

# El escurrimiento sólido y la erosión hídrica actual de Cuba\*

\*\*Wilfredo PÉREZ ZORIILLA  
y \*\*Galina YA KARASIK

**RESUMEN.** *El escurrimiento sólido y causa directa, la erosión hídrica, dependen directamente de las condiciones físico-geográficas existentes, siendo los factores fundamentales de su formación: las precipitaciones, el escurrimiento líquido, la cubierta vegetal, el relieve, la litología, los suelos y las actividades del hombre. Sobre la base de la interacción de los factores antes mencionados, se establecieron dos relaciones: una para las zonas montañosas, entre la altura y el escurrimiento sólido, tomando en consideración que con la altura varían la precipitación, el escurrimiento líquido y las condiciones del relieve; y otra para las zonas llanas, entre el escurrimiento líquido y el escurrimiento sólido, en dependencia de la cubierta vegetal (tipos de cultivo). Estas relaciones permitieron determinar que con la altura aumenta el escurrimiento sólido, dependiendo su mayor o menor intensidad de las particularidades de cada zona montañosa; y que en las zonas llanas, el tipo de cultivo, perennes y semiperennes, y anuales y estacionales, determinan el comportamiento de la intensidad del escurrimiento sólido, siendo éste menor en los dos primeros. A partir de estas relaciones y de los datos de las estaciones hidrométricas, se realizó el mapa del módulo del escurrimiento sólido, donde se observa la distribución territorial de este elemento. Para este trabajo se utilizaron 32 estaciones hidrométricas, cuyas series de observaciones se llevaron a un período común de 20 años (1964-1983).*

## INTRODUCCIÓN

El estudio del proceso de formación y las condiciones de desarrollo del escurrimiento sólido, posee una gran importancia económica para nuestro país, tanto para la actividad agrícola, como para la construcción y explotación de las obras hidrotécnicas, ya que permite calcular los volúmenes de la erosión hídrica actual de los

suelos y elaborar medidas tendientes a su disminución, así como conocer el arrastre

\*Manuscrito aprobado en junio de 1988.

\*\*Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba.

\*\*\*Instituto de Geografía de Moscú, Academia de Ciencias de la URSS.

de sedimentos en suspensión transportados por los ríos, dato necesario al realizar los proyectos de construcción de las obras hidrotécnicas para determinar su tiempo de vida útil y las condiciones de explotación, y establecer los plazos de limpieza necesarios.

Como antecedentes de estudio en esta temática llevados a cabo a partir del triunfo de la Revolución, se encuentra el realizado por Terterov (1970), en el que se utilizaron datos de 24 estaciones con una serie pequeña de observaciones (1-4 años) y cuyo resultado fue un mapa muy esquemático. Posteriormente Batista (1975) estudió el escurrimiento sólido en 21 estaciones con una serie algo mayor (1-9 años), obteniendo dos ecuaciones para calcular el escurrimiento sólido en ríos sin observaciones, una para la parte occidental de Cuba y otra para la oriental; en ese trabajo quedó establecida la estrecha relación existente entre la turbidez y el gasto líquido y entre el módulo del escurrimiento sólido y el módulo del escurrimiento líquido.

Monteagudo y Villamil (1984) realizaron un nuevo estudio con 36 estaciones hidrométricas y series de observaciones mayores

(1-12 años), en el que obtuvieron tres ecuaciones de cálculo: una para la región oriental y dos para la occidental.

Otro trabajo sobre la temática fue realizado por Projorienko *et al.* (1985), donde se emplearon 33 estaciones, elaborándose un sistema de ecuaciones para calcular el gasto sólido de los ríos.

En el presente trabajo se tiene como objetivo estudiar las regularidades de la formación del escurrimiento sólido y su distribución espacial en el territorio nacional. Para su elaboración se utilizaron 32 estaciones hidrométricas (Fig. 1) con series de observaciones de 1 a 19 años (Tabla 1), seleccionadas de entre las 39 que hasta el momento han realizado observaciones del escurrimiento sólido, a partir del análisis de sus períodos de observación y la calidad de los mismos. Como resultado se elaboró un mapa de escala 1:1 000 000 que muestra la distribución espacial del escurrimiento sólido medio anual, expresado en ton/km<sup>2</sup>·año (Ms), para todo el territorio nacional, lo cual se pudo lograr sobre la base del análisis de los principales factores y condiciones físico-geográficas que influyen en su formación.

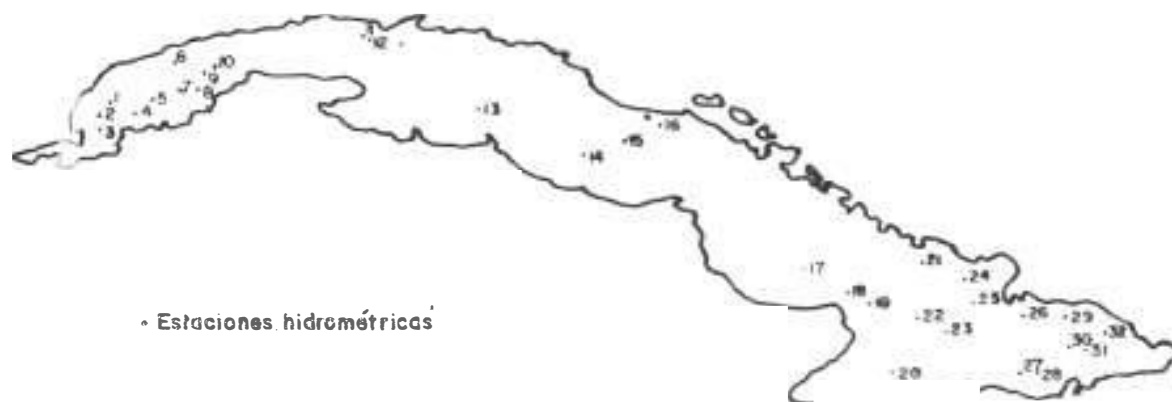


FIG. 1. Ubicación de estaciones hidrométricas.

TABLA 1. Datos de las estaciones hidrométricas.

No. de ubicación en el mapa	Río - Estación	I	II	III	IV	V	Ubicación de la cuenca o uso de la tierra.
1	Cuyaguaje - V Aniversario	11	145	178	792	151	S. Órganos
2	Cuyaguaje - La Güira	10	279	184	795	136	S. Órganos
3	Cuyaguaje - Portales II	18	502	170	801	202	S. Órganos
4	San Juan y Martínez. El Tabaco	13	62	177	926	142	Alt. de Pizarra
5	Hondo - Pilotos	14	84	172	770	195	Alt. de Pizarra
6	Caimito - El Central	10	40	198	946	158	Alt. de Pizarra
7	San Diego - Los Gavilanes	10	157	165	609	195	Alt. de Pizarra
8	Bacunagua - Santo Domingo	9	55	296	997	281	S. del Rosario
9	Taco-Taco - El Jardín	4	25	369	1 334	292	S. del Rosario
10	Santa Cruz - Santa Ana	4	28	367	1 476	331	S. del Rosario
20	Buey - San Miguel	18	73	611	969	346	S. Maestra
23	Cauto - Cauto Cristo	11	4 683	188	126	64	S. Maestra
26	Mayarí - La Emajagua	10	1 060	350	306	86	Sagua-Baracoa
27	Baconao-Trucutú	19	167	491	303	153	S. Maestr
28	Guantánamo - Santa Sofía	6	506	207	170	92	Sagua-Baracoa
29	Sagua de Tánamo - El Infierno	8	325	401	514	160	Sagua-Baracoa
30	Bano - Santa Rosa	9	128	325	416	104	Sagua-Baracoa
31	Yateras - Palenquito	10	144	598	325	96	Sagua-Baracoa
32	Toa - El Toro	19	326	580	615	184	Sagua-Baracoa
14	Agabama - Sopimpa	9	842	178	366	135	Pastos, viandas y tabaco
21	Salado - San Carlos	13	2 140	77	70	21	Pastos, caña y viandas
22	Chaparra - El Roble	12	395	95	174	100	Cañas y viandas
24	Gibara - El Jobo	3	84	163	249	101	Pastos y viandas
11	Cañas - Cañas	8	158	105	829	44	Pastos y bosques
12	Cañas - San Agustín III	16	268	105	607	33	Pastos y bosques
13	Damuji - Rodas	14	848	52	318	56	Caña

Continuación

TABLA 1. (Continuación)

No. de ubicación en el mapa	Río - Estación	I	II	III	IV	V	Ubicación de la cuenca o uso de la tierra.
15	Zaza - Paso Ventura	15	848	159	369	71	Caña y pastos
16	Jatibonico del Norte - El Río	11	192	197	555	66	Pastos y caña
17	Sevilla - La Fortaleza	1	565	93	149*	12*	Caña y pastos
18	Jobabo - Jobabo	7	343	78	189	31	Pastos y caña
19	Cayojo - Cayojo	11	78	92	199	40	Pastos
25	Camazan - Limoncito	2	54	210	85*	18*	Pastos y bosques

\* Valores no correlacionados.

Los valores de escurrimiento líquido y escurrimiento sólido de estas dos estaciones corresponden los años con observaciones que poseen.

I: Años de observación.

II: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

III: Altura media de la cuenca (Hm).

IV Escurrimiento líquido para 20 años (Rmm).

V: Escurrimiento sólido para 20 años (Mt/km × año).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La base del método de estudio de la erosión hídrica requiere un considerable número de mediciones del escurrimiento sólido en las estaciones hidrométricas, conjuntamente con las mediciones del gasto líquido y su régimen, así como de observación es del estado de la superficie de la cuenca colectora. En Cuba estas mediciones comenzaron en 1960, a partir de la construcción paulatina de la red de estaciones hidrométricas, lo que ha dado como resultado que las mediciones tengan diferentes años de inicio; en ello ha influido también el hecho de que muchas estaciones se hayan instalado con el objetivo de argumentar los proyectos de construcción de presas, desactivándolas posteriormente.

A todo esto hay que añadir la falta de representatividad geográfica, ya que la mayor parte de ellas se encuentran en las zonas premontañas, quedando sin observaciones extensas y características áreas llanas y montañosas. Para la solución del problema de la desigualdad en las series se realizaron correlaciones entre el escurrimiento sólido y el líquido para cada estación, aprovechando la relación que existe entre ambos (Batista, 1975) y la determinación del escurrimiento líquido medio anual realizada para la elaboración del mapa del Escurrimiento Fluvial (Karasik *et al.*, en prensa); estas correlaciones, permitieron llevar las series de 30 estaciones a un período común de 20 años, igual al

empleado en los mapas del Balance Hídrico elaborados para el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1964-1983), quedando solo 2 estaciones cuyos períodos eran de 1 y 2 años.

La preparación del mapa del Módulo del Ecurrimiento Sólido (Fig 2), utilizando sólo los datos de observaciones resultaba imposible, por lo que se recurrió a su dependencia de los factores físico-geográficos. El factor fundamental en la formación del escurrimiento sólido es la lluvia, produciendo su trabajo erosivo por medio de la acción mecánica de la gota contra el suelo, y el escurrimiento líquido, que se encarga de llevar el producto de la erosión

a los ríos en forma de sedimentos en suspensión y de arrastre; en esto también influyen otros factores, como son: el relieve, debido al incremento de las precipitaciones y la pendiente del terreno con la altura; la cubierta vegetal, que incide en la retención del agua, aumentando su infiltración y protegiendo al suelo; la litología, la cual puede facilitar o no la infiltración de las aguas; y la actividad del hombre, el cual rompe el frágil equilibrio existente en la naturaleza entre la formación de los suelos y la erosión, mediante la tala de los bosques, la agricultura, las construcciones, etc.

La utilización de estas dependencias permitió mostrar los fundamentos de las regularidades de la formación del escurrimiento sólido en Cuba y perfeccionar el método de interpolación de los datos existentes a los territorios sin observaciones, tomando en cuenta las complejas condiciones naturales del país y la utilización de la tierra para la agricultura.

Partiendo de estas premisas se realizaron dos tipos de correlaciones: una para las zonas montañosas y otra para las llanuras. Para esto se tomó como base que en la formación del escurrimiento líquido, y por tanto del escurrimiento sólido, en las montañas y en las llanuras inciden factores diferentes, debido a que en las montañas las precipitaciones son más intensas, las pendientes son mayores y la cubierta vegetal más densa, y en las zonas llanas la precipitación es menor al igual que las pendientes, y la cubierta vegetal depende del tipo de cultivo.

En las montañas se correlacionó el escurrimiento sólido contra la altura media de las cuencas (Fig. 3) realizándose una para la cordillera de Guaniguanico y otra

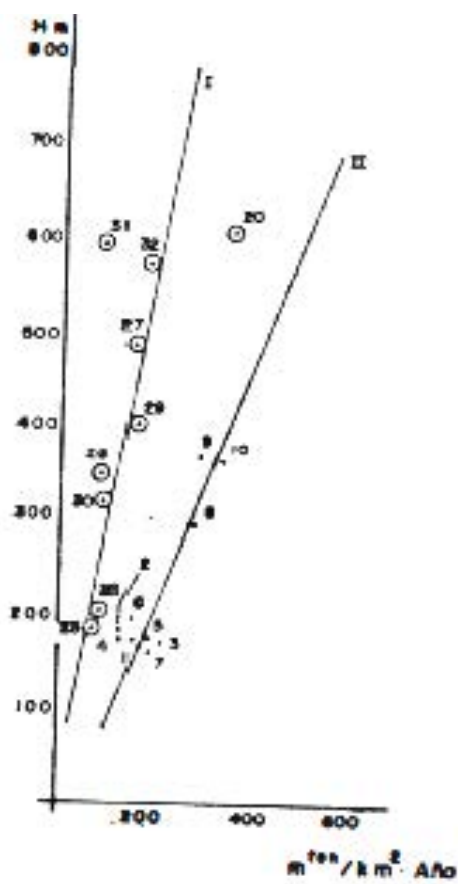


FIG. 2. Correlación para zonas montañosas. I: Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa. II: Cordillera de Guaniguanico.

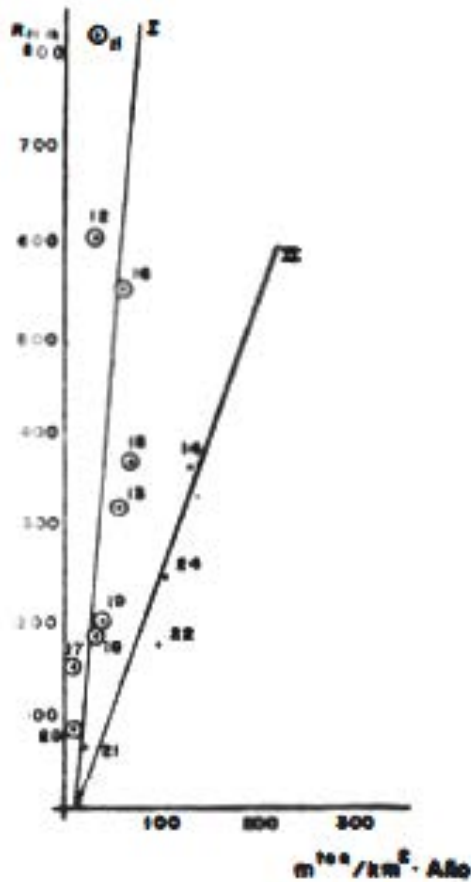


FIG. 3. Correlación para zonas llanas. I: Cultivos perennes y semiperennes. II: Cultivos anuales y estacionales.

para la Sierra Maestra y las Montañas de Nipe-Sagua-Baracoa, debido a sus diferentes condiciones físico-geográficas, siendo el coeficiente de correlación obtenido de 0,87 y 0,89, respectivamente. Para las zonas llanas se hicieron igualmente dos correlaciones; en este caso, entre los módulos del escurrimiento sólido y el líquido (Fig. 4), una para las cuencas cuyas superficies estuvieron cubiertas en más de 75% por cultivos perennes y semiperennes (pastos, frutales, caña de azúcar, bosques, etc.), los cuales por su régimen de laboreo y densidad vegetal ofrecen una buena protección al suelo y la otra, para las cuencas cuya superficie estuvieron cubiertas en más de 75% por cultivos anuales y estacionales (vegetales, hortalizas, viandas, tabaco, etc.), los que por requerir una mayor atención agrícola y presentar una menor densidad vegetal, no protegen el suelo de los efectos negativos de la precipitación y el escurrimiento líquido, siendo sus coeficientes de correlación de 0,80 y 0,92, respectivamente. Para la determinación de la cubierta vegetal de las cuencas se utilizó el mapa de uso de la tierra a escala 1:1 000 000 del Instituto de Planificación Física (en prensa).



FIG. 4. Módulo del escurrimiento sólido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del trabajo realizado con los datos de las estaciones hidrométricas y las relaciones con los factores físico-geográficos que más influyen en la formación del escurrimiento sólido, se elaboró el mapa del Módulo del Escurrimiento Sólido, a escala 1:1 000 000 (Fig. 2) que muestra, de forma general, su distribución espacial para todo el territorio cubano.

Este mapa, por su escala, no permite realizar cálculos del escurrimiento sólido en una cuenca dada, con excepción de las que tienen observaciones, pero sí conocer las tendencias generales de su desarrollo y magnitud, así como las zonas más afectadas por la erosión, a fin de elaborar medidas globales para su protección. Por otra parte es conveniente aclarar que en la actualidad resulta imposible realizar un mapa más detallado por las características de la red de información.

Como se observa en la Fig. 2, la intensidad de la erosión aumenta de las costas, donde no sobrepasa las 10-20 ton/km<sup>2</sup>·año, hacia el interior del territorio, en conformidad con el aumento de las precipitaciones y el escurrimiento líquido, alcanzando los valores máximos en las zonas montañosas.

En las llanuras y alturas bajas esta regularidad sólo se altera por la influencia de otros factores, como la actividad agrícola. Así encontramos que en zonas de intensa explotación, con cultivos anuales y estacionales, como la Llanura sur de Pinar del Río, la parte central de la Llanura Habana-Matanzas, las Alturas de Bejucal-Madruga-Coliseo, las Alturas de Santa Clara y la Llanura de Cabaiguán-Jatibonico, el escurrimiento sólido se incrementa rápidamente, llegando a valores entre 100-200 ton/km<sup>2</sup>·año; en cambio, en las zonas donde las tierras se dedican a cultivos perennes y semiperennes, los valores osci-

lan entre 20-50 ton/km<sup>2</sup>·año, como sucede en el este de la Llanura de Cienfuegos, toda la región de Camagüey-Manabón, la Llanura del Cauto y la Cuenca de Guantánamo. En esto influye también la litología, pues en el caso semidesnudo (Llanura de la Habana-Matanzas y Júcaro-Morón), el escurrimiento sólido disminuye correspondencia con el aumento de la infiltración de las aguas.

La diferencia existente entre las condiciones del uso de la tierra se puede ver claramente en las relaciones que se hicieron para las zonas llanas. En la referida a los cultivos perennes y semiperennes, el gradiente del escurrimiento sólido es de aproximadamente 10 ton/km<sup>2</sup>·año por cada 100 mm de escurrimiento líquido (Rmm); en cambio, en la referida a los cultivos anuales y estacionales se observa un aumento de alrededor de las 40 ton/km<sup>2</sup>·año por cada 100 mm de escurrimiento líquido.

Este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos en parcelas experimentales en la cuenca del río San Diego (Perea, 1975), donde las utilizadas en pastos, frutales y bosques tuvieron volúmenes de erosión mucho menores que las ocupadas por cultivos de maíz, tabaco, yuca, boniato, donde la erosión alcanzó altos valores; así mismo se corresponden con los obtenidos en Tanzania, en parcelas con diferentes cubiertas vegetales (Sundborg, 1983).

De esto se deduce que la erosión, aunque es un proceso natural, en la actualidad debe un gran porcentaje de su volumen a la actividad del hombre, considerándose que la ordenación del territorio influye más que cualquier otro factor al lado.

En las regiones montañosas, que ocupan aproximadamente una tercera parte del territorio de Cuba, es donde se producen

los mayores volúmenes del escurrimiento sólido, debido a los cambios que sufren con la altura los factores que influyen en su formación. En ellas se observa un incremento proporcional del escurrimiento sólido con la altura media de las cuencas hidrológicas, a causa del aumento de las precipitaciones (Gagua *et al.*, 1976), el escurrimiento líquido (Karasik *et al.*, en prensa), las pendientes (Magaz *et al.*, en prensa) y la erosión potencial de los suelos (Riverol *et al.*, inédito).

Así tenemos que en la Cordillera de Guaniguanico se registran valores de erosión del orden de las 200 ton/km<sup>2</sup>·año, con un máximo de 300 ton/km<sup>2</sup>·año en la Sierra del Rosario y un incremento de aproximadamente 80 ton/km<sup>2</sup>·año cada 100 m de altura, en tanto que en las montañas orientales el valor máximo es de 200 ton/km<sup>2</sup>·año y el incremento que se registra es de 35-40 ton/km<sup>2</sup>·año cada 100 m. Esta diferencia se debe principalmente, a la mayor asimilación económica de las montañas occidentales, sobre todo en sus valles intramontanos, y por otra parte, al predominio del cultivo de café y cacao en las orientales, que le proporcionan a éstas una protectora cubierta vegetal.

Para las zonas montañosas de la Región Central no se pudo realizar la curva

de gradiente por falta de datos, ya que sólo existe una estación con serie de observaciones, por lo que sus valores se calcularon a partir de la curva de las montañas occidentales, por estimarse que sus condiciones físico-geográficas tienen una mayor semejanza con esta región.

Es de notar que los resultados obtenidos en las relaciones entre el módulo del escurrimiento sólido y la altura media de las cuencas, difieren de los de Projorienko *et al.* (1985), que plantean que el módulo del escurrimiento sólido aumenta con la altura hasta los 150-300 m (zona premontañosa), a partir de donde comienza a disminuir en la medida que aumenta la altura media de las cuencas, lo que se debe a "una mayor resistencia a la erosión hídrica", producto de las variaciones de las propiedades hidrofísicas de los suelos y al aumento de las pendientes de las laderas de las cuencas. En cambio Riverol *et al.* (inédito), sitúan las montañas como las zonas de mayor potencialidad erosiva; y Monteagudo y Villamil (1984), reconocen que existe una tendencia al aumento del escurrimiento sólido con la altura media de la cuenca, todo lo cual concuerda con nuestros resultados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo desarrollado permitió obtener algunas conclusiones que, aunque generales, son valiosas en la caracterización del comportamiento y la distribución espacial del módulo del escurrimiento sólido, por lo que podemos expresar que:

— La intensidad de la erosión aumenta de las costas hacia el interior, en conformidad con el aumento de las precipitaciones y el escurrimiento líquido, alcanzando sus

valores máximos en las zonas montañosas.

— Existe una relación directa entre el módulo del escurrimiento sólido y la altura media de las cuencas en las zonas montañosas, debido al incremento en la intensidad de los factores que intervienen en la formación de los escurrimientos sólido y líquido.

— En la cordillera de Guaniguanico se produce un mayor escurrimiento sólido que



en las montañas orientales, con un incremento de casi el doble por cada 100 m de altura, debido principalmente a la desigualdad en la explotación económica.

— En las áreas ocupadas por cultivos perennes y semiperennes se produce un volumen de erosión de tres a cuatro veces menor que en las áreas con cultivos anuales y estacionales, producto de una mayor protección de la cubierta vegetal y un menor laboreo.

— Lo expresado en los párrafos anteriores corrobora la relación existente entre los módulos del escurrimiento sólido y líquido, ya que son los mismos factores los que modifican tanto a uno como a otro.

— No obstante los resultados obtenidos, es necesario continuar las investigaciones sobre las regularidades y variaciones del

escurrimiento sólido y los factores que los producen, por lo que es necesario:

— Un incremento de las estaciones hidrométricas que observen el escurrimiento líquido y sólido, con el objeto de poder caracterizar estos procesos en las diferentes condiciones físico-geográficas del territorio cubano y precisar más su relación.

— A esto se debe unir la observación del escurrimiento iónico, con el objetivo de conocer en toda su magnitud la erosión existente.

— Al mismo tiempo se deben continuar los estudios experimentales que existen de estos procesos, e incrementarlos en diferentes actividades socioeconómicas (agricultura, urbanización, minería a cielo abierto, etc.), con el fin de evaluar el grado de influencia de estas actividades en los mismos.

## REFERENCIAS

- Batista, J. L. (1975): Escurrimiento sólido. *Rev. Voluntad Hidráulica*, La Habana, Cuba, 37:62-66.
- Gagua, G., S. Zarembo y A. Izquierdo (1976): Sobre el nuevo mapa isoyético. *Rev. Voluntad Hidráulica*, La Habana, 37:35-45.
- Instituto de Planificación Física [en prensa]: "Mapa del uso de la tierra a escala 1:1 000 000", Inst. Geog. Nac. España.
- Karasik, G. Ya., W. Pérez, C. Matos y J. Rodríguez [en prensa]: "Mapas del balance hídrico", Inst. Geog. Nac., España.
- Magaz, A., P. Blanco, G. Reyes, A. Portela y J. L. Díaz [en prensa]: "Mapa de los ángulos de pendientes", Inst. Geog. Nac., España.
- Monteagudo, O. P. y A. Villamil (1984): Sedimentos en suspensión de los ríos de Cuba. *Rev. Voluntad Hidráulica*, La Habana, Cuba, 65:10-19.
- Perea, J., R. (1975): Influencia del bosque en la calidad de las aguas. *Rev. Voluntad Hidráulica*, La Habana, Cuba, 36:13-18
- Projorienko, S. I., J. Veliz y O. Pérez (1985): Estudio del escurrimiento de los sólidos en suspensión y métodos de cálculo para los ríos de Cuba. *Rev. Voluntad Hidráulica*, La Habana, Cuba, 67:10-23.
- Riverol, M., G. Shepashenko, A. Hernández y N. Calzada (1982): Resistencia Antierosiva de los principales suelos agrícolas de Cuba. *Rev. Ciencias de la Agricultura*, La Habana, Cuba, 16: 105-109.
- ; "Mapa de la erosión potencial de los suelos de Cuba" [inédito], *Inst. de Suelos*, Academia de Ciencias de Cuba.
- Sundborg, A. (1983): Los problemas de sedimentación en las cuencas fluviales. *Rev. Naturaleza y sus recursos*, UNESCO, París, 2:10-21.
- Terterov, A. (1970): "Sedimentos en suspensión de los ríos de Cuba" [inédito], Grupo Hidráulico Nacional, La Habana.

*Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 15 y 16, 1989

THE PRESENT SOLID DISCHARGE AND HYDRICAL EROSION IN CUBA

Wilfredo PÉREZ ZORRILLA  
and Galina YA. KARASIK

**ABSTRACT.** *The solid discharge and its direct cause, the hydrical erosion, depend directly of the existent physicgeographycal conditions, being the main factors of their formation: rainfal, runoff, vegetation, relief, lithology, soils and human activities. On the basis of the interacting factors two list were established: on for mountainous zones, comprising altitude and solid discharge, taking into account the rainfall variation with altitude, runoff and relief conditions; and the other one for plains comprising runoff and solid discharge depending on vegetation (types of crops). By these lists were determined that a higher altitude a higher solid discharge depending on local particularities, as well as in plains, the types of crops: perennial, semiperennial, annual and seasonal are determinant of the solid discharge intensity behavior, being lower in the two firts. The map of solid discharge module reflecting the territorial distribution of this element was made from these list and the data from 32 hydrometric stations collected on 20 years (1964-1983).*