho con las aguas subterráneas, sin embargo las tres mencionadas con anterioridad tienen pendientes relativamente altas y sus suelos están siendo muy explotados por la agricultura, de todas formas estas no pueden ser conclusiones definitivas, porque este trabajo no llega a tener este alcance de demostrar o dar respuesta a todas y cada una de las interrogantes que se encuentran en la investigación.

Estas cuencas son portadoras de aproximadamente 0.20 kg de partículas de suelo por cada m^3 de agua. Si las siete cuencas tienen un caudal total de $6.284 \text{ m}^3/\text{s}$, ello implica unos 197.95 millones de m^3 de agua anuales, lo que se traduce en casi 20 000 m^3 de sedimentos anuales (asumiendo 1 m^3 de sedimentos igual a 2 toneladas) que llegan a los embalses o directamente a nuestras costas de Pinar del Río, con la correspondiente perdida de nutrientes.

Sobre las relaciones entre los Q_o y Q_s de cada cuenca, las relaciones entre Q_o y Q_s para las siete cuencas como conjunto de datos a nivel regional, se muestran en la Tabla 4. Se muestran los resultados del análisis de correlación y regresión realizado a través del Statgraphic Plus.

Lo más destacable es la fuerte relación estadística entre Q_s y Q_o para las cuencas de estudio, excepto para las cuencas Caimito y San Juan y Martínez, donde se evidencia una cierta relación (coeficientes de correlación lineal de 0.41 y 0.50 respectivamente). Las otras cinco cuencas tienen valores de r superiores a 0.90, solo Hondo, tiene un valor de r igual a 0.72, siendo todas estas correlaciones de muy alta significación estadística. Ello corrobora la idea de la dependencia funcional o relación causal fuerte entre el escurrimiento sólido Q_s con el escurrimiento líquido Q_o .

Esta fuerte relación, no es exclusiva de alguna región de Cuba, es generalmente una ley que se presenta en casi todas las cuencas de alta montaña, de ahí la necesidad de la reforestación y la toma de medidas para evitar la erosión exagerada y fuera de control de los suelos. Lo importante es conocer cuantitativamente como es este proceso, y es lo que se ha logrado conocer con esta aproximación de la presente investigación.

Sobre las relaciones entre valores promedios de Q_o y Q_s de cada cuenca con su correspondiente morfometría, se realizó el análisis de correlación y regresión entre las variables Q_o y Q_s con el área de la cuenca y su pendiente promedio para las siete cuencas de estudio. El resultado de dichas relaciones evidencia relación estadística importante entre estas variables hidrológicas y el área de las cuencas, ver Figuras 3 y 4. Un resumen de este ejercicio de correlación y de regresión se ofrece a continuación. Los modelos de regresión de Q_o y Q_s con el Área de la Cuenca son presentados en las ecuaciones (5) y (6).

$$Q_o = 0.0243 \cdot A_c - 0.1760 \quad (5)$$

$$Q_s = 0.0052 \cdot A_c - 0.0427 \quad (6)$$

Lo anterior evidencia, la posibilidad de un acercamiento matemático – estadístico, a modo de ley o regularidad espacial para toda la zona estudiada.

CONCLUSIONES

En las siete cuencas estudiadas de La Provincia de Pinar del Río (occidente de Cuba), existe una fuerte relación matemático – estadística entre el escurrimiento sólido (Q_s) y el escurrimiento líquido (Q_o), demostrado en los indicadores de correlación y regresión. Ello implica una relación

causal evidente para la zona de estudio, lo que también evidencia la necesidad de tomar las medidas necesarias para una mayor protección de los suelos de estas cuencas.

Existe una relación estrecha entre el escurrimiento líquido y sólido con el área de las cuencas, ello permite definir determinadas regularidades de ambos parámetros hidrológicos Qs y Qo desde el punto de vista espacial.

Estas cuencas tienen un caudal total de 6.284 m³/s, ello implica unos 197.95 millones de m³ de agua anuales, lo que también se traduce en casi 20 000 m³ de sedimentos anuales que llegan a los embalses o directamente a nuestras costas de Pinar del Río, con la correspondiente pérdida de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CAPES y al MES/Cuba por el apoyo al proyecto ECOMASD (097/10).

BIBLIOGRAFIA

ARNOLD B (1990) *Simulator of Water resources in rural basins Water Quality (SWRRBWQ)*, USDA, USA

BRONSTERT A et al. (2014) Process-based modeling of erosion, sediment transport and reservoir siltation in meso-scale semi-arid catchments. *J Soils Sediments* doi: 10.1007/s11368-014-0994-1

BROOKS K (1997) *Hydrology and the Management of Watersheds*, Iowa State University Press/Ames, USA, 502 p.

CUBA (1969) *Boletín Hidrométrico* No. 3. DAP, C. de La Habana, Cuba, 127 pp.

DE ARAÚJO JC, GONZÁLEZ PIEDRA JI (2009) *Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed*. *Hydrological Processes*, 23, pp. 1169-1178

DELACOURT POL G (2004) *Análisis geométrico de la cuenca hidrográfica superficial del río Quibú*, Trabajo de Diploma, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana. 4p.

GONZÁLEZ SPINDOLA L (1999) *Eventos extremos: Lluvias máximas y Escurrimiento máximo en Cuba*, Tesis Doctoral, La Habana, Cuba, 121 pp.

GONZÁLEZ PIEDRA JI (1988) *Hidrología Práctica*, Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, 91 pp.

GONZÁLEZ PIEDRA JI, CABANA G. (2007) *Notas sobre Métodos Matemáticos en Geografía* (mimeo). La Habana, Cuba

GONZÁLEZ PIEDRA JI, CONTRERAS M. (2006) *Hidrología del río Quibu: Balance hídrico hiperanual y escurrimiento máximo para un tiempo de retorno de 10 años*. I Taller de Modelamiento Matemático en Cuencas. La Habana, Cuba.

GONZÁLEZ PIEDRA JI (2006) *Modelos sobre STELLA* (mimeo). Universidad de La Habana, Cuba.

GONZALEZ PIEDRA JI (2006) *Propuesta de Proyecto ECC – CUBA*, La Habana, 13 pp.

HEC (2000) *Hydrological Modeling System (HEC – HMS)*. USA Army

MAYER A (2006) *Modeling the Rio Yaqui basin, Mexico: optimization of water resource allocation*. USA. 20 p.

PETER S, DE ARAÚJO JC, ARAÚJO N, HERRMANN HJ. (2014) *Flood avalanches in a semiarid basin with a dense reservoir network*. Journal of Hydrology, 512, pp. 408-420

SAN JUAN A (2000) *Monografía de Modelos Matemáticos en Hidrología*, Habana, Cuba, 25 p.