

## **TRANSFORMAR EL USO DE LA TIERRA EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA REDUCIR EL APOORTE DE SEDIMENTOS A BAHÍAS, ESTUARIOS Y DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS.**

Dr. José Luis Batista Silva  
jbatista@ceniai.inf.cu

Una cuenca hidrográfica, en condiciones naturales y abierta, funciona como un sistema delimitado por un parteaguas que divide la precipitación sobre cuencas adyacentes, por tanto, esa precipitación puede considerarse como la principal alimentación de la cuenca fluvial.

La red de drenaje, con sus cauces naturales labrados durante siglos origina la formación de escurrimiento fluvial, tanto líquido como sólido. Las características del agua y su recorrido, desde el nacimiento de la corriente, están relacionadas con múltiples causas y factores determinantes hasta que el río llega a su meta, al final de su recorrido.

Todos los procesos que ocurren dentro de la cuenca hidrográfica se reflejan en la parte baja de la misma, es decir, bahías, estuarios, playas o su propia desembocadura; de estos procesos, la erosión producida por la energía del agua, que arranca millones de toneladas de suelo anualmente y que son acarreadas aguas abajo, es un elemento dañino para la franja costera.

La deposición en cuencas fluviales ha estado actuando durante eras geológicas, aumentado considerablemente por la acción del hombre con sus actividades agrícolas causantes de gran parte del aporte total de sedimentos que llegan a los ríos, estuarios y finalmente al mar. En la mayoría de los casos la acumulación de sedimentos en las zonas costeras puede inhabilitar una playa, bahía, etc., lo cual requeriría efectuar costosas operaciones de dragado. Sumado a esto, una inadecuada selección del sitio para el vertimiento del material dragado puede provocar efectos no deseados, como una re-deposición en el lugar de donde fue extraído, lo cual provocaría gastos adicionales en las actividades relacionadas con la navegación.

El dragado de una bahía, donde existan instalaciones portuarias, resolvería temporalmente el problema, es decir, se eliminarían las consecuencias pero no la causa que origina el aporte de material sólido hacia la desembocadura de los ríos. El hombre no puede materialmente evitar los procesos de erosión natural, pero si puede reducirlos considerablemente con sus actividades antierosivas y además no crear condiciones para nuevas formas erosivas.

La formación de sedimentos no se produce en la franja costera, pero si en todo el territorio de la cuenca fluvial. El proceso de erosión y acarreo de sedimentos por los cauces es complicado y depende de múltiples factores, entre ellos el uso de la tierra, que puede ser transformado y por tanto reducir las condiciones de degradación en las cuencas aluviales. De esta forma se actúa sobre la causa o la génesis del transporte de sedimentos hacia las bahías, playas y la desembocadura de los ríos.

Cuando se dispone de información hidrológica relativa a los caudales líquidos y sólidos se procede a determinar la producción de sedimentos y la degradación específica en la cuenca hidrográfica.

La producción de sedimentos ( $W_s = R_o \cdot 31536 / \beta$ ), generalmente expresada en toneladas anuales, es el escurrimiento sólido ( $R_o$ ) que transporta el río durante un año dado, teniendo en cuenta el peso volumétrico de las partículas de tierra ( $\beta$ ), que varía de 0.5 a 1.0 aproximadamente, según experiencias de laboratorio.

El escurrimiento sólido ( $R_o$ ), en kg/s, se obtiene a partir del producto de la turbidez media ( $\rho_{med.}$ ) y el escurrimiento líquido del río ( $Q_o$ ), en m<sup>3</sup>/s:

$$R_o = 0.001 \rho_{med.} Q_o$$

Y por último la degradación específica o módulo específico del escurrimiento sólido ( $M_s$ ), expresado en t/ha, es la cantidad de sedimentos que aporta cada ha de superficie de la cuenca durante un año, o sea,  $M_s = (R_o \cdot 315.36 / A)$ , donde  $A$  es la superficie de la cuenca hidrográfica expresada en km<sup>2</sup>.

## I. Producción de sedimentos.

El agua de los ríos siempre contiene determinada cantidad de partículas sólidas y sustancias disueltas. La suma total de estos productos, acarreadas por la corriente durante determinado tiempo, por ejemplo un año, se denomina “*escurrimiento sólido*”. Las partículas sólidas en la corriente son los azolves o sedimentos y están constituidas por granos minerales de distintos diámetros y en su composición también se encuentran sustancias orgánicas.

La presencia de escurrimiento sólido está condicionada a los procesos de erosión mecánica y química, la mecánica se produce por la separación de las partículas de suelo debido a la acción de las aguas superficiales y la erosión química fundamentalmente por las aguas subterráneas. Casi toda la masa de sedimentos que llega al río proviene de la superficie de la cuenca fluvial, aunque la turbulencia de la corriente crea fuerzas locales capaces de arrancar partículas de suelo del lecho y de las orillas del cauce.

La formación de sedimentos es una forma de contaminación de los sistemas hídricos terrestres y marinos, que se manifiesta como una componente física por la pérdida de la capa arable del suelo y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y por cárcavas, que dan lugar a niveles excesivos de turbidez en las aguas receptoras y a repercusiones ecológicas y físicas en lugares tan lejanos como las desembocaduras de los ríos.

Por otra parte, existe una contaminación química constituida por sedimentos de limo y arcilla, transmisores primarios de productos químicos adsorbidos, especialmente fósforo, plaguicidas clorados y la mayor parte de los metales, que son transportados por los sedimentos al sistema acuático.

El transporte de sedimentos por la corriente se acostumbra dividir en “*sedimentos en suspensión*”, que se mueven junto con la corriente, y los de “*arrastre*” (de fondo o acarreo). Pero esta separación es relativa ya que las partículas de distintos diámetros pueden encontrarse tanto suspendidas o moviéndose con el agua y estáticas en el fondo, en dependencia de la velocidad y energía de la corriente y del peso específico. Ambos procesos del movimiento de los sedimentos (suspensión y acarreo) son independientes, pues se intercambian uno con otro en la corriente. Por esta razón existe un tercer estadio de los sedimentos: la saltación, que constituye una transición entre los otros dos. Los sedimentos en

suspensión están constituidos por las partículas más finas mantenidas en suspensión por los remolinos de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye.

El transporte de sedimentos en una corriente fluvial es la capacidad que tiene ésta –ante determinadas condiciones hidráulicas y sin pérdida o acumulación de materiales del fondo- de mover cierta cantidad de sedimentos de una composición granulométrica dada. El cálculo de la capacidad de transporte de sedimentos de una corriente fluvial podría efectuarse aproximadamente por la fórmula:

$$S_t = \frac{24V^3}{Uh_m} \text{ [g/m}^3\text{]}, \text{ donde}$$

$S_t$  – Capacidad de transporte de sedimentos, [g/m<sup>3</sup>]

$U$  – Tamaño de la partícula [m/s], se refiere a la velocidad de precipitación de la partícula hacia el fondo.

$V$ - Velocidad media de la corriente [m/s]

$h_m$  – Profundidad media de la corriente [m]

El aporte de sedimentos, expresado normalmente en toneladas por unidad de superficie de la cuenca por año, es el volumen de sedimentos cuantificados en un determinado punto de la cuenca dividido por la superficie de ésta. Es siempre inferior a la erosión total debido a la acumulación de sedimentos durante el transporte, y es muy variable como consecuencia de las dificultades de cuantificación, la variabilidad temporal de los procesos hidrológicos y los cambios en las prácticas de ordenación de las tierras de la cuenca de un año a otro.

El objetivo de este artículo no es presentar una nueva teoría o experiencias del movimiento de los sedimentos en una corriente fluvial, la meta central es proponer cambios y transformaciones en el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica para reducir el transporte de sedimentos hacia bahías, playas y desembocaduras de los ríos.

## **II. Impacto de condiciones naturales y/o antrópicas en la acumulación de sedimentos en la desembocadura de los ríos.**

En el proceso de formación de sedimentos intervienen diversos elementos que pueden producir, aumentar o reducir la cantidad de sedimentos en suspensión y acarreo transportados por las corrientes. La acción de esos elementos se desarrolla en forma individual o combinada. Factores naturales como la intensidad y cantidad de precipitaciones, el relieve, las pendientes del terreno, deben tenerse muy en cuenta en el diseño de la investigación y la posible aplicación de medidas para reducir la sedimentación en la cuenca fluvial.

### Factores de influencia

- Suelos
- Relieve
- Intensidad y cantidad de precipitaciones
- Escurrimiento fluvial
- Vegetación
- Erosión
- Uso de la tierra
  - Control de erosión
  - Reforestación
  - Agricultura
  - Desarrollo hidráulico
  - Urbanización

De todos los factores señalados el uso de la tierra es uno de los más importante. Áreas de cuencas boscosas y cubiertas con espesa vegetación prácticamente no producirían sedimentos, ante la ocurrencia de intensas y copiosas precipitaciones. Sin embargo, la deforestación de estas áreas dejaría un suelo desprotegido que consecuentemente llegaría a la formación de cárcavas, surcos y amplia fuente de producción de sedimentos.

La erosión de los suelos es la fuente de producción de partículas, cuando tiene lugar intensas precipitaciones sobre tipos de suelos fácilmente erosionables, creando condiciones para que

los sedimentos lleguen a los cauces, donde además se obstaculiza el flujo normal de la corriente si los azolves recibidos son considerables.

El relieve del territorio influye en la velocidad del agua por las laderas de la cuenca y por tanto aumenta o disminuye la erosión/arranque de partículas del suelo, en dependencia de su protección o cobertura vegetal. Las pendientes de la cuenca y del río son importantes componentes del relieve que determinan en mayor o menor grado el movimiento de materiales sólidos hacia los cauces y curso abajo.

Como ya se expresó anteriormente la influencia integrada o combinada de varios factores impactan sobre los sedimentos. Además del uso de la tierra, el escurrimiento fluvial y la vegetación están muy interrelacionados en las características de la erosión.

### **III. Influencia de la vegetación en la cuenca hidrográfica.**

Investigaciones realizadas en parcelas experimentales para estudiar el régimen de escurrimiento en cuencas con distintos tipos de vegetación han demostrado que el aumento de la capacidad de infiltración del suelo trae como consecuencia la redistribución del escurrimiento dentro del año, debido a que una parte considerable del escurrimiento superficial se convierte en subterráneo, (Batista, 1972; Linsley *et al.* 1968; Molinas, 1998).

El escurrimiento promedio anual en cuencas fluviales con áreas boscosas y densa vegetación sufre alteraciones porque disminuye la evaporación desde el suelo protegido, pero no olvidar la contribución del consumo de agua por absorción y asimilación de las plantas.

En algunas cuencas fluviales 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.

Podrían ocurrir alteraciones del escurrimiento por el nivel de captación de fuentes subterráneas en algunos ríos, en dependencia de la cantidad, espesor y potencia de los niveles freáticos que ellos logren drenar. Muchos ríos no logran drenar ni siquiera un nivel freático, disminuyendo el

caudal durante la época menos lluviosa llegando, inclusive, a secarse debido a que la vegetación y la estructura del suelo transformarán parte del escurrimiento superficial en subterráneo, que puede resurgir en el trayecto de la corriente o pasar a formar parte del escurrimiento subterráneo, continuando su curso aguas abajo.

En algunas cuencas fluviales, es obvio que exista una comunicación, por lo menos, con un nivel freático, pues esas corrientes tienen escurrimiento permanente durante todo el año y sus caudales disminuyen paulatinamente cuando se produce una ausencia prolongada de lluvias.

El aumento de la capacidad de infiltración del suelo gracias a la vegetación y áreas boscosas de algunas cuencas puede aumentar el escurrimiento mínimo y de estiaje en un 30% aproximadamente, por la entrega retardada del escurrimiento superficial, producido por las lluvias. No obstante, la dependencia de las precipitaciones pluviales de las cuencas transforman el escurrimiento superficial en subterráneo y los ríos corren por niveles más bajos que el cauce y por tanto disminuye la magnitud del escurrimiento por meses o temporadas.

En cuanto a la influencia de la vegetación y zonas boscosas sobre los picos de crecidas o gastos máximos, el efecto existe a partir de una cantidad de lluvia determinada, ya que ante aguaceros aislados y no suficientemente intensos, la cubierta boscosa retiene parte del escurrimiento hacia los cauces. Ante precipitaciones cuantiosas, intensas y prolongadas, el efecto transformador de la vegetación será insignificante, (Batista, 1973, 1974).

Después que las numerosas depresiones del terreno 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 tasa de infiltración, ocurren avenidas con picos de igual o mayor magnitud a las que se producirían si las cuencas no estuviesen cubiertas de bosques y vegetación. Tener presente que en zonas tropicales los picos mayores de avenidas se producen, principalmente, durante el paso de ciclones tropicales, cuando ocurren precipitaciones intensas durante varios días.

El resultado más positivo de la cobertura vegetal es sobre el proceso de erosión y azolvamiento. Las áreas boscosas y distintos tipos de vegetación disminuyen la erosión, evitando la acumulación de sedimentos (azolvamiento).

Indudablemente que una cuenca con protección de cubierta vegetal estará mucho menos erosionada que si no tuviese esa protección.

Conocidas la génesis y los procesos del movimiento de sedimentos hasta la parte baja de la cuencas, es posible llevar a la práctica una investigación metodológica aplicada a reducir la producción de sedimentos y la degradación de una cuenca hidrográfica. En este punto debe prestarse atención a dos tareas fundamentales:

- Recopilación, procesamiento y análisis de toda la información disponible en la cuenca, relacionada con los objetivos propuestos.
- Recomendaciones para cambiar el uso de la tierra en la cuenca.

#### **IV. Recopilación, procesamiento y análisis de la información.**

Definido el escenario o cuenca fluvial, donde se aplicará la metodología se procederá a la búsqueda de la información requerida. Dado que en la mayoría de los casos el cúmulo de información puede ser voluminoso se utilizará un Sistema de Información Geográfica (SIG) para almacenar toda la información. Asimismo el SIG constituirá posteriormente una herramienta muy útil en el procesamiento y análisis de la información y en la toma de decisiones para dilucidar propuestas de transformaciones del uso de la tierra en la cuenca fluvial.

El primer paso es realizar un levantamiento cartográfico completo de la cuenca, utilizando todos los medios técnicos más sofisticados y disponibles en la actualidad: cartas topográficas, fotos aéreas o imágenes satelitales, generación de ortomapas digitales, todo ello apoyado en una necesaria verificación de campo.

Con la información recopilada, utilizando el SIG como soporte, es posible crear Modelos Digitales del Terreno, ortoimágenes, ampliación de sectores de la cuenca que se desean analizar con más detalles, entre otras tareas. Se dispondrá de mapas temáticos de suelos, vegetación, zonas erosionadas, cultivadas, construcción de obras hidrotécnicas y de todos los factores que intervienen en la formación de sedimentos en la cuenca fluvial.

Las facilidades de contar con toda la información disponible dentro de un Sistema de Información Geográfica no requiere un mapa único para representar todos los factores (sería imposible), por el contrario, estarán accesible innumerables mapas, con sus tablas, figuras y diagramas georeferenciados.

La aplicación del SIG podría llevarse a cabo con ayuda del ArcView y una plataforma tecnológica poderosa para la captura, procesamiento y análisis de la información. La herramienta OLatinoNET posee características importantes para desarrollar, conjuntamente con el ArcView, todo el trabajo, incluyendo la toma de decisiones finales.

*“OLatinoNET consta de varios componentes que permiten la visualización y edición de la información cartográfica. Internamente está diseñado para que pueda utilizarse en cualquier proyecto a nivel de programación utilizando cualquiera de los lenguajes incorporados en la plataforma .NET de Microsoft. Algunas características destacables del OLatinoNET son:*

- *Agrupaciones de la información cartográfica (líneas, polígonos, rellenos, etc.) mediante capas y/o atributos.*
- *Permite enlazar a bases de datos (SQL Server, Oracle, etc.) cualquier elemento de la cartografía.*
- *Manipulación de datos vectoriales y ortoimágenes.*
- *Soporte nativo de múltiples formatos como VEC, BigVEC, DGN, DWG, DXF, MIF, Shape, ECW, TIFF, BMP, JPG, etc.”*, (Sánchez Ballesteros, 2003).

El suelo, relieve, vegetación, erosión y uso de la tierra, distribuidos en la cuenca es el espacio o escenario donde tiene lugar el proceso de formación y transporte de sedimentos (azolves) aguas abajo, que sería imposible sin la ocurrencia de precipitaciones y el escurrimiento fluvial, como fuente y vía de transporte de los sedimentos respectivamente.

Los datos requeridos sobre las precipitaciones se resumen en la situación de los puntos para medir las precipitaciones y registros pluviométricos y pluviográficos de todos los equipos y años observados.

Si en la cuenca existieran estaciones de aforo sería conveniente disponer de todos los datos hidrométricos observados, incluyendo las mediciones de sedimentos y arrastre.

Otros datos, no menos importantes, se refieren a las características de los embalses construidos en la cuenca (ubicación, volumen del nivel de aguas normales, volumen muerto, etc.) y también si existiera, información sobre el sedimentación (azolvamiento) de algunos embalses.

La información sobre las precipitaciones, hidrología e hidrometría son cruciales para determinar el régimen hídrico de la cuenca y conocer el grado de regulación en distintas épocas y en la actualidad.

#### **V. Recomendaciones para cambiar el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica.**

Aunque el principal objetivo de este trabajo es reducir lo más posible el aporte de sedimentos hacia la desembocadura del río (bahías, playas), de hecho las medidas a tomar para cambiar el uso de la tierra están enmarcadas dentro del manejo integral de cuencas hidrográficas.

Las acciones que deben ejecutarse para transformar el uso de la tierra dentro del territorio de una cuenca fluvial constituye una gestión integrada de un conjunto de actividades reguladoras, administrativas y de control, interrelacionadas y que deben ser ejecutadas, garantizando así un desarrollo sostenible y al mismo tiempo resolver problemas prácticos tales como evitar el dragado de un puerto o invertir fuertes capitales en restaurar playas cada cierto tiempo.

Como se ha expresado anteriormente la producción de sedimentos depende de múltiples factores, no obstante, representado en un esquema muy simple podría resumirse que la situación de la cuenca fluvial (uso de la tierra), la cantidad e intensidad de precipitaciones y el escurrimiento fluvial constituyen los tres elementos claves.

No es posible actuar sobre la fuente natural de alimentación de los sistemas hídricos, es decir, las precipitaciones, pero sí reducir la magnitud de las crecidas o avenidas del río, y regular el escurrimiento medio anual. Esto conllevaría a que se reduzca el transporte de sedimentos por los cauces fluviales y por tanto la descarga de partículas hacia la desembocadura sea menor.

Esta disminución de la cantidad de sedimentos y cambios en el régimen hídrico sería el resultado de las acciones relacionadas con el uso de la tierra, tomando medidas encaminadas a reducir al mínimo posible las fuentes de producción de sedimentos.

*“No hay soluciones aisladas para combatir la erosión de los suelos. Las medidas de este tipo dependen en gran parte de la situación económica del agricultor, la mayor o menor importancia concedida por las autoridades ambientales a la erosión de sedimentos y el nivel de desarrollo del país. A continuación se indican las medidas clasificadas y recomendadas por el Organismo para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US-EPA, 1993). Estas categorías se utilizan en muchas partes del mundo, incluidos los países en desarrollo. Estas técnicas tienen efectos beneficiosos en la conservación del nitrógeno y el fósforo del suelo”, (Hudson, 1997).*

Estas medidas son aceptadas y se tendrán en cuenta en investigaciones aplicadas que se propongan siguiendo la metodología asumida en este trabajo. No obstante, las medidas podrían agruparse en lo siguiente:

- Medidas antierosivas.
- Convertir suelos erosionados en áreas de producción agrícola.
- Reducir el movimiento de los sedimentos mediante la construcción de presas para controlar los azolves.
- Reforestar la cuenca con formaciones vegetales autóctonas.
- Construcción de terrazas, nivelación del terreno y reducción de pendientes.

La aplicación de estas medidas no tiene una respuesta inmediata en la degradación específica de los suelos o en la producción de sedimentos, pero al convertir suelos erosionados en áreas agrícolas, por ejemplo, es un comienzo muy positivo para evitar la acumulación y transporte de sedimentos.

Relacionado con el manejo de cuencas hidrográficas existen cientos de ejemplos, propuestas, etc., en la literatura mundial, donde se propone el reordenamiento integral de las cuencas. En este caso particular que se aborda puede afirmarse que si se reduce o elimina el origen de la producción de sedimentos en una cuenca, el agua llegaría a la desembocadura con poca turbidez.

El costo de estas medidas podría ser relativamente alto, pero no es una inversión que requiera ejecutarse frecuentemente, por tanto el saldo final sería económico. La tarea principal es evitar

la erosión en la cuenca. Algunas experiencias realizadas en Cuba han obtenido resultados alentadores y no han sido costosas. Renda Sayous (1996) refiere sobre la erosión y conservación de suelos en las cuencas montañosas de Cuba:

*“En relación con el cultivo de maíz (Zea mays), la erosión llega a 90 t/ha durante su ciclo vegetativo y 3 t/ha por aguacero. En la Sierra Maestra, Guamuhaya y Guanihuanico, con pendientes de 8 a 60%, se produce una erosión por aguacero de 0,5 a 3,6 t/ha. Durante el cultivo de maíz se produjo una erosión total de 162 t/ha, lo que es más alto que lo encontrado en Baracoa (90 t/ha), sin la aplicación de medidas antierosivas.*

*Con el cultivo de Boniato (Ipomea batata), en pendientes entre 16 al 25%, con la aplicación de medidas antierosivas, la pérdida de suelo por aguacero alcanzó 9,4 t/ha. Sin embargo, sin la aplicación de estas medidas, la tasa se eleva a 17,6%, igual tendencia se presenta en Guamuhaya. Con el cultivo de maíz se observa la misma tendencia.*

*Las medidas antierosivas son entonces indispensables para controlar la erosión en cultivos agrícolas, especialmente aquellas prácticas basadas en la agroforestería. En Cuba se ha comprobado, que los bosques en la zona montañosas pueden reducir hasta 900 veces la erosión provocada en cultivos, haciendo que la velocidad de infiltración sea dos veces inferior, provocando un flujo constante de agua subterránea y una turbidez 7 veces menor”.*

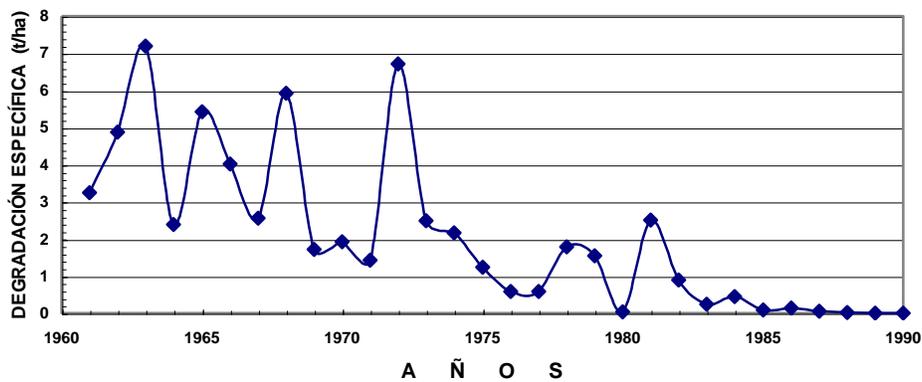
En la cuenca del río Texcoco, México, se realizó un manejo integral, con el propósito de rehabilitar las áreas erosionadas y reducir la magnitud de los escurrimientos superficiales y sedimentos. Aunque este río no desemboca en el mar el proceso es similar y sus resultados indican que si es posible disminuir las variables en un alto por ciento.

Los datos de la Tabla 1 y el gráfico de la Fig. 1, tomados del artículo de Martínez (1999), muestran que el impacto de las medidas llevadas a cabo en la cuenca del Texcoco, para reducir la degradación, es prácticamente inmediato.

**Tabla 1. Producción de sedimentos y degradación de los suelos en la cuenca del río Texcoco, Area de la cuenca=29.4 km<sup>2</sup> (según Martínez, 1999).**

<i>Sin manejo integral</i>				<i>Con manejo integral</i>			
Nº	Años	Producción de sedim. (ton)	Degradación espec. (t/ha)	Nº	Años	Producción de sedim. (ton)	Degradación espec. (t/ha)

1	1961	9 553	3.25	1	1978	5 256	1.79
2	1962	14 316	4.87	2	1979	4 524	1.54
3	1963	21 169	7.2	3	1980	132	0.04
4	1964	6 995	2.38	4	1981	7 392	2.51
5	1965	15 922	5.42	5	1982	2 604	0.89
6	1966	11 798	4.01	6	1983	720	0.24
7	1967	7 526	2.56	7	1984	1 308	0.44
8	1968	17 448	5.93	8	1985	252	0.09
9	1969	5 028	1.71	9	1986	384	0.13
10	1970	5 652	1.92	10	1987	156	0.05
11	1971	4 176	1.42	11	1988	72	0.02
12	1972	19 752	6.72	12	1989	0	0.00
13	1973	7 308	2.49	13	1990	0	0.00
14	1974	6 348	2.16				
15	1975	3 636	1.24				
16	1976	1 716	0.58				
17	1977	1 692	0.58				



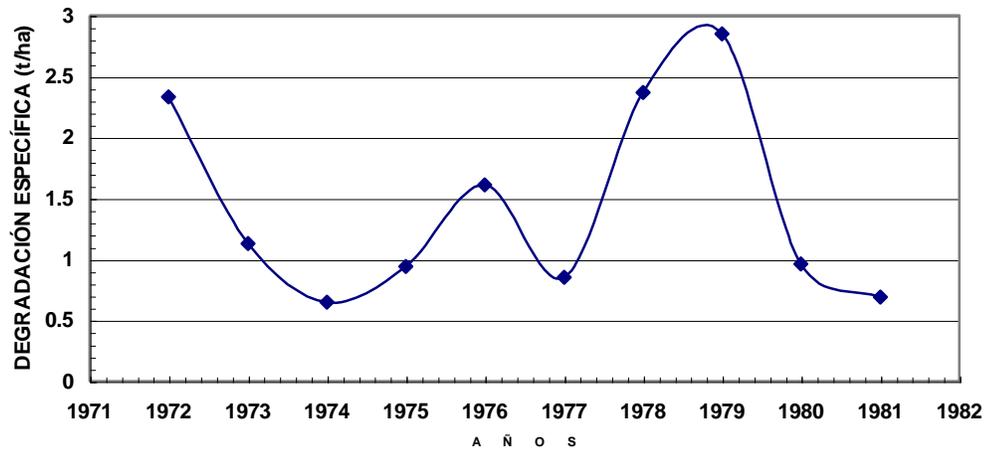
**Fig. 1. Degradación específica en la cuenca del Río Texcoco, México (Antes y después del proyecto).**

Todas las obras y transformaciones en la cuenca estuvieron listas para el año 1978 y como se observa en la Tabla 1 y la Fig. 1, apenas 5 años después la producción de sedimentos y la degradación específica disminuyeron hasta llegar a cero en 1990, atendiendo al artículo citado.

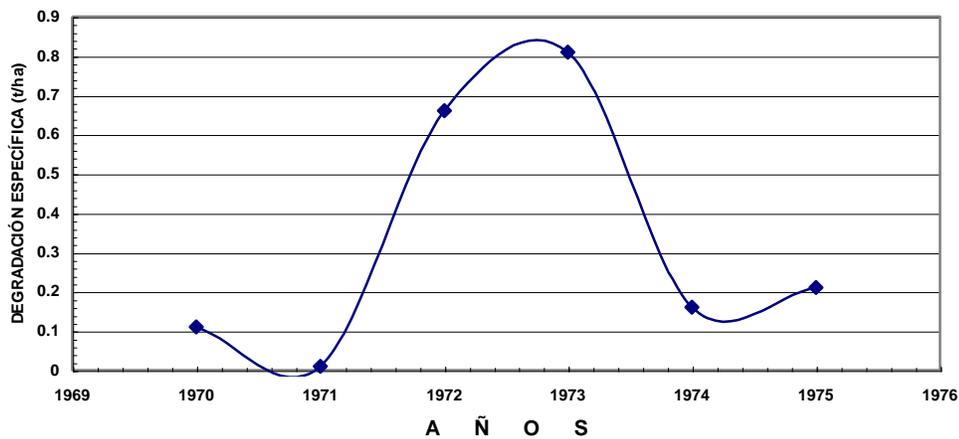
Dos ejemplos de cuencas hidrográficas de Cuba donde, no se ha realizado un plan de manejo, (Figs. 2 y 3), pero sirven para mostrar la influencia de la vegetación en la formación de escurrimiento sólido. Se han tomado los datos de la década 70-80 del siglo pasado pues son datos de observaciones confiables para en estos ríos.

**Tabla 2. Producción de sedimentos y degradación en ríos cubanos.**

<i>Río Cuyaguaje, Estación V Aniversario</i>				<i>Río Higuanojo, Estación P. Carretera</i>			
Nº	Años	Producción de sedim. (ton)	Degradación espec. (t/ha)	Nº	Años	Producción de sedim. (ton)	Degradación espec. (t/ha)
1	1972	33 744	2.33	1	1971	788	0.11
2	1973	16 399	1.13	2	1972	63	0.009
3	1974	9 461	0.65	3	1973	4 604	0.66
4	1975	13 560	0.94	4	1974	5 676	0.81
5	1976	23 337	1.61	5	1975	1 135	0.16
6	1977	12 299	0.85	6	1976	1 482	0.21
7	1978	34 374	2.37				
8	1979	41 312	2.85				
9	1980	13 876	0.96				
10	1981	10 091	0.69				



**Fig. 2. Degradación específica del Río Cuyaguaje, Cuba.**



**Fig. 3. Degradación específica del Río Higuanojo, Cuba.**

En la cuenca del Río Cuyaguajete, Estación V Aniversario ( $A=145 \text{ km}^2$ ) se observan valores bajos de degradación específica en los años 1974 y 1981, pero no es el resultado de actividades encaminadas a reducir la producción de sedimentos en esta cuenca. En el gráfico correspondiente a la cuenca del Río Higuanojo, Estación Puente Carretera ( $A=70 \text{ km}^2$ ), (Fig. 3), situado en la parte central montañosa de Cuba, se refleja muy bien la influencia de la vegetación natural existente, donde la degradación varía de 0.81 a 0.009, lo cual significa que prácticamente no existe erosión en esta cuenca.

## Bibliografía

- Batista Silva, J. L. (1972): Aprovechamiento del potencial hídrico de nuestros ríos, Revista Voluntad Hidráulica No. 22, La Habana, pp. 34-39.
- Batista Silva, J. L. (1973): División del territorio en regiones hidrológicas (I), Revista Voluntad Hidráulica No 28, La Habana, Cuba, pp.14-26.
- Batista Silva, J. L. (1974): División del territorio en regiones hidrológicas (II), Revista Voluntad Hidráulica No 29, La Habana, Cuba, pp. 6-21.
- Beasley, D.B. y Huggins, L.F. (1981): ANSWERS Users Manual. US-EPA 905/9-82-001. US Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Hudson, N. W. (1997): Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. (Boletín de suelos de la FAO-68), ©FAO 1997.
- Linsley, R. K.; J. B. Franzini, (1968): Ingeniería de los recursos hidráulicos, Editorial Continental, S. A., México, 791 p.
- Martínez Adame, S; Martínez Menez, R. (M. R.): (1999): Efecto del manejo integral de la cuenca del río Texcoco, sobre la producción de agua y sedimentos. En: Investigaciones Geográficas N° 39, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM, México, pp. 53-67.
- Molinas, A.; B. Wu, (1998): Effect of size gradation on transport of sediment mixtures. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 124, N° 8, pp. 786-793.
- Renda Sayous, A. (1996): Erosión y conservación de suelos en las cuencas montañosas de Cuba. En: Boletín de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en manejo de cuencas hidrográficas, Boletín N° 1, pp. 43-44-
- Sánchez Ballesteros, C. (2003): LatinoNET: Un GIS de hoy. En: Revista Mapping N° 88, Madrid, pp. 20-22.