



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Hidráulico.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Diplomante:

Ernesto Quiala Quintana

Tutores:

Dr. C. Segundo Pereda Hernández

MSc. Eudel Michel Rojas

Santiago de Cuba, Junio 2020

“Año 62 de la Revolución”

Pensamiento.



Vivimos en una época rica en inteligencias creadoras, cuyas expresiones han de acrecentar considerablemente nuestras vidas. Hoy cruzamos los mares merced a la fuerza desarrollada por el hombre, y empleamos también esa energía para aliviar a la humanidad del trabajo muscular agotador. Aprendimos a volar y somos capaces de enviar mensajes y noticias sin dificultad alguna a los más remotos lugares del mundo, por medio de ondas eléctricas.

No obstante, la producción y distribución de bienes se halla por completo desorganizada, de manera que la mayoría ha de vivir temerosa ante la posibilidad de verse eliminada del ciclo económico, y sufrir así la falta de lo necesario. Además, los habitantes de las distintas naciones se matan entre si a intervalos regulares, por lo que también, debido a esta causa deben sentir miedo y terror todo el que piense en el futuro. Esta anomalía se debe al hecho de que la inteligencia y el carácter de las masas son muy inferiores a la inteligencia de los pocos que producen algo valioso para la comunidad. Confió en que la posteridad lea estas afirmaciones con un sentido de justicia y la necesidad de un cambio en la situación.

(Einsten, 1939)

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Agradecimientos.

En honor a todos los que influyeron en mi formación y vinculación a la enseñanza superior y a mi posterior realización como ingeniero hidráulico, quisiera sin dejar a ninguna de estas personas excluidas de mis palabras, agradecerles a mis padres Oscar y Milagros, a mi hermano, mis tías, mis tíos, a toda mi familia y a todas las personas que estuvieron pendiente de mí durante este viaje.

Además, agradecer a todos mis compañeros del aula, sin poder olvidarme de los que estuvieron día y noche conviviendo y mostrando apoyo en todas las situaciones, así de complicadas que fuesen, en especial a mis colegas de cuarto (Javier, David, José Luis, Adrian, Reinier y Gilbert), a los que considero amigos, de manera que sin más alarde les dejo mi agradecimiento eterno.

A mis tutores Dr. C. Segundo Pereda Hernández y al Ms. C. Eudel Michel Rojas, por cedernos su valioso tiempo, conocimiento e información durante el proceso de desarrollo de este Trabajo de Diploma.

A todos los profesores que me impartieron clase.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Dedicatoria.

A mis padres, a mi hermano, a mis tías y tíos, y a toda mi familia

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Resumen.

Las condiciones del clima en las cuencas tributarias suelen ser favorables, puesto que los abundantes periodos de lluvia dejan en riesgo de erosión a los bosques ralo, a las áreas con poca cobertura vegetal y a los caminos obra de la actividad humana. Lo cual provoca que el desprendimiento de partículas del suelo se convierta en una mezcla de sólidos en suspensión que arrastrado hasta las cotas más bajas de la cuenca llega al vaso del embalse provocando su posterior azolvamiento.

En el desarrollo de las actividades incluidas en el presente trabajo de diploma se hace una recopilación de información de las medidas dedicadas a mitigar la el fenómeno de erosión en la subcuenca Gilbert y soluciones adoptada a nivel internacional para poder establecer un análisis de las causas que provocan en la subcuenca antes mencionada dicho fenómeno, para poder adaptar las medidas convenientes.

Summary.

The conditions of the climate in the tributary basins are usually favourable, since the abundant periods of rain leave in erosion risk to the thin forests, to the areas with little vegetable covering and to the roads work of the human activity. That which causes that the detachment of particles of the floor becomes a mixture of solids in suspension that crawled until the bench marks but you get off the basin it arrives to the glass of the reservoir causing its later overflow.

In the development of the activities in this presently work we obtain a summary of information of the measures it is made dedicated to mitigate the erosion phenomenon in the sub basin Gilbert and solutions adopted at international level to be able to establish an analysis of the causes that cause before in the sub basin mentioned this phenomenon, to be able to adapt the convenient measures.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Índice General

Introducción.....	1
Capítulo1. Marco teórico-referencial de la investigación.....	5
1.2Cuenca Hidrográfica.....	5
1.2 Erosión.....	6
1.3 Erosión en cuencas.....	7
1.4 El fenómeno de la erosión del suelo.....	7
1.5 Tipos de erosión hídrica.....	8
1.5.1 Erosión por salpicadura.....	8
1.5.2 Erosión entre regueros.....	10
1.5.3 Erosión en regueros o surcos.....	15
1.5.4 Erosión en cárcavas.....	17
1.5.5 Erosión por flujo subsuperficial o túnel (“Piping”).....	18
1.5.6 Movimientos en masa.....	19
1.5.7 Erosión biológica por bioturbación.....	20
1.6 Los principales factores que influyen en la pérdida de suelo, son los.....	21
1.7 Marco legislativo:.....	22
Capítulo 2 Materiales y métodos de la investigación.....	23
Capítulo 2 Materiales y métodos de la investigación.....	24
Embalse Gilbert:.....	24
2.1 Aspectos Generales.....	24
2.2 Área de estudio.....	25
2.3 Geología y Geomorfología del área de estudio.....	26
2.4 Hidrología.....	27
2.5 Suelos.....	32
2.6 Uso de suelos y vegetación.....	35

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

2.7 Factores que influyen en el proceso de erosión hídrica dentro de la	37
2.8 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE – MUSLE)	43
2.8.1 Factor R	45
2.8.2 Factor K	48
2.8.3 Factor “LS”	50
2.8.4 Determinación del factor C	54
2.8.5 Determinación del factor P	55
3.1 Métodos para el control de erosión	56
3.1.1 Conservación de los suelos y reforestación.	56
3.1.2 Control del escurrimiento superficial.	57
3.1.3 Control de escurrimientos concentrados	58
Conclusiones.	60
Recomendaciones	61
Bibliografía	62

Introducción.

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos de cualquier país debido a los beneficios sociales y económicos que se derivan de su consciente explotación, es por ello que desde la década de los años 60 del pasado siglo, surge, impulsada por el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, la voluntad de desarrollar los recursos hidráulicos, y dar el lugar que le correspondía a la hidráulica en la vida social y económica de Cuba.

Impulsándose de esta forma un rápido y sólido movimiento que creó capacidades humanas, infraestructuras y mecanismos que hoy ponen al país en una posición privilegiada para enfrentar los fenómenos de excesos [inundaciones producto de tormentas y ciclones] falta de agua [sequías].

El programa de la Iniciativa Internacional de Sedimentos (ISI) por sus siglas en inglés. Plantea que:

“Los procesos de erosión y sedimentación y la gestión de cuencas en sistemas fluviales y cuerpos de agua son importantes a escala mundial desde un punto de vista social, económico y ambiental. Se estima que en las próximas décadas más del 50% de la capacidad de almacenamiento de los embalses de agua del mundo puede verse reducida como producto de los procesos de sedimentación y, por tanto, las prácticas de gestión de los sedimentos deberían ser mejoradas.”

Programa ISI (Iniciativa Internacional de Sedimentos)

Fase 2002-2008 del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (Herrero, 2016)

De no ser tomadas las medidas preventivas adecuadas para el control de la erosión y el manejo de los sedimentos, estos puede llegar a colmatarse el embalse, anulando así el funcionamiento para el cual fue concebido dicho sistema.

Una de las prácticas que comúnmente suelen influir fuertemente sobre el problema que analizamos son las actividades económicas en la cuenca

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

tributaria, entre las que se destacan con fuerza, la agricultura de sobrevivencia de los pobladores de la misma, fundamentalmente debido al empleo de cultivos de ciclo corto, los que obligan a preparar la tierra varias veces en el año con la consiguiente, desprotección del suelo que será fácilmente arrastrado por la corriente superficial producto de las lluvias dando lugar al fenómeno conocido como erosión hídrica.

Todo comienza entonces con la mala práctica de la deforestación intensiva, lo que sucede frecuentemente en el área de la cuenca tributaria. Otra actividad no menos agresiva y que contribuye también al aporte de los sedimentos hacia las partes bajas de la cuenca es la ganadería, por todo lo cual, es necesario también prestar la debida atención a las actividades que se realizan en la cuenca tributaria de los ríos y arroyos que forman parte del entramado fluvial que tributa al embalse. [Pereda, Carcasés 2006].

Por lo que teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, planteamos el siguiente diseño de investigación:

Planteamiento del problema.

La erosión inevitable y continua en la cuenca conduce a través del tiempo a su completa aridez y fuente para el azolvamiento de los cuerpos de agua más abajo.

Problema de investigación.

Conocer detalladamente según las posibilidades que el desarrollo de la ciencia y la tecnología permitan conocer las características de los fenómenos erosivos en la cuenca hidráulica lo que influye negativamente en la vida útil de los cuerpos de agua. La acumulación de sedimentos en el embalse **Gilbert** en el tiempo, reduce la vida útil del mismo, por lo cual revelar las causas principales del fenómeno conduce al comienzo de posibles vías de mitigación.

Objeto de investigación.

La cuenca Gilbert.

Campo de acción.

La cuenca Gilbert.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Objetivo General.

Revelar los factores influyentes en el fenómeno de la erosión de cuencas hidrográficas.

Objetivos específicos.

- 1- Revisión bibliográfica del tema objeto de estudio.
- 2- Estudio en el tiempo de las características físico-geográficas de la cuenca Gilbert.
- 3- Proponer de acuerdo con la experiencia profesional internacional y autóctona acciones acerca del tema de estudio.

Hipótesis.

Si conociéramos los parámetros derivados del arrastre de sedimentos hasta el embalse, entonces, podríamos proponer soluciones para minimizarlos.

Aportes.

- 1- Develar las causas que producen en la subcuenca Gilbert el fenómeno de la erosión, cuya consecuencia es el azolvamiento de la presa homónima.
- 2- Crear las condiciones idóneas para el desarrollo agrícola y forestal fomentando en la comunidad la siembra de árboles frutales de abundante follaje para que sirvan de protección del suelo y cómo fuente económica.
- 3- Medidas para mitigar el fenómeno de la erosión, particularizando el problema respecto a la cuenca Gilbert tomando en cuenta la experiencia internacional y nacional sobre el tema.

Tareas de Investigación.

1. Revisión bibliográfica acerca del fenómeno de la erosión en cuencas.
2. Análisis de las posibles soluciones al problema de la erosión en cuencas. Caso de estudio, Subcuenca Gilbert.

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos propuestos, la presente investigación queda estructurada de la siguiente forma: la **Introducción**, donde se caracteriza la situación problemática y se fundamenta el problema científico

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

a resolver, así como todo el diseño de la investigación; el **Capítulo I: Referido al marco teórico- referencial de la investigación**, donde se dan a conocer los principales problemas que a menudo afectan a las cuencas en cuanto a la pérdida de suelo ,se realiza el análisis bibliográfico para sentar las bases teóricas del trabajo, analizando los principales temas y conceptos planteados por diferentes autores; **Capítulo II: Materiales y métodos**, se da una descripción de la zona objeto de estudio [Subcuenca Gilbert],se hace referencia a los parámetros principales de la cuenca en el **Capítulo III se proponen medidas generales de las posibles soluciones de acuerdo a las características del fenómeno estudiado**.Las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio realizado, las bibliografía consultadas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.

Capítulo1. Marco teórico-referencial de la investigación.

Uno de los principales problemas que a menudo afectan a los embalses es su pérdida de capacidad debido al depósito de sedimento en su interior. Se sabe que, como parte del diseño de embalses, se debe disponer de un volumen para almacenar el azolve, aunque muchas veces es rápidamente rebasado, con la consecuente pérdida de volumen útil en el embalse. Sin embargo, aunque el volumen reservado para azolves no haya sido sobrepasado, la velocidad con que se pierde, hace prever que el embalse perderá capacidad de almacenamiento antes de lo previsto, con la consiguiente disminución de disponibilidad de agua. En algunos casos extremos, el embalse puede ser inutilizado totalmente. Si tomamos en cuenta, que los costos para evitar la erosión de las cuencas son elevados y con resultados a largo plazo y que también lo son los costos de la extracción del material depositado en el vaso de la presa, nos obliga a pensar en soluciones más racionales y económicas como lo es la protección del área de la cuenca tributaria de la erosión excesiva.

1.2Cuenca Hidrográfica.

Una cuenca es un territorio cuyas aguas fluyen todas hacia un mismo río, lago o mar, y a esta clase de cuencas se les llama “cuencas hidrográficas”.

Una cuenca hidrográfica es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

Es decir, es una especie de “embudo” del territorio por el que escurre el agua desde las partes altas, hasta llegar a un punto en común, de donde sale toda el agua que fluye.

Respecto a los límites de una cuenca, estos constituyen lo que se conoce como “parteaguas” o “divisorias de aguas”, es decir, las líneas imaginarias que une las crestas de las elevaciones de terreno por cuyas laderas escurre el agua hacia el cauce principal de salida de la propia cuenca, o hacia su centro, en caso de ser cerrada. Así, en vez de ser un “embudo”, una cuenca cerrada es más bien como una “cuchara”.

Tipos de cuenca hidrográfica

Cuando una cuenca tiene una o más salidas de agua hacia un caudal mayor o hacia un lago o hacia el mar, se dice que es “abierta” o “exorreica”.

Si no tiene ninguna salida, se califica de “cerrada” o “endorreica” y por lo general da origen a un lago, si la impermeabilidad del suelo se lo permite. Por ejemplo, la cuenca del valle de México y el lago de Pátzcuaro, en Michoacán, son de esta clase.

También existen las cuencas llamadas “criptorreicas”, que fluyen subterráneamente, como sucede en la península de Yucatán, cuyos suelos con cal permiten una infiltración casi inmediata de la lluvia y la formación de corrientes subterráneas.

Las cuencas arreicas son aquellas en que las aguas se evaporan o filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos y riachuelos son de este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia.

Dentro de una cuenca puede haber una o más subcuencas, y varias microcuencas, cuyas salidas secundarias llegan finalmente al cauce principal de salida, o a un punto determinado de la misma.

Se considera que una cuenca abarca un territorio mayor a 50 000 hectáreas, mientras que una subcuenca, entre 5 000 y 50 000, y una microcuenca menos de 5 000 hectáreas.

Asimismo, la cuenca hidrográfica se compone de tres partes: alta, media y baja. La cuenca alta corresponde a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por los parteaguas o las divisorias de aguas. La cuenca media es donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en la que el río principal mantiene un cauce definido. En la cuenca baja el río desemboca a ríos mayores o en estuarios o humedales. (IMTA, 2019)

1.2 Erosión.

La erosión es el desgaste, disminución y deterioro de la superficie de la tierra por factores de actividades humanas y agentes como el agua, el hielo, vientos,

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

cambios térmicos y otros cuerpos hidrológicos. Además, está conformada por estos factores como las rocas, el suelo, el agua y el viento que impactan sobre la tierra.

Ésta es causada principalmente por el hombre y sus actividades insostenibles con los recursos naturales, el relieve, fragmentos de rocas, el viento, el agua y los problemas ambientales como la deforestación, incendios forestales, la contaminación ambiental, los residuos sólidos, la minería ilegal, la agricultura convencional, fenómenos naturales, calentamiento global y cambio climático. (www.encolombia.com; 2018)

1.3 Erosión en cuencas

La erosión en cuencas es causada principalmente por las lluvias y los escurrimientos. Dicha erosión reduce la productividad de las zonas de cultivo y produce pérdidas de suelo, el cual es para fines prácticos, un recurso no renovable. Por otro lado, el sedimento producido degrada la calidad del agua y es un buen medio de transporte de contaminantes químicos. Esto sin olvidar que anualmente es necesario dedicar grandes recursos económicos al desazolve de canales, ríos, embalses, estuarios, puertos, etc.

Es paradójico que el suelo se pierde en las cuencas, siendo el más útil para la silvicultura o la agricultura, sea también el que causa los problemas de pérdida de capacidad en los vasos. (UNAM, 2018)

1.4 El fenómeno de la erosión del suelo

Puede considerarse que la pérdida de suelo en cuencas ocurre en tres fases principales: remoción de las partículas del suelo, transporte, y depósito del material sólido (sedimento). El sedimento viaja de las partes más altas de las cuencas hacia las más bajas. En algunos casos el material sólido llega hasta los océanos, o bien se deposita en zonas interiores de la cuenca, o en embalses. (UNAM, 2018)

1.5 Tipos de erosión hídrica

Bajo esta nomenclatura se incluyen tanto los procesos debidos a la erosión por salpicadura, la laminar, en cárcavas y en surcos, como diversos tipos de movimientos de masas como corrimientos de tierras, corrientes de fango y solifluxión. (Marqués, 2006)

1.5.1 Erosión por salpicadura

La **erosión por salpicadura** es la que tiene lugar como consecuencia del impacto de la gota de lluvia sobre el terreno. Estos impactos compactan la superficie del suelo, rompen los agregados haciendo saltar las partículas, dejándolas expuestas y listas para ser arrastradas por el agua a la vez que sellan la superficie reduciendo la infiltración y aumentando el flujo superficial. Este tipo de erosión hídrica precede y condiciona a las demás, y su repercusión puede llegar a ser enorme, ya que, al romper los agregados estructurales del suelo, elimina la principal resistencia que presenta el suelo a la erosión.

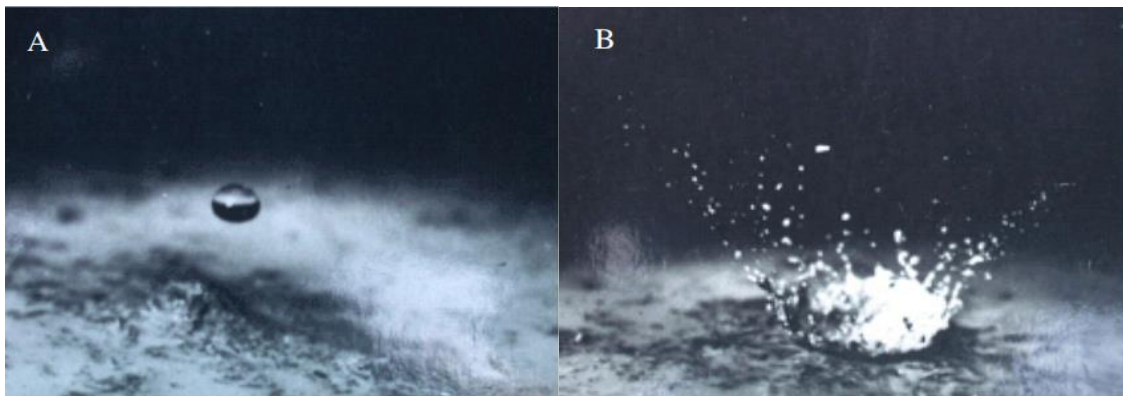


Foto 1: (A) Momento previo al impacto de la gota de lluvia sobre un suelo desnudo. (B) Formación de un cráter por el impacto. Cuando la intensidad de la lluvia es muy alta, pueden llegar a formarse gotas de hasta 6 mm de diámetro que impactan contra el suelo a velocidades de hasta 32 Km. por hora. (Fotos: USDA).

Dos terceras partes de la energía de la gota de lluvia se consumen en la formación de un cráter de impacto (Foto 11) y en el movimiento de las partículas del suelo (**Foto 2**). Este impacto de la gota es más efectivo cuando el suelo se halla cubierto por una lámina delgada, y la máxima dispersión de las partículas del suelo se presenta cuando el espesor de la lámina es del mismo

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

orden que el diámetro de la gota.

El tamaño de las gotas de lluvia aumenta conforme lo hace la intensidad, alcanzándose la mayor proporción de gotas grandes (>4 mm) para intensidades comprendidas entre 50 y 100 mm/h. Las gotas superiores a los 5,5-6 mm son inestables debido a la turbulencia del aire, por lo que se rompen. Sin embargo, para intensidades superiores a los 200 mm/h, ocurre nuevamente la coalescencia de las gotas pequeñas, por lo que la proporción de gotas grandes vuelve a aumentar. Sin embargo, se han realizado diversos estudios que han puesto de manifiesto que el tamaño de la gota deja de aumentar para intensidades superiores a los 76,2 mm/h.

Así pues, se puede decir que la energía cinética de la lluvia depende de la distribución de los tamaños de las gotas, de la velocidad terminal de las mismas y de la intensidad. Por el contrario, la cobertura vegetal que ofrece la vegetación natural o la otorgada por el cultivo (caso de un suelo agrícola), al interceptar las gotas de agua, neutraliza la energía cinética de la lluvia y altera el tamaño de las gotas. En este sentido, determinados cultivos agrícolas (vid, girasol, hortícolas, etc.) y los barbechos, dejan el suelo muy desguarnecido y, en consecuencia, especialmente sensible a la erosión. Otro tanto cabría decir de aquellos suelos que han sido retirados de la producción (tierras abandonadas) y, como consecuencia, carecerá de la gran protección que le otorgaría el cultivo de cereal.

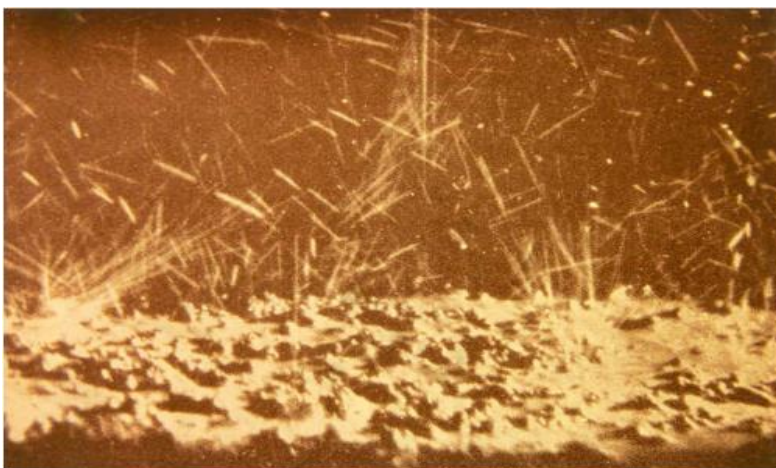


Foto 2: Como consecuencia del impacto de la gota de lluvia, los agregados del suelo estallan y las partículas salen disparadas, pudiendo alcanzar hasta

distancias de 1 m. (Foto: USDA)

Asimismo, al hablar de la incidencia de la agricultura sobre la erosión, es preciso distinguir dos etapas del cultivo claramente diferentes y de

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

repercusiones muy distintas. Estas etapas se corresponden al suelo desnudo y al suelo cubierto por el cultivo. El grado de cobertura variará con el cultivo de que se trate. En el caso de un cereal (p.ej.), tres meses después de la siembra llega a ser casi del 90-100%, por lo que la erosión que acontezca a partir de ese momento será leve y, en la mayoría de los casos, despreciable. Sin embargo, mientras que el suelo esté recién labrado y, por tanto, desnudo, es un momento crítico ya que en esas circunstancias el suelo es muy vulnerable a los procesos erosivos.

En consecuencia, podemos afirmar que toda práctica que pueda reducir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, que reduzca el caudal de agua circulante o que mejore la resistencia del suelo a la erosión, como una mejora de la estructura propia del mismo, disminuirá las pérdidas erosivas. En este sentido, la presencia de residuos de las cosechas precedentes sin enterrar, constituirán una de las principales estrategias de conservación de los suelos agrícolas. La erosión por salpicadura produce un desplazamiento de las partículas del suelo en forma de dientes de sierra. Sin embargo, puede despreciarse como agente importante de transporte. (Marqués, 2006)

1.5.2 Erosión entre regueros

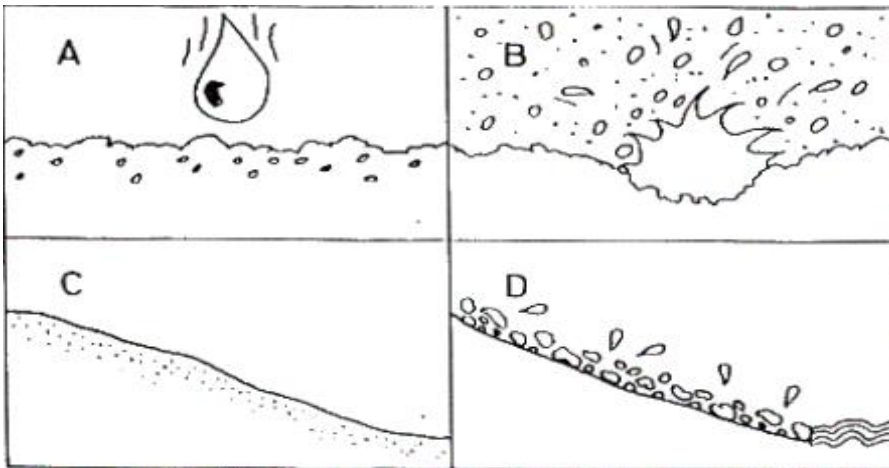


Figura 1: Etapas de la erosión hídrica: Por el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A), sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas (B), que tapan los poros una selladura superficial (C), provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre carga

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (D). (Derpsch et al., 1991)

En la **erosión entre regueros**, tradicionalmente más conocida como erosión laminar, se ha venido afirmando con frecuencia que el agua circula a lo largo de la pendiente como una lámina, erosionando el suelo por capas sucesivas. Nada más lejos de la realidad. En realidad, el flujo raramente, o nunca, está en forma de lámina continua sobre la superficie, sino que se presenta a modo de oleadas o como un flujo subdividido detenido por pequeños obstáculos y cambiando constante-mente de dirección, que unas veces actúa con más intensidad sobre una zona y otras sobre otra. En conjunto, la consecuencia es un rebaje más o menos homogéneo de toda la superficie del suelo.

En este tipo de erosión hídrica se pierden principalmente las partículas finas, lo que ocasiona una pérdida de elementos nutritivos y disminución de la capacidad de retención de la humedad del horizonte superficial.

El material arrastrado puede avanzar en suspensión o como carga de fondo. Además, una pequeña cantidad de limo y arcilla en suspensión amortigua la formación de remolinos, reduciendo la tendencia hacia un flujo turbulento.

En ocasiones, suelos con horizontes superficiales muy permeables, presentan escorrentía muy rápidamente. Ello sucede cuando tiene lugar una reducción drástica de la infiltración como consecuencia de un cambio brusco en la distribución del tamaño de los poros, el cual generalmente viene condicionado por una textura mucho más fina. Por el contrario, la actividad de las lombrices al generar macroporos tiende a aumentar la permeabilidad. Esta actividad es tan determinante que actualmente se utiliza como criterio para basar en ella un índice de calidad del suelo. En las primeras fases de la erosión laminar, durante las cuales el desgaste del suelo es paulatino, la superficie del suelo no se modifica mucho; después se observan cambios en el color del suelo (afloramientos de horizontes subsuperficiales e, incluso en ocasiones, del material parental) así como una concentración importante de gravas y guijarros en superficie. En este momento es cuando el dicho polaco “cuando el suelo muere, nacen las piedras” se convierte en una realidad.

Este tipo de erosión se ve especialmente favorecida cuando al terreno se le han dado varias labores (pases cruzados de grada después de alzar

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

conducentes a romper los terrones y dejarlo lo más llano posible), ya que dejan el terreno con abundantes partículas finas que al ser arrastradas recubrirán las cavidades que presenta el terreno en superficie, disminuyendo la permeabilidad y aumentando en consecuencia la escorrentía responsable de este tipo de erosión. En este sentido, una labor burda que deje grandes terrones en superficie es más beneficiosa, ya que aumenta la rugosidad del terreno frenando más eficazmente el agua y reteniendo parte de la misma en las cavidades que se forman dando tiempo a que se infiltre. Vemos pues, como la rugosidad del terreno puede jugar un papel importante. Cuando las partículas individuales del suelo se unen formando entidades de tamaño superior (agregados del suelo) se comportan de cara a la escorrentía como si de una partícula grande se tratara. En consecuencia, la velocidad que ha de tener el agua de escorrentía para ser capaz de arrastrar el agregado ha de ser muy superior que la necesaria para transportar a las partículas individuales que lo componen. Conforme el agregado es de mayor tamaño (macro agregados) se incrementa la energía necesaria para desplazarlos. Además, los agregados al presentar una superficie irregular, presentan un alto rozamiento con el resto de los agregados del suelo, lo que dificulta aún más su transporte. Por tanto, la estructura edáfica se revela como un factor decisivo que incidirá notoriamente en los procesos erosivos, disminuyendo su acción cuanto más estable y fuerte sea esta estructura.

Así, los suelos con una alta proporción de agregados de tamaño $<0,5$ mm (micro agregados) son muy susceptibles a la erosión laminar. Por tanto, la *erosionabilidad*² del suelo se halla más relacionada con la estabilidad de los agregados que con su composición o textura.

Muchos de los agregados son demasiado grandes para ser eliminados por escorrentías de baja velocidad. Por otro lado, la densidad y forma de estos agregados es tan importante o más que su tamaño. Un suelo que presente en su horizonte A una proporción elevada de agregados grandes y estables al agua, presentará, asimismo, no solo una gran resistencia a la erosión sino también una mayor infiltración, lo que se traducirá en una menor tasa de agua de escorrentía.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Previa a esta erosión entre regueros, ha tenido lugar una erosión por salpicadura durante la cual se han generado partículas individualizadas como consecuencia directa de la rotura por estallido de agregados del suelo. Cuando el agua empieza a circular por la superficie del suelo, arrastra las partículas individualizadas. Si estas son coloides de arcilla o presentan el tamaño del limo, irán principalmente en suspensión. Pero aquellas que presenten unos diámetros mayores irán como carga de fondo, arrastrándose por la superficie del terreno. En este desplazamiento, las partículas que vayan como carga de fondo irán "cayendo" en las pequeñas cavidades del terreno, rellenándolas y taponándolas. Así, una primera consecuencia de una erosión por salpicadura combinada con otra de tipo laminar, es el sellado del suelo, con formación de costra de "salas" acompañada de una fuerte disminución de la permeabilidad y provocando, consecuentemente, un gran aumento de la escorrentía.

Estas costras a menudo se componen de dos partes: una capa superior muy delgada ($<0,1$ mm) a modo de estrato no poroso, y otra inferior de partículas finas, que puede llegar a alcanzar los 5 mm de espesor, pero que presenta una densidad superior, que, si bien es inferior a la de la capa superior, es mayor que la del resto del horizonte superficial.

Poca atención se ha venido prestando a este tipo de erosión entre regueros, y sin embargo el daño que puede acarrear en suelos abandonados es grande. El motivo de ello radica en la "invisibilidad" de la, ya que nos damos cuenta cuando ya ha actuado, es decir, cuando apreciamos sobre el terreno los afloramientos rocosos o un mayor porcentaje de gravas o una coloración diferente, por citar algunos ejemplos. Es decir, cuando ya el suelo se ha perdido.

Asimismo, está también demostrado que el cultivo tiene un papel decisivo sobre el aumento de la infiltración (Bienes, 1996a y 1996b). Las escorrentías y las tasas de pérdida de suelo en lugares con buenos pastizales son pequeñas, no representando por lo general más del 5% de de la correspondiente a un suelo desnudo.

En la mayoría de los suelos agrícolas, el laboreo continuado de que han sido objeto durante siglos y responsable de la fuerte disminución del contenido de

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

materia orgánica de los mismos, han conducido a un debilitamiento de estructura edáfica o incluso a una pérdida de la misma. Este deterioro de la estructura del suelo tiene lugar, generalmente, después de la desaparición del humus, y una primera consecuencia es la dispersión de los coloides con la consiguiente disminución de la permeabilidad y aumento de la escorrentía a expensas del agua de infiltración, lo cual facilita el arrastre de las partículas finas por el viento o por las aguas superficiales a lo largo de las pendientes. Por último, tiene lugar la destrucción parcial o total de los horizontes del suelo de forma progresiva.

Esta degradación de la estructura lleva pareja un apelmazamiento, una reducción de la permeabilidad, un aumento de la compactación, una falta de aireación y unas limitaciones al desarrollo radicular, procesos todos ellos relacionados con la reducción de la porosidad del suelo. La consecuencia de esta disminución del espacio ocupado por los poros y, por lo tanto, de una mayor compactación, es el aumento de la escorrentía, lo que se traducirá en una mayor tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica.

Asimismo, está también demostrado que el cultivo tiene un papel decisivo sobre el aumento de la infiltración. Ello es como consecuencia de que al interceptar el flujo superficial de agua disminuye la velocidad de la misma, con lo que da tiempo a que se parte del agua que se iba a perder por escorrentía pueda infiltrarse.

Los problemas más acuciantes los vamos a encontrar en las regiones áridas y semiáridas. En estas zonas se dan simultáneamente una baja cobertura del suelo por la vegetación y un incremento de la torrencialidad de las lluvias. Respecto a la cubierta vegetal, a menudo se halla por debajo del 20 o 30%, con lo que su eficacia para combatir la erosión es muy reducida. Respecto a la torrencialidad de las lluvias, cuando la intensidad de estas es elevada, el suelo no puede infiltrar mucha agua, ya que la intensidad supera a la permeabilidad del suelo. En estas regiones semiáridas y áridas, en donde ya de por sí la pluviometría total es escasa, si tenemos en cuenta que una fracción importante de la misma se va a perder como consecuencia de las altas que se registran y otra fracción importante por efecto de la evapotranspiración, el resultado final

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

de cara al desarrollo de la vegetación es el equivalente a un clima más árido todavía.

Para precipitaciones de intensidad media o baja, las tasas de erosión están más estrechamente relacionadas con el porcentaje de suelo desnudo que con la esorrentía. Sin embargo, cuando la precipitación presenta una intensidad alta, la pérdida de suelo se halla correlacionada con la intensidad de la lluvia. (Marqués, 2006)

1.5.3 Erosión en regueros o surcos

En los campos de labor, aún con pendientes leves inferiores al 6%, las intensidades de lluvia altas generan surcos, siendo estos mucho más frecuentes cuando el terreno está desprovisto de vegetación. Este tipo de erosión basada en la formación de estos regueros normalmente está precedido por otra de tipo laminar. La formación de los regueros ocurre cuando el agua no discurre uniformemente por toda la superficie, sino que se concentra en corrientes de una potencia erosiva capaz de abrir pequeñas incisiones en el terreno, que progresivamente aumentan de profundidad. (Marqués, 2006)



Foto 3: *Formación de regueros propiciada por los surcos de labor previos*
(Foto: R. Bienes)

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Pequeños obstáculos tales como piedras, matas aisladas, etc. juegan un papel decisivo en la formación de estos regueros, ya que dividen las corrientes de agua las cuales al rodear al obstáculo entran en colisión provocando un remolino que excava una hendidura.

La rugosidad del terreno, puede potenciar o disminuir esta concentración de agua capaz de generar regueros. En este sentido, las labores que se den a favor de la pendiente son decisivas en la canalización del agua de escorrentía. Una vez que la escorrentía ha sido canalizada, presenta una capacidad de arrastre muy superior que la erosión laminar.

En la **(foto 3)** se observa la influencia que han ejercido los surcos de labor cuando estos se dan en dirección a la máxima pendiente. Estos surcos son cerrados por los agricultores con las labores del año siguiente. Con ello se evita que progresen con las siguientes lluvias dando lugar a la formación de cárcavas. Esto no sucede en terrenos agrícolas abandonados o sobre suelos correspondientes a una zona forestal, en donde una vez formados los regueros estos profundizarán en el terreno y, con el tiempo, evolucionan por abarrancamientos, debido a la intensa erosión lineal, encajándose rápidamente y originando una densa red de drenaje con estrechos y profundos barrancos que progresan y retroceden sus cabeceras después de cada temporal. El perfil del suelo a menudo va a tener una influencia decisiva en el grado de severidad de este tipo de erosión. Un ejemplo serían aquellos suelos que presentaran unos horizontes subsuperficiales compactos y bien estructurados (caso de un argílico bien desarrollado), que al ser menos erosionables que los correspondientes horizontes Ap, constituirán una barrera física para que el reguero progrese en profundidad. Del mismo modo, la presencia de horizontes cementados (Petro cálcicos o petrogípsicos), u horizontes R próximos a la superficie, van a condicionar no sólo la profundidad de los surcos, sino también de las cárcavas.

Las gotas de lluvia al incidir sobre la lámina de agua que discurre sobre la superficie del terreno, presentan una intensa acción dispersante que imparte turbulencia al flujo laminar, por lo que con frecuencia coexisten tanto la erosión entre regueros como en regueros. Esta coexistencia se corresponde con velocidades del agua entre 4 y 30 cm/s. Velocidades inferiores a los 4 cm/s

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

sólo son propias de la erosión laminar. Por el contrario, cuando la velocidad del agua se aproxima a los 30 cm/s o supera este límite, el flujo se hace turbulento y la generación de regueros es intensa.

Se estima que, para arrastrar partículas del suelo de 0,3 mm de diámetro, es necesaria una velocidad del agua de 16 cm/s. Velocidades del orden de 2 cm/s sólo son capaces de arrastrar partículas en suspensión. (Marqués, 2006)

1.5.4 Erosión en cárcavas

La dinámica de las cárcavas es similar a la de los surcos. Se las puede definir como perturbaciones que crecen y se agrandan por retroalimentación hasta que quedan inhibidas bien por la competencia por el espacio bien por un exceso de producción de sedimentos. Desde el punto de vista práctico, cuando los regueros progresan y para cerrarlos no bastan los aperos agrícolas, entonces decimos que estamos ante una cárcava. (Marqués, 2006)



Foto 4: Cárcava individual originada por una fuerte concentración lineal de las aguas de escurrimiento (Marruecos) (Foto: USDA)

Las cárcavas tienen lugar cuando existe una concentración de la esorrentía importante. La progresión de las cárcavas no es continua, sino que el agua circula por ellas de forma intermitente, evolucionando por abarrancamientos.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Debido a la intensa erosión lineal que tiene lugar en estos casos, se encajan rápidamente y pueden originar en ocasiones una densa red de drenaje con estrechos y profundos barrancos que progresan y retroceden sus cabeceras después de cada temporal.

Este tipo de erosión está fuertemente condicionado por la torrencialidad de las lluvias que producen unas tasas altas de escorrentía, y presenta mayor incidencia cuando el material originario es impermeable y de escasa cohesión tales como las arcillas o las margas. Tal es el caso de las zonas áridas del sureste español o del valle del Ebro.

Diversos estudios han llegado a la conclusión de que la pérdida de suelo en los conductos de drenaje (surcos) y en las cárcavas representa aproximadamente el 50% de la erosión total de una cuenca, arrancando volúmenes de suelo por unidad de superficie muy superiores a los que sería capaz la erosión laminar. Sin embargo, la calidad del suelo perdido por esta última es mucho mayor. (Marqués, 2006)

1.5.5 Erosión por flujo subsuperficial o túnel (“Piping”)

La erosión puede ocurrir bajo la superficie del terreno si hay cavidades, grietas en las rocas o el suelo, u otras aperturas suficientemente grandes por las que el agua se infiltre y pueda circular, arrastrando materiales y progresando la galería o túnel. A este tipo de erosión se le denomina erosión subsuperficial, en túnel o “piping”.

Las galerías formadas por roedores (macrofauna) pueden ser el origen de este proceso. Sin embargo, para que este tipo de erosión pueda llegar a tener una incidencia importante, es imprescindible que el agua tenga una salida a través de una pared más o menos vertical. Los taludes de autopistas, carreteras y ferrocarriles, pueden propiciar el proceso de “piping”. Sin embargo, es mucho más frecuente que éste tenga lugar en las terrazas y bancales, especialmente cuando estos han sido abandonados.

El final de este proceso es el hundimiento de las galerías, apareciendo en superficie una enorme incisión que se asemeja a una cárcava.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Esta formación de galerías también puede desarrollarse en suelos con arcillas expandibles, así como en aquellos en los que la inestabilidad estructural sea grande, en donde el flujo discurriría a favor de discontinuidades preexistentes o condicionados por un horizonte de mucha menor permeabilidad. (Marqués, 2006)



Foto 5: (A) Pozos formados por derrumbes parciales y (B) derrumbe generalizado de la galería. Mula (Murcia, España). (Foto: P. García-Estríngana)

1.5.6 Movimientos en masa

En ocasiones, la cantidad de terreno que puede desplazarse como consecuencia de unas precipitaciones, es muy grande. En estos casos hablamos de movimientos en masa. Estos movimientos en masa pueden ser de dos tipos: coladas de barro y deslizamientos del terreno. Las primeras se producen cuando el horizonte superficial se halla a saturación y está desprovisto de vegetación o no presenta la suficiente cohesión. Los segundos tienen su origen en la presencia de una capa impermeable en profundidad, sobre la que se detiene el agua que percola estableciéndose en este nivel un plano sobresaturado. Los materiales situados por encima de este plano pueden deslizarse en bloque. (Marqués, 2006)



Foto 6: (A) Cicatrices y movimientos de masa en laderas fuertemente inclinadas (Colombia) (Foto: USDA y (B) colada de barro (Cuenca) (Foto: R. Bienes)

1.5.7 Erosión biológica por bioturbación

En ocasiones, la actividad de los seres vivos ocasiona una alteración del medio más o menos acusada. Esta alteración es lo que conocemos como bioturbación y puede ser de muy diversa índole. De esta forma, los seres vivos colaboran en la modificación del paisaje, en ocasiones de forma lenta y casi imperceptible y en otras, de forma rápida y violenta.

Así, las plantas superiores ejercen una intensa labor de excavación mecánica del suelo, siendo capaces de atravesar sustratos de rocas blandas e incluso, romper otras más duras.

Menos visible es el trabajo de otros vegetales y organismos como los líquenes, no por ello menos importante, hasta el punto que se les considera los verdaderos indicadores o pioneros de la formación de los suelos.

En otras ocasiones se trata de pequeños invertebrados, como los gusanos, que airean el terreno y permiten la entrada del agua. También hay algunos microorganismos capaces de segregar sustancias que capaces de atacar químicamente las rocas.

Esta labor que llevan a cabo los animales es complementaria de la que realizan otros agentes erosivos en las etapas primarias del proceso de meteorización. Sin embargo, tiene una especialísima importancia en los primeros estadios de la formación del suelo.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Cuando esta actividad biológica acarrea una remoción superficial del terreno, puede inducir erosión. Es entonces cuando hablamos de una erosión biológica. Este es el caso de algunos animales superiores que pueden excavar y erosionar de muy distintas maneras al construir sus nidos o madrigueras, o bien simplemente debido al paso de grandes manadas que sistemáticamente utilizan las mismas sendas.

Asimismo, es importante destacar el control que los herbívoros ejercen sobre la población vegetal de la que se alimentan. Cuando esta acción es especialmente intensa, impidiendo o dificultando el establecimiento de una buena cobertura vegetal eficaz para controlar la erosión, pueden ser los responsables de una reactivación de los procesos erosivos. (Marqués, 2006)

1.6 Los principales factores que influyen en la pérdida de suelo, son los siguientes:

1.6.1 Hidrología. La lluvia y el escurrimiento proporciona la energía básica en el proceso de erosión. Mientras la primera rompe la estructura del suelo, el segundo erosiona y acarrear material sólido. (UNAM, 2018)

1.6.2 Topografía. La erosión es función directa de las pendientes y las longitudes recorridas por escurrimiento superficial. Es decir, a mayores pendientes y longitudes mayor erosión y viceversa. (UNAM, 2018)

1.6.3 Erosionabilidad del suelo. Por su naturaleza, algunos suelos son más susceptibles que otros a disgregarse y a ser transportados. La granulometría y la presencia de materia orgánica influyen en la resistencia a la disgregación y en el transporte. Las primeras partículas que se mueven son la más finas, y luego, conforme aumenta la energía del escurrimiento, y se forman los canalillos y las cárcavas, se mueven las partículas más grandes. (UNAM, 2018)

1.6.4 Cobertura vegetal. Este es uno de los factores más importante en erosión de los suelos pues condiciona de manera determinante el aporte de sedimento. Además de la vegetación activa que cubre el suelo, se incluyen los residuos de plantas muertas o coberturas de otro tipo empleadas para protección.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Las raíces de las plantas y, en especial, los sistemas radiculares de los pastos y árboles, mantienen el suelo en su sitio e incrementan la infiltración. Un sistema reticular bien establecidos de pastos puede reducir la erosión en un 75%. (UNAM, 2018)

1.6.5 Prácticas de cultivo y de conservación de suelos. Cuando se ha cambiado la vegetación natural del suelo, y éste se usa para labores agrícolas, la erosión del suelo se acelera. Sin embargo, en la medida en que se realizan adecuadamente las labores agrícolas (barbecho, rotación de cultivos, siembra de contorno, etc.), y las prácticas de conservación de suelo (Terrassa, vías vetadas, cultivos en fajas, etc.) Se ve disminuido significativamente el aporte de material sólido.

Conviene hacer notar que el hombre sólo puede influir en los últimos dos factores pues los restantes son característicos de cada sitio en particular. (UNAM, 2018)

1.7 Marco legislativo:

A nivel internacional y nacional se adoptan una serie de medidas y leyes para la conservación y protección de las infraestructuras hidráulicas y todas las áreas que tributan a ellas, como es el caso de las cuencas. En la vigente constitución de la república de Cuba se formula la ley número 124 de las aguas terrestres, que plantea lo siguiente:

LEY No. 124 DE LAS AGUAS TERRESTRES

ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR

TÍTULO V

DEL PATRIMONIO HIDRÁULICO

CAPÍTULO IV

DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

SECCIÓN SEGUNDA

De la protección, seguridad y conservación de la infraestructura hidráulica

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

ARTÍCULO 32. La protección y seguridad de la infraestructura hidráulica comprende:

a) La preservación de su integridad estructural y la prevención de los riesgos del azolvamiento excesivo a causa de la erosión.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS DE LA
INVESTIGACIÓN.

Capítulo 2 Materiales y métodos de la investigación.

Embalse Gilbert:

2.1 Aspectos Generales

La erosión acelerada de los suelos en las regiones montañosas de la cuenca del río Cauto, está produciendo un severo impacto ecológico. Como ya se ha visto, las consecuencias de la mala gestión de las tierras repercuten fuera del sitio en aspectos físicos como cambios morfológicos del río. En el sitio, el mal manejo de los suelos y la deforestación, con su consecuencia más inmediata, la erosión, ha repercutido en la reducción de la fertilidad de los suelos, y, en el ámbito socioeconómico, en aspectos tales como cambios en los patrones de asentamiento, de vida, de hábitos, y en la emigración de las personas hacia las zonas llanas.

Alteraciones antrópicas importantes en la región de las cabezadas del río Cauto, comenzaron a producirse a finales del siglo XVIII con la deforestación para la plantación del Café (**de la Riva 1975**), la industria forestal, y el pastoreo extensivo a principios del siglo XX, paralelamente, en cada una de estas etapas, se implantó la agricultura de subsistencia cuya intensidad y extensión fue creciente con el transcurrir del tiempo, debido al efecto combinado e interrelacionado de crecimiento poblacional y escasez de alimentos. Los asentamientos crecieron en las regiones montañosas a partir de la década de los años 60, y también el desarrollo acelerado de infraestructuras hidráulicas y vial, con un efecto adicional sobre la erosión de los suelos.

Dentro de la cuenca hidrográfica del Cauto, la cuenca Gilbert es una de las regiones más remotas y elevadas, con las mayores pendientes. Debido a su ubicación remota y de difícil acceso, ella ha estado menos expuesta a recibir el impacto de la actividad humana, que otras regiones dentro de la misma cuenca hidrográfica. Sin embargo, sus características particulares de mayor elevación, fuertes pendientes, extremas precipitaciones y temperaturas, la ha hecho muy vulnerable a la acción humana.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Uno de los resultados importantes de esta investigación es la presentación de un modelo conceptual de la afectación del ciclo ecológico en los pasados dos siglos en la microcuenca Gilbert en la región de las cabezadas del río Cauto, ya que como alguien acertadamente expresara “antes de abrir las puertas del futuro hay que encontrar las llaves del pasado”.

Se realiza un estudio integral de la línea base en esta región. El análisis ambiental realizado en el área de estudio constituye el pilar fundamental de la estructura de un modelo de erosión de los suelos que tiene en cuenta el desarrollo histórico y estado actual de aspectos físicos y socioeconómicos dentro y fuera del sitio y que constituye el concepto generalizador a partir del cual se apoyen todas las gestiones ambientales que se realicen en la cuenca para un desarrollo sostenible. Dicho modelo no solo está constituido por mapas digitales que permiten modificaciones y operaciones para obtener nuevos resultados, sino también por una información descriptiva de los aspectos relacionados con la erosión, sobre la base de una profunda investigación científica.

En el estudio integral de la totalidad de la cuenca del río Cauto, es de vital necesidad que el funcionamiento de la cuenca alta, tanto en los aspectos físicos como bioquímicos sea el más adecuado, ya que todas las anomalías que ocurran en ella necesariamente se reflejan en el total de las partes que abarca la cuenca en cuestión. Su mejor conocimiento y funcionamiento son condiciones para la preservación del medio ambiente en este escenario geográfico de tanto significado socioeconómico para el país. (Marqués, 2006)

2.2 Área de estudio

El área seleccionada para el estudio del fenómeno de la erosión, y su implicación en otros aspectos ambientales, es la microcuenca Gilbert en la zona del nacimiento del río, la cual tiene un área de 144 km², y está localizada en la vertiente norte de la Sierra Maestra. Limita al norte con la cuenca del río Caney, al sur por el parte agua de la Sierra Maestra, al este con la microcuenca del río Cañas, y al oeste con la cuenca del río Contramaestres.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

El área que ocupa la cuenca Gilbert, pertenece a la pendiente septentrional del anticlinorio Sierra Maestra, formado por un sistema de placas complejamente plegado y fallado, expresado en el relieve como formas denudativo-erosivas y denudativo acumulativas jóvenes, donde afloran rocas vulcanógenas y vulcanógeno – sedimentarias (basalto, andesitas, lutitas, etc.) (Santos (1986a).

El relieve es de montaña con pendientes muy pronunciadas, y alomado. La frontera que divide estos dos tipos de relieve la podemos ubicar en la carretera que cruza la cuenca por su centro de gravedad en dirección aproximada este-oeste; hacia Hongolosongo, por el este, y al actual municipio Tercer Frente, por el oeste. Este límite también coincide con el límite norte de la Sierra Maestra. Dentro del relieve de montaña quedarían entonces las Microcuencas del río Marianao, La Cubana, Palenque, y la cuenca del río principal hasta el poblado La Colorada (**fig. 2.2**). En la misma figura se puede observar, a modo de fotografía, parte de la frontera entre la zona montañosa y premontañosa, en el valle donde se encuentra asentada la comunidad La Colorada y El Pilón. Se destaca en recuadro amarillo el lugar donde fue tirada la fotografía, y con las líneas rojas, el ángulo y dirección aproximado de la misma. (Marqués, 2006)

2.4 Hidrología

Observando la forma de la red hidrográfica del área de estudio, se puede apreciar que la cuenca está muy diseccionada por una red fluvial bien desarrollada.

Way, 1978 (citado por Milán 2004) clasifica las cuencas hidrográficas asociando su forma a los procesos ambientales que la condicionan. Las estructuras de las rocas tales como fallas, fracturas, y sistema de unión, han sido erosionadas por las corrientes de agua para formar la actual textura que presenta el sistema de drenaje de la cuenca, clasificándose la misma como de drenaje dendrítico en su variante de drenaje angulado. Agua arriba son comunes las curvas fuertes formando ángulos grandes, ya que los tributarios suelen estar controlados por la consistencia y estructura de las rocas.

La densidad de drenaje, relación entre la longitud total de ríos y arroyos (o canales naturales de drenaje) y el área de la cuenca, es de 1.76 km/km². La misma fue determinada para cada microcuenca de los tributarios principales

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

(tabla 2), tomando como base un mapa cartográfico de edición 1985, a escala 1:25 000. 77

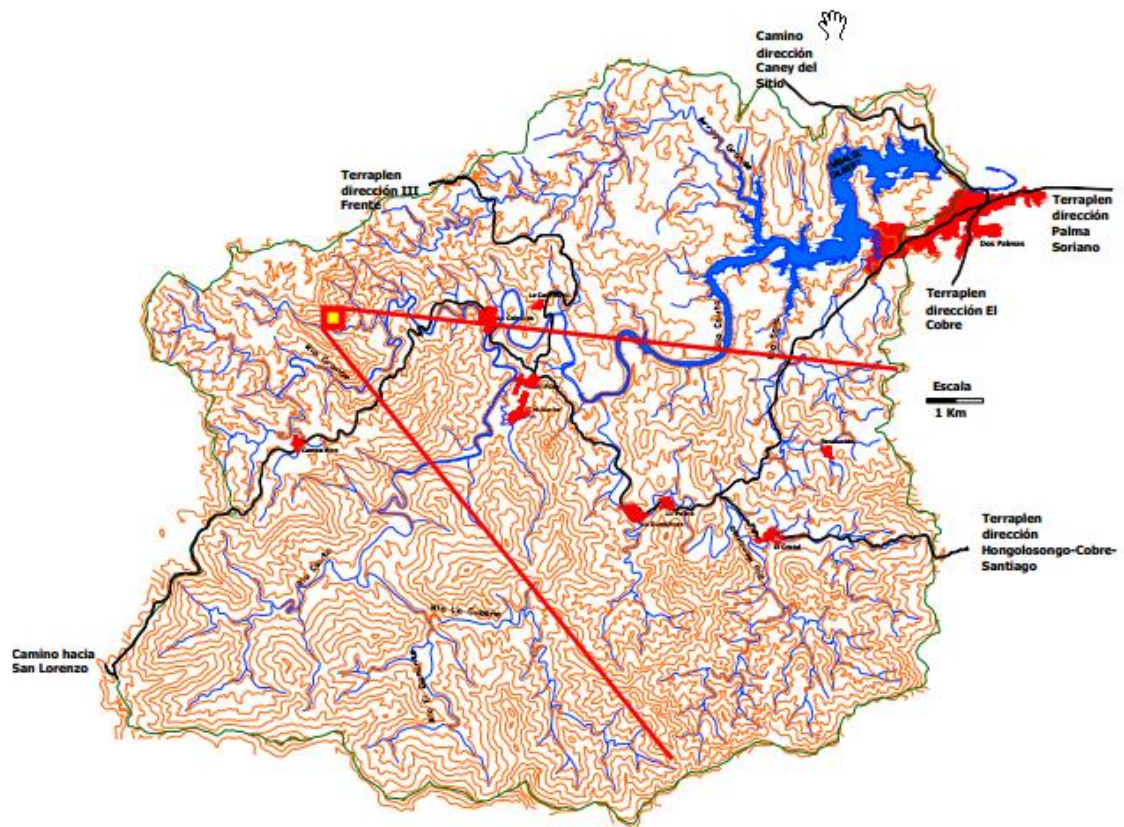


Figura 5. Relieve de la microcuenca Gilbert



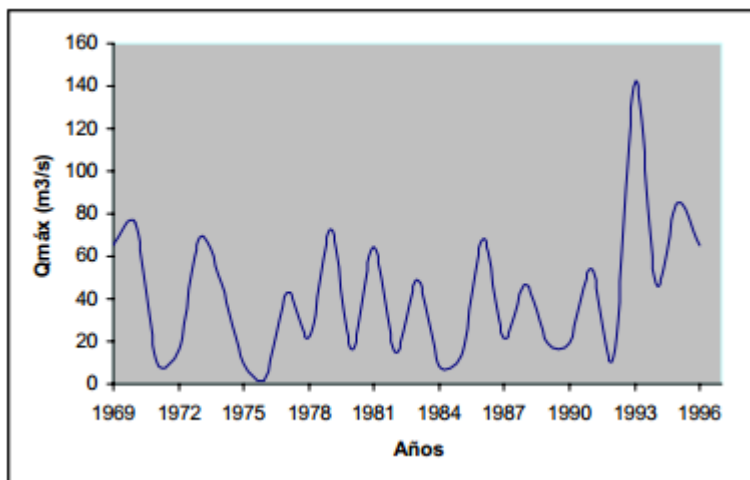
Foto 7. Relieve de la microcuenca Gilbert

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

La alta densidad de drenaje de la cuenca, su litología geológica conformada por rocas duras, las fuertes pendientes, la pobre cobertura de vegetación, y las abundantes precipitaciones con promedios hiperanuales por encima de los 1400 mm, está asociado a un predominio del escurrimiento superficial y a grandes avenidas, cortos tiempos de concentración, descargas bases (o de estiaje) relativamente bajas, altos rangos de erosión laminar y de producción de sedimentos, y relativa baja aptitud de las tierras para el desarrollo agrícola. (Marqués, 2006)

Tabla 2. Densidad de drenaje del área de estudio.

Nombre Microcuenca(ríos)	Área Cuenca (km ²)	Longitud ríos (km)	Densidad de drenaje(km/km ²)
La cubana	19,80	28,00	1,41
Marianao	29,97	60,17	2,01
Palenque	17,66	37,87	2,14
Arroyo Grande	17,18	40,31	2,35
Solís	9,18	20,70	2,25
Principal (Cauto)	38,12	53,24	1,40
Total	144,49	254,50	1,76



Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Figura 6. Valores máximos de descargas, medidas en la estación hidrométrica Las Coloradas (1969-1996) (Fuente: Datos de archivo de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico en Santiago de Cuba).

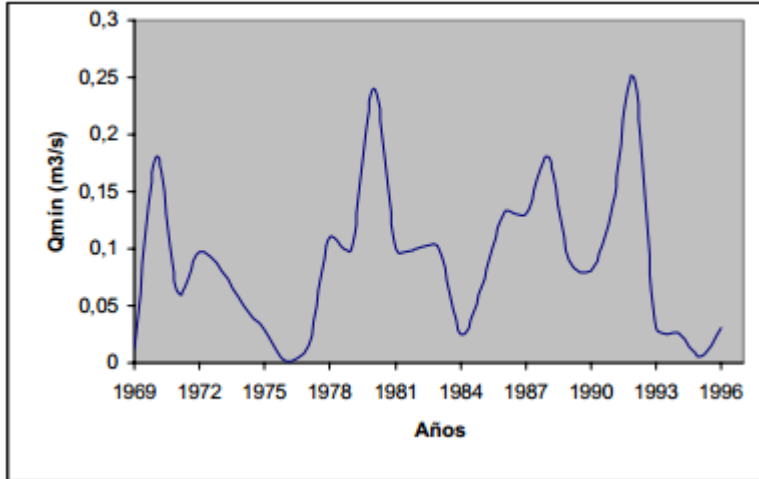


Figura 7. Valores mínimos absolutos de descargas, medidas en la estación hidrométrica Las Coloradas (1969-1996) (Fuente: Datos de archivo de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico en Santiago de Cuba).

Las características del régimen hidrológico se pueden conocer por la presencia de una red de estaciones de observación con series promedios que exceden los 30 años. Esta red se muestra esquemáticamente en la **fig. 8**, y en la **tabla 3** se presentan otros datos de interés. En la **fig. 8** se ha destacado en rojo las estaciones de observación hidrológica que no tienen serie de observación continua o que están fuera de funcionamiento

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

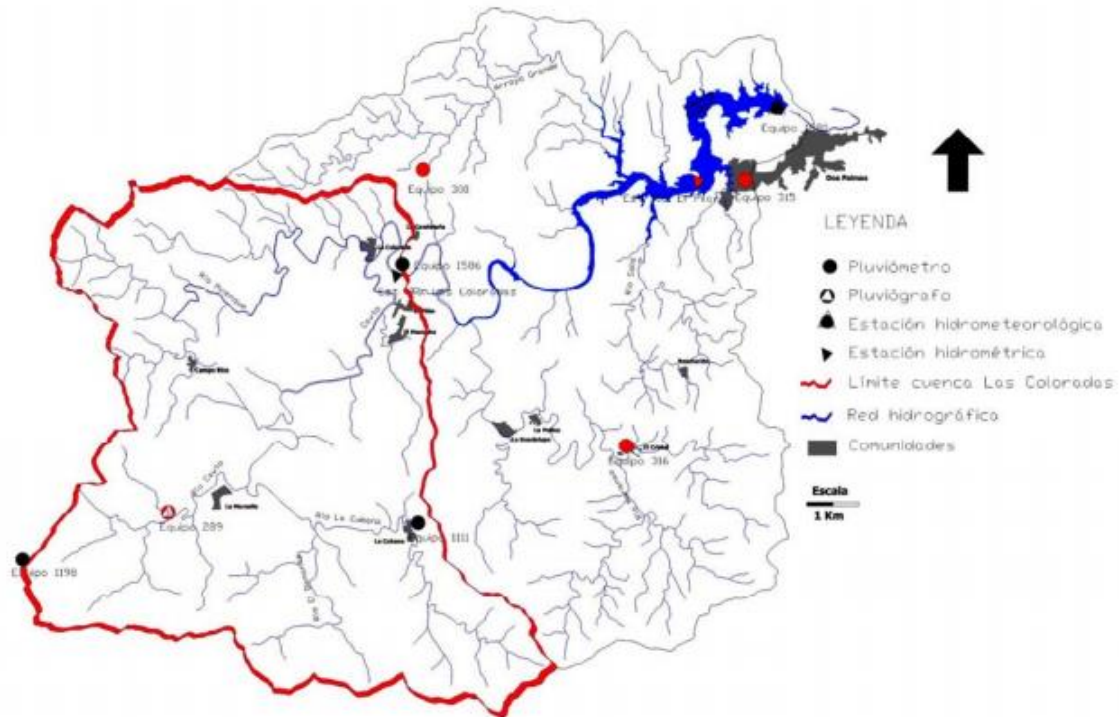


Figura 8. Red de estaciones de observación hidrológica en la cuenca Gilbert.

La estación hidrométrica “Las Coloradas” en el río Cauto, aproximadamente a 16 km desde su nacimiento, mide las descargas de agua y sedimento de la cuenca Las Coloradas cuya área es de 65,5 km². que incluye las microcuencas del río La Cubana, Río Palenque, la cuenca del nacimiento del río hasta la comunidad La Marsella, y parte de la cuenca del río principal. Esta estación ha provisto datos desde el año 1969 hasta la fecha.

Tabla 3. Estaciones hidrométricas y pluviométricas en el área de estudio.

Estación	Coordenadas	Años de servicio
Las Coloradas	161 000N; 571 800E	1969- Fecha
El Pilar	162 800N; 577 600E	1962-1966 (Eliminada)
Estaciones Pluviométricas		
289	156 700N; 568 000E	1960-1995 (Eliminada)
300	162 300N; 572 700E	1961 -1995 (Eliminada)
315	162 800N; 577 500E	1961 -1995 (Eliminada)
316	156 200N; 576 600E	1979-1995 (Eliminada)

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

1111	152 800N; 572 700E	Funcionando desde año 1962
1580	164 200N; 579 000E	Funcionando desde año 1968
1586	161 000N; 571 800E	161 000N; 571 800E
1198	155 500N; 564 500E	Funcionando desde año 1964

La primera estación hidrométrica ubicada en esta parte alta de la cuenca fue El Pilar. La misma fue construida para obtener los datos de escurrimientos necesarios para el diseño de la presa Gilbert, la misma quedó sumergida en el vaso del embalse.

2.5 Suelos

Para conocer las características de los suelos presentes en el área de estudio, se usa como información básica el mapa de propiedades de suelos, aportado por el Departamento de Suelos de la Delegación Provincial del MINAGRIC en Santiago de Cuba, el cual fue obtenido como resultado de un riguroso trabajo de campo llevado a cabo en la década de los años 80 por el Instituto Nacional de Suelos. Estos estudios dieron como resultado mapas genéticos a escala 1: 25 000, los cuales fueron actualizados posteriormente a la luz de nuevos conceptos desarrollados en la pedología internacional. Para la caracterización se utilizó la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba.

En este mapa los suelos están separados por fronteras definidas de acuerdo al tipo, subtipo, género, saturación, profundidad edafológica, humificación, erosión, textura, contenido de piedras, profundidad efectiva, pendiente, y altitud. Estos distintos temas pueden ser analizados en los mapas digitales creados por esta investigación.

A manera de ejemplo, en la **(fig. 6)** se ha representado con colores la frontera de los 4 tipos de suelos que existen en la región y en líneas verdes las

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

fronteras que dividen las otras características del suelo antes presentadas. Esta clasificación agrupa a los suelos que se han desarrollado en condiciones bioclimáticas similares, evolucionando bajo un mismo proceso de formación principal con un desarrollo análogo y con factores de formación semejantes. En este sentido, predominan los suelos pardos sin carbonatos, le siguen los suelos esqueléticos sobre material ígneo bien drenado, los ferralíticos rojos lixiviados, y por último los aluviales.

Desde el punto de vista textural los suelos que más abundan son los arcillosos y loam arenoso (**fig. 7**), sustentado sobre rocas ígneas ultra básicas. La profundidad edafológica predominante está por debajo de los 20 cm, clasificando como suelos poco profundos, seguidos de los medianamente profundos (20 – 50 cm) (**fig.8**). El contenido de materia orgánica está entre el 2 y 4% (medianamente humificados) (**fig.9**).

La erodibilidad del suelo se define como la susceptibilidad del mismo a los procesos erosivos

(**Sheridan 2000**). Las características físicas de los suelos que más están relacionadas con la erodibilidad son la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica. Dentro de ellas, el parámetro textural es el que tiene mayor peso. Por otro lado, cantidades crecientes de materia orgánica influyen en una menor erodibilidad de los suelos.

Los suelos limosos son los más erosionables, seguidos por la arena muy fina, fina gruesa, y con mayor resistencia las arcillas. La materia orgánica (MO) aumenta la estabilidad de cualquier combinación textural. La estructura, de acuerdo con su conformación, puede resultar fuerte o débil, y según su estado de granulación es fina, gruesa, en bloques subangulares o masiva. La permeabilidad es la propiedad que tienen los suelos de dejarse penetrar por el agua y por el aire con mayor o menor facilidad (**Planas 1993**).

La textura del suelo es la característica más determinante en la erodibilidad, además, por la relación que guarda con las características hídricas del suelo como son: capacidad de retención del agua, disponibilidad de agua para la vegetación, y la permeabilidad. Además, junto con la cobertura vegetal juega

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

un importante rol en la velocidad y volúmenes de escorrentía y por tanto en la erosión, la producción de aguas subterráneas y el caudal base del río.



Figura 6. Tipo de suelo

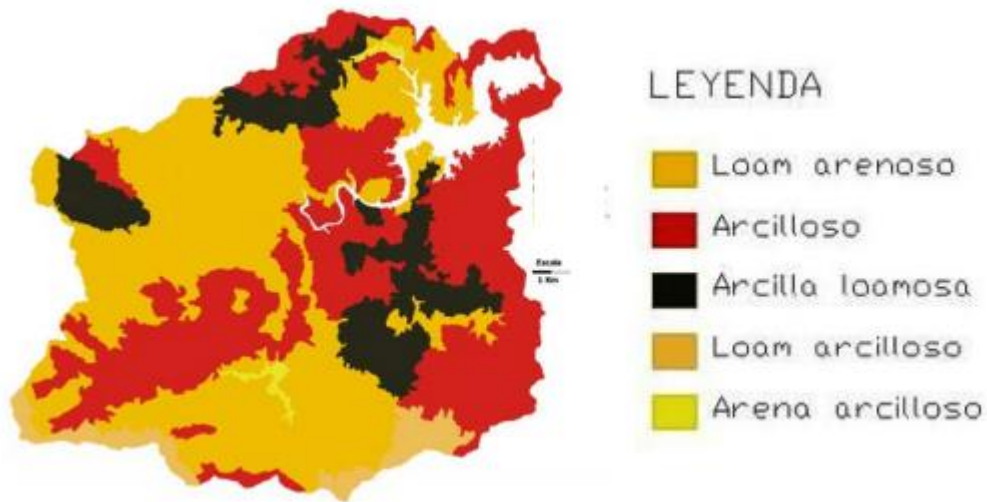


Figura 7. Textura del suelo



Figura 8. Profundidad edáfica



Figura 9. Contenido materia orgánica

2.6 Uso de suelos y vegetación

El renglón económico fundamental de esta zona es, en orden de importancia, el cultivo del café, la industria forestal y la ganadería.

Una parte de las tierras que eran antes usadas para cultivos varios con un fin económico, como viandas y frutos menores, ha ido perdiendo este tipo de uso, hasta que en la actualidad la tierra para estos fines solo se reduce a pequeñas parcelas localizadas cerca de los bateyes de los campesinos, y su fin es la satisfacción de las necesidades propias de la familia.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Existe una gran extensión de área cubiertas por manigua y monte alto secundario ralo como resultado del abandono de las áreas que en años anteriores fueron dedicadas al pastoreo o a otros tipos de uso no sostenibles, como la agricultura nómada de subsistencia. Por el tipo de enraizamiento y cobertura de esta vegetación se ha detenido en algún modo, la erosión hídrica, pero han contribuido poco a la formación de suelos, y no son maderables.

El monte selvático ha desaparecido en esta región. El monte alto secundario es la vegetación que menos predomina, que ha ocupado el dosel superior y que generalmente tiene un sotobosque artificial de plantaciones de café. Estas áreas están consideradas en algunos casos dentro del tipo de uso Café.

En el extremo sur-occidental de la cuenca, en la parte alta de la microcuenca del río Palenque, y en la zona del nacimiento del río, se ha fomentado la reforestación con especie de coníferas (Pino Maestréense)

Arribando a conclusiones se puede decir que la primera acción que se efectúa por parte del hombre al intervenir en las cuencas cabeceras de los ríos es la de deforestación, el principal efecto y más inmediato es el de la erosión de los suelos. Por lo tanto, de todos los ecosistemas frágiles que se desarrollan en estas regiones remotas, es el suelo quien primeramente siente los efectos de la acción del hombre, y es a partir de su manejo que comienza a definirse la sostenibilidad o insostenibilidad de la región.

De todo el análisis anterior podemos afirmar la relación indisoluble que existe entre la sostenibilidad de las cuencas cabeceras de los ríos y la erosión de los suelos, como consecuencia directa y más importante de la mala gestión de las tierras. Por tanto, aunque el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas tiene que ser llevada a cabo desde una perspectiva interdisciplinaria, la erosión de suelos es el concepto generalizador, que sirve de punto de partida y a partir del cual se apoyen todas las gestiones ambientales que se realicen en la cuenca para un desarrollo sostenible. Esto, no solo para el manejo de las cuencas cabeceras, sino también del resto de la cuenca, en sus regiones premontañosas y llanas. (Marqués, 2006)

2.7 Factores que influyen en el proceso de erosión hídrica dentro de la subcuenca Gilbert:

La erosión acelerada de los suelos en las regiones montañosas de la cuenca del río Cauto, está produciendo un severo impacto ecológico. Las consecuencias de la mala gestión de las tierras repercuten fuera del sitio en aspectos físicos como cambios morfológicos del río. En el sitio, el mal manejo de los suelos y la deforestación, con su consecuencia más inmediata, la erosión, ha repercutido en la reducción de la fertilidad de los suelos, y, en el ámbito socioeconómico, en aspectos tales como cambios en los patrones de asentamiento, de vida, de hábitos, y en la emigración de las personas hacia las zonas llanas.

Alteraciones antrópicas importantes en la región de las cabezadas del río Cauto, comenzaron a producirse a finales del siglo XVIII con la deforestación para la plantación del Café, la industria forestal, y el pastoreo extensivo a principios del siglo XX, paralelamente, en cada una de estas etapas, se implantó la agricultura de subsistencia cuya intensidad y extensión fue creciente con el transcurrir del tiempo, debido al efecto combinado e interrelacionado de crecimiento poblacional y escasez de alimentos. Los asentamientos crecieron en las regiones montañosas a partir de la década de los años 60, y también el desarrollo acelerado de infraestructuras hidráulicas y vial, con un efecto adicional sobre la erosión de los suelos.

Dentro de la cuenca hidrográfica del Cauto, la cuenca Gilbert es una de las regiones más remotas y elevadas, con las mayores pendientes. Debido a su ubicación remota y de difícil acceso, ella ha estado menos expuesta a recibir el impacto de la actividad humana, que otras regiones dentro de la misma cuenca hidrográfica. Sin embargo, sus características particulares de mayor elevación, fuertes pendientes, extremas precipitaciones y temperaturas, la ha hecho muy vulnerable a la acción del hombre.

1. La erosión de los suelos, producida como consecuencia de la deforestación y el mal manejo de la agricultura en el espacio y en el tiempo, es la causa

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

principal de la reducción de la fertilidad de los suelos y los cambios negativos producidos en el ámbito socio económico de la cuenca alta del Río Cauto.

2. La cuenca de la presa Gilbert, dentro de la cuenca hidrográfica del río Cauto ha sido la menos expuesta al impacto de la actividad humana, sin embargo, debido a sus características físicas, debe considerarse una de las más vulnerables a las acciones antrópicas.

3. La microcuenca alta del Cauto debe considerarse como una de las más importantes de la cadena de microcuencas que forman el sistema hidrográfico de la cuenca del río Cauto, desde su nacimiento hasta su desembocadura.

4. Existe una gran extensión de área cubiertas por manigua y monte alto secundario ralo no maderable, por el tipo de enraizamiento y cobertura de esta vegetación, la erosión hídrica se ha detenido en cierta medida, pero han contribuido poco a la formación de suelos. El monte selvático ha desaparecido en la región de estudio.

5. En la cuenca alta del río Cauto actualmente, se desarrolla un modelo socio económico no sostenible.

6. La erosión de suelos es un concepto generalizador, que sirve de punto de partida, en el cual se apoyen todas las gestiones ambientales que se realicen en la cuenca para lograr un desarrollo sostenible.

7. La erosión acelerada de los suelos surge de problemas sociales y económicos dado por el conflicto debido a la relación dinámica entre el crecimiento poblacional y las crecientes necesidades de supervivencia.

8. La lluvia, generadora de agua, puede ser una fuente productiva o una fuente de destrucción, que depende del manejo que el hombre le dé a los suelos y la vegetación.

9. La situación actual de la cuenca alta del Cauto en relación con la cubierta vegetal es más favorable comparada con la que existía en la década de los años 70.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

10. La dinámica de los cambios en el uso de suelo en la cuenca Gilbert, en la región donde nace el río Cauto, han sido favorables para los caudales base del río, sin embargo, este aumento no es apreciable.

11. Ha existido una recuperación de la cubierta vegetal que, en buena medida, ha sido espontánea, y se caracteriza por una gran extensión de áreas cubiertas por manigua y monte alto secundario ralo.

12. Actualmente, el estado de los caminos está dentro del principal problema ambiental de la región del nacimiento del Cauto, tanto debido a sus efectos directos en la degradación física del medio ambiente, como a las consecuencias socioeconómicas adversas inducidas por el estado de deterioro y abandono que tienen los mismos.

Los caminos y trillos forman una red de canales por donde escapan los sedimentos de la región, que se suman a los que escapan por la red fluvial. La red vial constituye una forma de salida de sedimentos, ya sea a través del sistema de drenaje o, en ausencia o ineficiencia de este sistema, por las cárcavas. Actualmente, el estado de los caminos está dentro del principal problema ambiental de la región del nacimiento del Cauto, tanto debido a sus efectos directos en la degradación física del medio ambiente, como a las consecuencias socioeconómicas adversas inducidas por el estado de deterioro y abandono que tienen los mismos.

Excepto los terraplenes, el resto de los caminos clasificados dentro de otras categorías inferiores, carecen de sistema de drenaje y pavimentación, lo cual es la causa fundamental del acelerado deterioro vial, y constituye una de las razones más importante de emigración de las personas hacia las zonas más llanas. Las grandes cárcavas que se producen en los caminos atraviesan por los campos de cultivos aledaños, hasta el río, cargando una gran cantidad de sedimentos.



Foto 8. *Vial deteriorado que comunica la comunidad Las Coloradas con Campo Rico (diciembre 2005).*

13. La erosión de los suelos, no es solo el mayor efecto de la deforestación, sino también la mayor causa.

14. Las áreas que históricamente se han dedicado al cultivo del café, presentan una profundidad edáfica, alrededor de los 40 cm.

15. Los suelos que por mucho tiempo fueron dedicados al pastoreo del ganado, que fueron abandonados hace aproximadamente 40 años, y que su cubierta actual es manigua, o se dedican al cultivo de Pino Maestréense presentan una profundidad edáfica que oscila entre los 20 y 40 cm.

16. Se puede afirmar que, en este tipo de áreas, se ha alcanzado un cierto equilibrio en los procesos erosivos de los suelos y por tanto conserva los mismos rangos de profundidad edáfica que tenían hace 40 años.

17. Las áreas que por muchos años fueron dedicadas al pastoreo del ganado y que actualmente son malezas en transición hacia manigua, tienen una profundidad edafológica por debajo de los 20 cm.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

18. En los casos donde estas áreas se han mantenido siendo pastos naturales, la profundidad edáfica, no sobrepasa los 7 cm.

19. Tanto la erosión laminar como la erosión en cárcavas se manifiestan de la forma más intensa en los pastos naturales, lo que se explica debido a la combinación más desfavorable de todos los factores que controlan la erosión: precipitación, topografía, suelo y las prácticas de conservación, con la más pobre cobertura vegetal.



Foto 9. Grandes cárcavas en la parte inferior del Potrero La Cubana (diciembre 2005).

20. La ganadería, en una zona montañosa, es muy vulnerable y causante de no pocos efectos negativos en el ecosistema de montaña en general.



Foto 10. Cárcavas en el potrero La Cubana (diciembre 2005).

21. Se debe reacomodar la carga global y solo pastorear en las áreas compatibles donde no se rompa el equilibrio suelo-planta-animal por el efecto de terrenos pendientes.

22. Las prácticas ganaderas actuales en los suelos en uso ganadero de la Cuenca Alta del Río Cauto contribuyen a la degradación continúa de los ecosistemas pastoriles y por ende al deterioro ambiental del entorno.

23. La ausencia de medidas de conservación, la no reposición de la fertilidad del suelo, el pobre papel de las leguminosas en estas regiones, la invasión de malezas, plagas y la sequía han ocasionado la degradación de los ecosistemas ganaderos de la cuenca alta del río Cauto y por ende su escasa productividad.

24. Otros campesinos se apoderaban de terrenos en los más intrincado de la montaña o sea en el mismo firme o parte agua, comenzando a fomentar sus propias plantaciones de café, y estableciendo paralelamente áreas de producción agrícola de subsistencia (agricultura nómada).

A partir del año 1920, hizo su aparición la ganadería como renglón económico importante en el área montañosa de la cuenca, compitiendo con la economía cafetalera. Esto se hizo productivo por la introducción de una raza de ganado

bovino resistente a las condiciones físicas y ambientales de la Sierra, la raza cebú. (Marqués, 2006)

2.8 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE – MUSLE)

La erosión es un fenómeno ligado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre, que a través de su acción lenta y efectiva ha contribuido a esculpir el relieve terrestre, desde antes de que las civilizaciones humanas iniciasen su actividad. (López, 1988). Jackson, (1989), la considera como un problema ambiental crítico.

La remoción de la capa superficial del suelo debido a la erosión provoca efectos en las características físicas y químicas del suelo, produciendo reducción en la infiltración del agua y disminución de almacenaje de la misma. La introducción de tecnologías para la conservación de los suelos, normalmente causa costos adicionales a los agricultores, tanto en dinero como en trabajo, además de que los resultados no son inmediatos. (Müller-Sämann, 1996).

Cuando la tierra no se usa de acuerdo a su vocación ni se trata de acuerdo a sus necesidades de conservación ocurre que su funcionamiento hidrológico no es el deseable. Hernández, (1990), también agrega que esto trae aparejado un efecto económico-social bien definido como es la pérdida de productividad.

Existen diversos enfoques para determinar la erosión hídrica en cuencas hidrográficas, los cuales generan información que puede ser utilizada con fines de restauración, producción agrícola, desarrollos urbanísticos, actividades recreativas y/o de protección. Estos han evolucionado a medida que ha incrementado la actividad productiva y la degradación de los suelos por el hombre. En los tiempos contemporáneos, el hombre en su afán de colonizar tierras, expande las fronteras agrícolas, degradando el medio ambiente.

Dichos enfoques se han desarrollado con base en los factores antrópicos y naturales que intervienen en la erosión hídrica y analizan en su gran mayoría componentes tales como: suelos, topografía, clima, cobertura y uso de la tierra y prácticas culturales.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Dentro de los enfoques para la determinación de la erosión hídrica se destacan: USLE y sus modificaciones MUSLE (USLE modificada) y RUSLE (USLE revisada), ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environmental Response Simulation), AGNPS (Agricultural Non-point Source), CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), IRE, Fournier y Filiberto López Cadenas del Llano entre otras; además existen mezclas, en su totalidad o en parte, de los enfoques anteriores.

La USLE es un modelo diseñado para predecir la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento en áreas específicas bajo determinados sistemas de manejo y cultivos. (Wischmeier y Smith, 1978). La USLE se expresa, en el sistema métrico internacional, como:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A, es la pérdida de suelo en t/ha.año.

R, es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha.año.

K, es el factor erosionabilidad el suelo en (t/ha)/(Mj.mm/ha.h)

L, es el factor longitud del terreno (adimensional).

S, es el factor pendiente del terreno (adimensional).

C, es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional).

P, es el factor prácticas de conservación (adimensional).

El cálculo de la erosión actual se obtiene a través de la USLE, efectuando la multiplicación de todos los factores que la conforman: $R * K * LS * C * P$. En cuanto a la erosión potencial se puede obtener a través de las dos metodologías; a partir de la USLE se obtiene multiplicando sólo tres de sus factores $R * K * LS$.

La estimación de la erosión hídrica requiere de información temática como suelos, clima, pendiente y cobertura y uso de la tierra, la cual, se automatiza a través del sistema de información geográfico y mediante análisis espacial (superposición) se obtiene un mapa resultante que indica los rangos de erosión. (Quast, 2008)

2.8.1 Factor R

El factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, se define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en treinta minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio. (Wischmeier y Smith, 1978).

Wischmeier y Smith, (1978), consideran que el término de R en forma de producto, es el mejor parámetro de la precipitación que refleja la interacción entre el potencial combinado del impacto de lluvias y la turbulencia del escurrimiento para transportar las partículas desprendidas. La estimación de R se puede hacer a través de métodos directos y métodos indirectos. (Quast, 2008)

Método Directo

Este método se basa en la lectura de bandas pluviográficas y se estima R, según Barrios, (1995), de la siguiente manera:

El factor R se refiere a un valor anual promedio del índice de erosividad de las lluvias EI, el cual se puede expresar como:

ecuación (1)

$$R = \frac{1}{na} \sum_{k=1}^{na} \left(\sum_{i=1}^{ne} (E * 130) i \right)$$

Donde:

E, es la energía cinética de un evento de lluvia.

I30, es la máxima intensidad en 30 minutos durante un evento i de lluvia.

ne, es el número de eventos de lluvia ocurridos en el año.

na, es el número de años.

El procedimiento para el cálculo de EI30 es:

- Calcular la energía cinética unitaria para cada segmento de lluvia con intensidad constante, usando la siguiente expresión básica:

ecuación (2)

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

$$\{ e = \begin{cases} 0,283 & \text{si } I > 76 \text{ mm/h.} \\ 0,119 + 0,0873 \log_{10} I & \text{si } I < 76 \text{ mm/h.} \end{cases}$$

Donde:

e, es la energía cinética unitaria del aguacero en Mj/ha/mm

I, es la intensidad de lluvia en mm/h.

La energía cinética total de un evento se calcula aplicando la ecuación anterior a segmentos o intervalos de lluvia de intensidad constante y sumando luego los valores de todos los intervalos.

La energía unitaria tiene un máximo de 0,283 debido a que a intensidades mayores de 76 mm/h el diámetro de la gota de agua que precipita no incrementa más y la velocidad final es constante. (Barrios, 1995).

- Calcular la energía total del segmento lluvia.

$$Es = e * p \quad (3)$$

Donde:

Es, es la energía cinética del segmento de lluvia, en MJ/ha.

p, es la lámina total de lluvia para el segmento en mm.

- Calcular la energía de la lluvia total

ecuación (4)

$$E = \sum_{k=1}^{ns} (Es)_k$$

Donde:

E, es la energía cinética de la lluvia total, en MJ/ha

ns, es el número de segmentos en que fue dividida la lluvia.

- Identificar la máxima lluvia caída en 30 minutos y calcular la intensidad I30.

$$I30 = \min[(2 * Pmax30); 63,5] \quad (5)$$

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Donde:

I30, es la máxima intensidad de lluvia de 30 minutos de duración, en mm/h. **Pmax 30'**, es la máxima lluvia caída en un intervalo de tiempo de 30 minutos, en mm.

- Cálculo del índice EI de la lluvia.

$$EI = (E) * (I30) \quad (6)$$

Donde:

EI, es el índice de erosividad de la lluvia, en (MJ mm) / (ha h).

El factor R se estima para cada año por simple adición del índice EI de todos los eventos del año, el procedimiento se repite para todos los años disponibles y se obtiene un valor promedio anual, el cual constituye el llamado R de la USLE. (Barrios, 1995) (Quast, 2008)

Métodos Indirectos

Estos métodos son muy útiles cuando no se puede contar con bandas pluviográficas en las estaciones de precipitación. Se trata de relaciones empíricas entre el valor de R y la lluvia total: diaria, mensual, o de eventos extremos.

Para estimar R a partir de lluvias diarias, Elsenbeer (1994), presenta la ecuación de Richardson; dicha relación es válida en una región de los Estados Unidos:

$$EI_t = 0,34R_t^{1,81} \quad (7)$$

Donde:

EI_t, es el índice de erosividad de la lluvia del día t, en Mj.mm/ha.h.

R_t, es la lluvia del día t, en mm

La estimación de R a partir de datos mensuales, presentada por Páez, et al., (1985), se puede observar en la ecuación

$$EI_{30} = -190,5 + 8,8P \quad (8)$$

Donde:

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

EI30, es la erosividad de la lluvia; se expresa en Mj.mm/ha.h

P, es la precipitación mensual promedio, en mm.

La erosividad anual promedio resulta de la sumatoria de los de los doce meses del año.

Wischmeier y Smith, (1978), señalan que la estimación de los valores de EI30 en la parte occidental de los Estados Unidos, dada la carencia de suficiente información para el cómputo de R, se realizó utilizando información sobre lluvias extremas con la siguiente ecuación:

$$R = 0,147(P_{2,6})^{3,17} \quad (9)$$

Donde:

R, es la erosividad de la lluvia expresada en Mj.mm. /ha.h. año

(P_{2,6}), es la precipitación de 6 horas de duración y frecuencia de 2 años, expresada en mm. (Quast, 2008)

2.8.2 Factor K

El factor K representa la erosionabilidad del suelo, es decir, muestra su vulnerabilidad a la acción del agua; es una característica inherente a los suelos, que es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también del manejo que de ellos se haga. (Barrios, 1995). El método más completo para estimar K es el Nomograma de Wischmeier y Smith, (1978), el cual requiere datos sobre porcentaje de limo, porcentaje de arena muy fina, porcentaje de arena, porcentaje de contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. En el caso de no contar con información tan detallada se pueden usar valores tabulados por Kirkby y Morgan, (1980). Estos valores tabulados pueden observarse en la Tabla 2.8

El método más completo para estimar K es el nomograma de Wischmeier y Smith (1978), el cual requiere datos muy pormenorizados. Al existir diferentes métodos para calcular el factor K y teniendo en cuenta que en algunos de estos se requiere mayor información y de forma más detallada, se ha empleado el

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

método de Kirkby y Morgan (1980), en el cual se utilizan valores obtenidos asociando la textura del suelo y contenido de materia orgánica, los cuales han sido tabulados y se pueden ver en la **Tabla 3.** (Quast, 2008)

Tabla 3. Valores de K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica, método de Kirkby y Morgan (1980). (Quast, 2008)

TEXTURA DEL SUELO	< 0.5%	2%	>4%
Arcilla	0,017	0,038	-----
Arcilla arenosa	0,018	0,017	0,016
Arcilla limosa	0,033	0,030	0,025
Arena	0,007	0,004	0,003
Arena fina	0,0021	0,018	0,013
Arena fina franca	0,032	0,026	0,021
Arena franca	0,016	0,013	0,011
Arena muy fina	0,055	0,047	0,037
Arena muy fina franca	0,058	0,050	0,040
Franco (grada)	0,050	0,045	0,038
Franco arcillo limoso	0,049	0,042	0,034
Franco arcilloso	0,037	0,033	0,028
Franco areno arcilloso	0,036	0,033	0,028
Franco arenoso	0,036	0,032	0,025

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Franco arenoso fino	0,046	0,040	0,032
Franco arenoso muy fino	0,062	0,054	0,043
Limo	0,079	0,068	0,055
Limo franco	0,063	0,055	0,043

Fuente: Kirkby y Morgan, 1980

2.8.3 Factor “LS”

El factor topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud λ , y la correspondiente a la parcela piloto utilizada en el desarrollo de la USLE. Se refiere entonces al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos. Su valor se obtiene por multiplicación de dos subfactores: longitud (L) y pendiente (S).

Tabla 4. Cálculo de la materia orgánica por el factor de Von Bemmelen.

UNIDAD	PERFIL	FACTOR	CARBONO%	MAT. ORG. (%C*FACTOR)
LWA	P-7	1,724	0,61	1,0516
	P-7	1,724	1,77	3,0515
MAA	-----	-----	-----	----
	PT-1	2,5	5,18	12,95

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

MDA	PT-3	2,5	7,61	19,025
	PT-4	2,5	38,61	96,525
MGA	PTC-1	2,5	25,65	64,125
	PTC-26	2,5	50,55	126,375
MGB	TS-11	1,9	18,46	35,074
	TS-1	2,5	15,24	38,1
	TS-13	2,5	18,09	45,225
MGC	PT-6	2,5	5,11	12,775
MKB	BT-62	2,5	16,87	42,175
	L-4	2,5	3,23	8,075
MKD	PT-27	1,9	5,58	10,602
MKG	PT-7	2,5	6,95	17,375
MQB	TL-5	2,5	4,1	10,25
MQD	PTC-6	1,9	1,09	2,071
	PTS-9	1,724	1,21	2,086
	BT-63	1,724	1,68	2,896
MQO	P-25	1,724	2,8	4,827
	BT -82	1,724	0,25	0,431
MWB	TS-52	1,724	1,56	2,689
	PA -5	1,724	0,93	1,603
MWE	PT-16	1,724	1,84	3,1722
	PT -15	1,724	1,82	3,1377

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

MWF	PT-18	1,724	3,33	5,7409
	PT-20	1,724	1,72	2,9653
NP	-----	-----	-----	-----
PWD	PH-1	1,724	1,22	2,103
PWF	PT-30	1,724	0,82	1,414
	PT-29	1,724	0,94	1,62
	PA-7	1,724	0,63	1,086
PWL	G-10	1,724	1,6	2,758
	G-8	1,724	1,9	3,276
	A-38	1,724	1,47	2,534
VWA	L-8	1,724	0,87	1,499
	L-5	1,724	1,21	2,086
C.P	-----	-----	-----	-----
Z.U	-----	-----	-----	-----

Fuente: CORTOLIMA, 2007

Para el cálculo de LS Wischmeier y Smith, (1978), propusieron las siguientes ecuaciones:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^m \quad (10)$$

$$S = 65,41 \sin^2 \theta + 4,56 \sin^2 \theta + 0,065 \quad (11)$$

Donde:

L: Es el factor longitud de la pendiente (adimensional).

λ : Es la longitud uniforme del terreno (metros).

m: Es el exponente cuyo valor varía entre 0,2 y 0,5 de acuerdo al valor en la inclinación de la pendiente entre < 1 y > 5 %.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

S: Es el subfactor inclinación de la pendiente (adimensional).

θ : Es el ángulo de inclinación del terreno uniforme en grados.

Basándose en el trabajo de McCool et al., (1987 y 1989), proponen para la MUSLE la siguiente actualización:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22}, 1\right)^m \quad (12)$$

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (13)$$

$$\beta = \{(\sin \theta / 0,00896) / (3,0 * (\sin \theta)^{0,8} + 0,56)\} * r \quad (14)$$

$$S = 16,8 \sin \theta - 0,50 \quad \text{si la pendiente} \geq 9\% \quad (15)$$

$$S = 10,8 \sin \theta + 0,03 \quad \text{si la pendiente} \leq 9\% \quad (15)$$

Donde:

L: Es el factor longitud del terreno (adimensional).

λ : Longitud del terreno (m)

m: exponente variable según β

β : Relación erosión en surco a erosión en entresurco

θ : Ángulo de inclinación del terreno

r: Coeficiente igual a: 0,5 en tierras forestales o pastizales; 1,0 en terrenos agrícolas y 2,0 en sitios en construcción.

S: Es el factor pendiente del terreno (adimensional)

La expresión original de Wischmeier y Smith, (1978), fue desarrollada experimentalmente con datos de terrenos uniformes, pendientes entre 3 y 18 % y longitudes entre 10 y 100 metros. La aplicación fuera de este rango experimental es de carácter especulativo, tal es el caso de las cuencas hidrográficas en donde las vertientes no son uniformes y frecuentemente tienen 20 %, 30 %, 40 % o más de pendiente. La expresión de McCool et al., (1987), fue realizada teniendo en cuenta lo anterior y por eso es la que se recomienda para cuencas hidrográficas. (Barrios, 1995). (Quast, 2008)

2.8.4 Determinación del factor C

Este factor indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo. Se expresa como la relación entre la pérdida de suelo de un área o parcela con una vegetación dada y sistemas de manejo específicos, y la pérdida de suelo en una parcela en barbecho continuo, limpia y arada, en el sentido de la pendiente, a intervalos regulares. Los valores de C son pequeños cuando el suelo está protegido del impacto del agua de lluvia y de la acción de la escorrentía superficial, y viceversa; es decir, a mayor valor de C, menor es la cobertura del suelo, es decir, hay menor

protección. La determinación de C se hace a partir de valores tabulados según se trate de cultivos agrícolas o vegetación forestal. Wischmeier y Smith, (1978), publicaron numerosas tablas del factor C por tipos de cultivos, etapa de desarrollo y sistemas de manejo. Así como también una tabla para vegetación de gramínea-arbustal y otra para bosque. (Barrios, 1995).

Dissmeyer y Foster, (1982), presentan un procedimiento paramétrico para estimar el factor C en tierras forestales basado en subfactores como: porcentaje de suelo desnudo, porcentaje de suelo desnudo con matriz densa de raíces finas, cobertura y altura del dosel y contenido de materia orgánica.

- Porcentaje de suelo desnudo: El suelo desnudo es de importancia para la erosión, porque ésta es función de la cantidad de suelo expuesto. Para la correcta interpretación del suelo desnudo hay que tener en cuenta que se considera como cubierta de los terrenos a las ramas, troncos, restos de talas o a materiales rocosos sobre la superficie del suelo. El dato necesario a estimar es el porcentaje del área ocupada por el suelo desnudo.
- Porcentaje de suelo desnudo con matriz de raíces finas: Una matriz densa de raíces finas está usualmente presente en las primeras dos pulgadas de los suelos forestales. Aunque después de que los árboles son removidos la matriz de raíces residuales continúan protegiendo al suelo de las fuerzas erosivas de la lluvia y escorrentía. Este subfactor sólo se aplica al suelo desnudo.
- Cobertura del dosel: Este subfactor se aplica a la cubierta vegetal sobre el suelo desnudo. El subfactor se evalúa estimando el porcentaje de suelo desnudo que tiene cobertura del dosel sobre sí. Las áreas abiertas del dosel donde la lluvia puede pasar no forman parte del subfactor.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

- Contenido de materia orgánica: Bajo bosques permanentes el suelo superficial acumula un alto contenido de materia orgánica, éste hace al suelo menos erodable. Este subfactor es de 0,70 cuando el suelo superficial tiene 2,5 cm de espesor de materia orgánica.

Para los terrenos de uso agrícola se determina un valor de C promedio anual tomando en cuenta la superficie neta bajo cultivo, rotación de cultivos y distribución de la erosividad de la lluvia a lo largo del año, por tanto, el valor medio del factor C para los terrenos con cultivos anuales dependerá de las rotaciones existentes y del tiempo que pasa en barbecho. (Barrios, 1995). (Quast, 2008)

2.8.5 Determinación del factor P

El factor P es la relación de pérdida de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas mecánicas de conservación de suelos (contornos, terrazas, cultivos en fajas, etc) para el control de la erosión, y las pérdidas que se producen en una parcela si tales prácticas no se utilizan y el laboreo se efectúa en el sentido de la pendiente. Cuando las prácticas de conservación no se aplican o son muy pocas el valor de P es igual a 1. (Quast, 2008)

Tabla 5. Clasificación de la erosión actual.

Clasificación de la erosión	Rango de erosión (t/ha. Año)
Ligera	< 20
Moderada	20 – 100
Fuerte	100 – 300
Severa	> 300

Tabla 6. Clasificación de la erosión potencial (USLE)

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

Clasificación de erosión potencial	Rango (t/ha. Año)
Ligera	< 100
Moderada	100 – 500
Fuerte	500 – 1500
Severa	> 1500

Fuente: Páez, (1989)

CAPÍTULO 3

MÉTODOS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN.

3.1 Métodos para el control de erosión

Si se piensa que para fines prácticos el suelo es un recurso no renovable (pues se requiere de cientos de años para su formación), se entenderá la necesidad inmediata de atenuar y controlar la erosión de suelos. Si bien existen sitios donde este problema es prácticamente irreversible, hay muchos otros donde se prevé que pronto dejarán de ser productivos debido a la erosión, pero que aún pueden ser rehabilitados.

Debido a las características de cada tipo de erosión, se ha considerado conveniente dividir la presentación de los métodos de control en tres grandes grupos: a) la conservación de los suelos y la reforestación, b) el control del escurrimiento superficial que no es concentrado y c) el manejo del escurrimiento concentrado. (Sánchez J. G., 2000)

3.1.1 Conservación de los suelos y reforestación.

Si bien es cierto que la erosión es, desde el punto de vista geomorfológico, un fenómeno que siempre ha configurado naturalmente la superficie terrestre, lo acelerado de la pérdida de suelo, causado principalmente por la eliminación o cambio de la cobertura vegetal natural, es un problema causado por el hombre. En consecuencia, es fácil entender que la reposición o implementación de coberturas vegetales son un control. Las prácticas de conservación más comunes son:

- a) **Rotación de cultivos.** Consiste en emplear alternativamente, en un mismo terreno, diferentes cultivos para preservar la fertilidad y asegurar un buen establecimiento vegetal.
- b) **Cultivos en fajas.** Consiste en plantar alternativamente fajas (o franjas) de diferentes cultivos o plantas. Por ejemplo, se puede sembrar fajas de árboles frutales con la copa ancha tales como: mango, zapote, níspero, aguacate, que además de servir de protección al suelo es una fuente importante para la alimentación para las comunidades cercanas.
- c) **Pastizales.** En los casos en que el suelo ya este muy dañado por la erosión y no es posible emplearlo en labores agrícolas o forestales, es recomendable dedicarlos a pastizales perennes. Este tipo de cobertura

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

es muy eficiente en el control de la erosión, pero las condiciones climáticas y de suelo deben ser favorables al tipo de pasto empleado para que este pueda ser estable en un largo plazo. Es conveniente señalar aquí que el sobrepastoreo es un factor muy importante en el incremento de la erosión.

- d) **Cortinas de árboles.** Esta medida de control es aplicable a zonas no aptas para la agricultura y generalmente se emplean para proteger de la erosión por viento. Sin embargo, en muchos casos se emplean como "fajas de protección", en el control de cárcavas o en suelos con pendientes muy pronunciadas. Su principal función es la de retener el suelo y propiciar las condiciones más favorables para la generación de la cobertura natural.
- e) **Reforestación.** Es una de las medidas más efectivas siempre que sea correctamente realizada y, posteriormente, bien administrada. Es aplicable principalmente en las zonas de montaña, donde las pendientes son fuertes y el suelo pobre. Siempre se debe considerar que un bosque es, primero, una medida de protección, y después una zona de explotación maderera.

Existen casos como lo son las laderas de caminos o de pendientes muy pronunciadas donde también se puede emplear eficientemente protecciones vegetales.

3.1.2 Control del escurrimiento superficial.

El **escurrimiento no concentrado** puede controlarse empleando los siguientes procedimientos.

- a) **Contorneo.** Consiste en realizar las operaciones agrícolas siguiendo la curva de nivel del terreno, con lo cual se logra una disminución acentuada de la energía del agua. Esta es una práctica ya establecida y comprobada.
- b) **Intercepción con fajas de infiltración.** Consiste en construir zanjas protegidas con vegetación a intervalos regulares en una pendiente. Dichas zanjas pueden ser de pendiente nula o no, y sirven para

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

aumentar la infiltración. Se emplean en los casos donde el suelo es profundo con buena permeabilidad.

- c) **Intercepción con zanjas de desvío.** Cuando se necesita proteger alguna zona de aguas abajo o se requiere detener el avance de cárcavas, es necesario construir zanjas para recolectar y desviar escurrimiento. Este tipo de zanjas deben estar protegidas con alguna cobertura vegetal para evitar su deterioro.

3.1.3 Control de escurrimientos concentrados.

Por sus características, el escurrimiento superficial concentrado produce la erosión más evidente a simple vista, siendo un caso típico de las cárcavas. Para controlar dichos escurrimientos se puede considerar tres tipos básicos de protección:

- a) **Represas.** Estas estructuras disminuyen la energía del escurrimiento y proporcionan el depósito de sedimento (principalmente el grueso). En algunos casos también se pueden emplear como zonas de infiltración cuando las condiciones del subsuelo lo permitan.
- b) **Control de cárcavas y barrancos.** En estos casos, primero se deben proteger las cabeceras para evitar su crecimiento hacia aguas arriba, y después el lecho de los cauces para evitar su profundización. Luego se protegen las laderas tratando de estabilizarlas con vegetación. En algunos casos, cuando el daño es muy acentuado, es conveniente construir zanjas de intercepción antes de la cárcava o barranco, y

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.

descargar en otros sitios más protegidos.



Foto 11. Dique de ramas para evitar el avance de las cárcavas (diciembre 2005).

- c) **Rectificación de cauces.** Una vez que el escurrimiento superficial concentrado, se encuentre bien definido y es permanente (rio), puede existir erosión en los márgenes y en el fondo (erosión de canales). En estos casos también es necesario proteger los márgenes y disminuir la pendiente de fondo. Las respuestas (de madera, gaviones, mampostería, etc.), el revestimiento de márgenes y los espigones, han sido las mejores alternativas en la rectificación de cauces.

Conclusiones.

1. La realización de este trabajo referente a las medidas para mitigar la erosión en la subcuenca Gilbert nos deja conocimiento del estudio en el tiempo de las características físico-geográficas de la cuenca Gilbert.
2. Parece ser que la emigración desde las montañas ha favorecido el crecimiento de la vegetación autóctona y por tanto se produzca una protección de los suelos más cercanos al río.
3. Es considerable la extracción de madera del área ocupada por la cuenca en estudio, dudamos que se tenga un control minucioso de este aspecto por lo que consideramos conveniente alertar a las autoridades que deben intervenir en ese proceso.

Recomendaciones

1. Implementar el uso del método de contorno en las zonas montañosas de grandes pendientes con la fomentación de siembra de árboles de gran follaje, principalmente frutales, tales como: mango, anón, anoncillo, aguacate, zapote, tamarindo, níspero, etc. Los cuales además de funcionar como protección de la superficie puede servir como fuente económica para la región.
2. Tal vez convendría preparar un expediente de la subcuenca Gilbert con la finalidad de proponerla como área protegida.

Bibliografía

(s.f.).

(eds), B. y. (2006). *La Erosión Hídrica: Importancia y clases. R.Bienes.*

Einsten, A. (1939).

Herrero, R. (29 de 02 de 2016). *es el agua*. Obtenido de es el agua:
<http://eselagua.com>

Marqués, B. y. (2006). *La Erosión Hídrica: Importancia y clases. R.Bienes.*

Quast, J. (2008). *Pérdida de suelos Totare.*

Sánchez, J. G. (2000). *Manual de Ingenieros en Rios.* México.

Sánchez, J. G. (s.f.). *Manual de Ingeniería Fluvial.*

UNAM, I. d. (2018). *Manual de Ingenieros en Rios Capitulo 17.* México.

Vide, J. P. (s.f.). *Ingeniería Fluvial.* Universidad Politécnica de Cataluña.

Medidas para mitigar la erosión de la subcuenca Gilbert.
