

INFORME DE APOYO I
ADMINISTRACION DE CUENCA

APOYO-I : ADMINISTRACION DE CUENCA

TABLE OF CONTENTS

	Página
1. Generalidades	I-1
1.1 Antecedentes	I-1
1.2 Problemas en la Administración de la Cuenca.....	I-2
1.3 Plan de Administración de Cuenca en el Area del Estudio	I-2
2. Marco Legal	I-3
2.1 Revisión General.....	I-3
2.2 Ley de Explotación de Aguas Nacionales	I-3
2.3 Ley de Forestación	I-3
2.4 Zonas Forestales Protegidas.....	I-4
2.5 Ley General del Medio Ambiente	I-4
2.6 Acuerdo entre SANAA y COHDEFOR	I-4
2.7 Ley de Ordenamiento Territorial (Borrador).....	I-5
2.8 Reglamentos Locales para División en Zonas, Urbanización, División de Lotes y Construcción	I-6
2.9 Ley para Modernización y Desarrollo del Sector Agrícola.....	I-6
3. Erosión del Suelo	I-6
3.1 Introducción	I-6
3.2 Ecuación de Pérdida de Suelo Universal (USLE).....	I-7
3.2.1 Factor de Lluvias y Escorrentía, R.....	I-7
3.2.2 Factor de Erodibilidad del Suelo, K.....	I-14

3.2.3	Factor Topográfico, LS	I-15
3.2.4	Factor de Cubierta y Administración, C	I-16
3.2.5	Factor de Practica de Apoyo, P	I-18
3.2.6	Inter-relación entre los Parámetros USLE	I-18
3.3	Resultados de la Erosión Potencial	I-19
3.3.1	Microcuenca de Choluteca (Foto I.3.1)	I-21
3.3.2	Microcuenca del Río Chiquito (Foto I.3.2).....	I-22
3.3.3	Microcuenca de Sabacuante (Foto I.3.3)	I-24
3.3.4	Microcuenca de Quebrada Grande (Foto I.3.4)	I-25
3.3.5	Microcuenca de la Laguna del Pescado (Foto I.3.5).....	I-26
3.3.6	Microcuenca de Mololoa. (Foto I.3.6).....	I-27
4.	Sedimentación.....	I-28
4.1	Introducción	I-28
4.2	Método de Suministro Bruto de Erosión-Sedimentos.....	I-28
4.3	Transporte de Sedimentos	I-30
4.4	Producción de Sedimentos en Función del Tamaño de Areas Colectoras.....	I-31
5	Medidas para Control de Erosión/Sedimentos	I-33
5.1	Introducción	I-33
5.2	Barreras Vivas	I-36
5.3	Micro-Presas SABO para Retención de Sedimentos	I-36
5.3.1	Albañil Seco.....	I-36
5.3.2	Gaviones.....	I-38

6.	Plan de Control de Erosión/Sedimentos.....	I-39
6.1	Metodología	I-39
6.2	Plan de Trabajo.....	I-39
7.	Volumen del Trabajo.....	I-41

APOYO-I : ADMINISTRACION DE CUENCA

LIST OF TABLES

	Página
Tabla I.3.1	Ejemplo de Cálculo del Factor de Erosión de Lluvias R.....I-9
Tabla I.3.2	Energía Cinética de Lluvias, E', (ton-m/ha/cm)I-10
Tabla I.3.3	Número de Lluvias Erosionadoras y Lluvias Anuales (1990-2000)....I-11
Tabla I.3.4	Posición de las Estaciones Pluviométricas y Valores RI-12
Tabla I.3.5	Clasificación de Suelo de Acuerdo con los Coeficientes de Permeabilidad.....I-15
Tabla I.3.6	Valores de K para Muestras Tomadas en la Cuenca.....I-15
Tabla I.3.7	m Valor en Función de Pendiente del TaludI-16
Tabla I.3.8	Valores del Factor C para Distintas Condiciones de Uso de la Tierra.....I-17
Tabla I.3.9	Clasificación de Uso de la Tierra en el Area del EstudioI-42
Tabla I.3.10	Distribución de Pérdidas de Suelo en el Area de EstudioI-19
Tabla I.3.11	Distribución de Uso de la Tierra en Microcuencas Críticas (Km2)I-21
Tabla I.4.1	Factor a en Función del Area de DrenajeI-29
Tabla I.4.2	Estimación de producción de sedimentos de la erosión (Método de nivel de entrega).....I-30
Tabla I.4.3	Transporte de Sedimentos (1999).....I-30
Tabla I.4.4	Estimación de Suministro de Sedimentos en Función del Area de CaptaciónI-32
Tabla I.6.1	Estimación del Número de Micro-presas SABO en el Area Piloto (arroyos Santa Elena y Jardinera, Microcuenca del río Chiquito).....I-40

Tabla I.7.1	Estimación de Volumen del Control de Erosión /Sedimentos en el Area del Proyecto Piloto.....	I-41
-------------	---	------

APOYO-I : ADMINISTRACION DE CUENCA

LIST OF FIGURES

	Página
Figura I.3.1	Factor R como Función de las LluviasI-12
Figura I.3.2	Valores de R en la Cuenca del Río Choluteca (1990-2000)I-13
Figura I.3.3	Distribución de R a lo largo de las Microcuencas del Area de Estudio.....I-13
Figura I.3.4	Clasificación de Uso de la Tierra en el Area del EstudioI-17
Figura I.3.5	Flujograma para Estimación de Erosión del Suelo por USLEI-18
Figura I.3.6	Mapa de Erosión Potencial en las Microcuencas del Area de Tegucigalpa.....I-20
Figura I.4.1	Nivel de Depósito de Sedimentos en Función del Area de Drenaje....I-29
Figura I.4.2	Transporte de Sedimentos en los Afluentes del Río Choluteca en Tegucigalpa (1999)I-31
Figura I.4.3	Relación entre producción de Sedimentos y Area de Captación.....I-43
Figura I.4.4	Suministro de Sedimentos por Afluentes en la Cuenca del Río Choluteca en el Area de EstudioI-32
Figura I.5.1	Ubicación del Area de Proyecto Piloto en la Microcuenca del Río Chiquito. Los dos deslizamientos de tierra están en el Parque Nacional La Tigra.I-34
Figura I.5.2	Formación de una Terraza Natural con una Barrera Viva de Pasto ValerianaI-44
Figura I.6.1	Sistema de Drenaje del Area de Proyecto PilotoI-45
Figura I.6.2	Secciones Típicas de Micro-Presas de SABOI-46
Figura I.6.3	Representación Ideal de Acumulación de Sedimentos en Presas en CadenaI-47

APOYO-I

ADMINISTRACION DE CUENCA

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Las cuencas objeto de este Estudio están en el Distrito Central de la República de Honduras que se compone de áreas urbanas y rurales de las ciudades de Tegucigalpa y Comayagua, que, juntas, forman la Capital de Honduras.

Las coordenadas del Area de Estudio son:

Longitud: 87° 05' y 87° 27' Oeste

Latitud: 13° 55' y 14° 11' Norte

La principal cuenca de agua es el Río Choluteca. Se compone por las subcuencas de los principales ríos de Guacerique (incluye la represa Los Laureles), Grande (incluye la represa Concepción), Sabacuante, Tatumbla y Chiquito, que son el objeto del presente estudio.

El Area del Estudio tiene básicamente dos estaciones de seis meses cada uno: lluviosa y seca. En general, la estación lluviosa es de mayo a octubre y la seca de noviembre a abril.

Las máximas lluvias diarias medidas en la Estación Meteorológica Toncontín fueron 185.5 mm en octubre 1998 durante el Huracán Mitch. Las máximas lluvias mensuales fueron 498.6 mm también en octubre 1998. Las máximas lluvias anuales fueron 1,274.3 mm en 1955.

La máxima temperatura mensual registrada fue 37.8 °C en abril 1973, y la mínima fue de 3.9 °C en enero 1956.

El Area del Estudio básica es montañosa, con alturas sobre el nivel del mar de entre 900m (entre Barrio El Chile y Buenos Aires) y 1,535 m (entre El Picacho y Piliguin). Sin embargo, la mayoría del área urbana está a alturas sobre el nivel del mar entre 1,000 y 1,300 m.

La geología del área del Estudio se compone de rocas sedimentarias del grupo Valle de Angeles, en la parte central-este del Distrito Central, incluyendo lo que se considera el tradicional centro comercial de Tegucigalpa y Comayagua. Estas rocas se caracterizan por sus capas rojas de esquistos, limolita, arenisca y conglomerados de cuarzo. Estas rocas corresponden al principio del Terciario en el Cenozoico, hace unos 65 millones de años.

El área mencionada anteriormente está limitada de la región sur a noreste por sedimentos clásticos viejos alternando con flujos de riolita que se conoce como formación Jutiapa. Se vuelve angosto en la parte centro-oeste del Distrito Central y se hace más ancho en el sur y noreste. Esta formación corresponde al final del período Terciario.

En el lado oeste predominan las áreas volcánicas alternadas con andesita y roca basáltica correspondientes al final del Terciario y principios de Cuaternario, respectivamente, incluyendo varios conos volcánicos, entre ellos, el más importante es la Laguna Pedregal.

Como consecuencia de las condiciones geológicas y topográficas, muchos barrios de la ciudad

tienen tendencia a deslizamientos, colapsos y asentamientos de tierra e inundaciones durante la estación de lluvias que, por otro lado, produce inmigración local a otras áreas dentro del Distrito Central.

Históricamente, la mayoría de las áreas de cerros están en el lado de Tegucigalpa y la mayoría de las áreas de planicie habitadas están en el lado de Comayagua.

Esto es una consecuencia del origen minero del asentamiento de Tegucigalpa al final del siglo XVI sin una fundación formal como ciudad. Los españoles construyeron casas al azar en la base de los Cerros, en bancos del Río Grande o del río Chiquito y en la cima del Cerro La Leona. En los suburbios vivían los esclavos negros. En cambio, Comayagua era una ciudad de indígenas dedicadas a la agricultura y ganadería. Cuando los pueblos crecieron, se trazó una urbanización más apropiada hacia el futuro.

Sin embargo, en la actualidad las áreas de la planicie son escasas y los Cerros en ambas ciudades tiene una demanda cada vez mayor, especialmente por la población de bajos recursos, lo que aumentará las áreas con pendiente pronunciada, provocando problemas para el suministro de servicios públicos y el peligro de deslizamientos de tierra y colapsos de tierra en áreas peligrosas.

1.2 PROBLEMAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE LA CUENCA

Como consecuencia de la expansión urbana en la microcuenca de Tegucigalpa, se ha producido una pérdida de forestación en áreas necesarias para vivienda, industrias u otras instalaciones. Además, en zonas cerca de las áreas urbanas, se han cortado los árboles forestales para satisfacer las necesidades de leña. En algunos casos, debido al crecimiento descontrolado de las áreas urbanas, se establecieron algunos asentamientos urbanos legales o ilegales en tierras inestables que han sido definidos como sitios de deslizamientos de tierra tales como Berinche, Reparto, Nueva Esperanza, etc. en los cuales un uso correcto debe llevar a una conservación de los bosques.

Otro factor que contribuye a la erosión del suelo por la expansión urbana son los muchos incendios forestales generados cada año en la estación seca. De acuerdo con el Anuario Estadístico Forestal, 1997, la mayoría de ellos (54%) fueron consecuencia de incendiarios y en menor grado, por actividades agrícolas y ganaderas. Los incendios forestales dejan el suelo superficial sin cubierta vegetal, facilitando la erosión.

Finalmente, dentro de la cuenca hay varias canteras para extraer materiales de construcción. Deben controlarse para reducir la erosión y sedimentación resultante. A medida que la tierra pierde su cubierta de vegetación protectora, empieza el proceso de erosión-sedimentación, especialmente en áreas con pendientes pronunciados donde se acumulan muchos de estos suelos en los bancos del río. En otros casos, los bancos del río cerca de los puentes se vuelven fuentes convenientes de arena y grava para agregados de hormigón.

1.3 PLAN DE ADMINISTRACIÓN DE CUENCA EN EL AREA DEL ESTUDIO

Tal como se describió arriba, los problemas de administración de la cuenca están estrechamente relacionados con los desastres por inundación y deslizamiento de tierra producidos durante el Huracán Mitch y el plan de administración de cuenca es una de las partes más importantes del plan maestro de prevención de desastres.

Sin embargo, en el Estudio se investigó la relación entre el asentamiento humano y las áreas

peligrosas de deslizamiento de tierra, estudiándose en el Informe de Apoyo B, reconocimiento geológico. El estudio de transporte de sedimentos se hizo en el Informe de Apoyo D, Reconocimiento del material del lecho del río.

Por lo tanto, en este Informe de Apoyo, se estudia el marco legal de la administración de cuenca y se hacen recomendaciones. Sin embargo, se hicieron esfuerzos principales para el análisis cuantitativo de la erosión y sedimentación del suelo para cada microcuenca del Area de Estudio.

Mediante este estudio se seleccionaron microcuencas de prioridad a partir del análisis de suelos y se propusieron proyectos como proyectos prioritarios.

2. MARCO LEGAL

2.1 REVISIÓN GENERAL

Para reducir todos los factores negativos inducidos por la expansión urbana, es necesaria la ejecución obligatoria de los reglamentos correspondientes relacionados con la administración de cuenca que ya están incluidos en leyes misceláneas. Por lo tanto, se revisarán estos reglamentos en las siguientes secciones.

2.2 LEY DE EXPLOTACIÓN DE AGUAS NACIONALES

De acuerdo con la **Ley de Explotación de Aguas Nacionales**, de fecha 1927 y todavía vigente, el Estado tiene un control total de los ríos excepto las quebradas pequeños que empiezan y terminan en una propiedad privada (Art.1). Con respecto al uso del agua, esta vieja ley autoriza el uso libre de aguas que fluyen por ríos naturales y públicos, ya sea para beber, lavar la ropa, recipientes u otros objetos, para bañarse o para dar de beber al ganado (Art. 9).

Sin embargo, debido a su vetustez, esta ley no considera los aspectos del medio ambiente con respecto a la administración de recursos de agua y a las limitaciones y compensación de derechos del uso del agua que ahora se considera necesario controlar más estrictamente. Por lo tanto, ya hace algunos años se está elaborando una nueva ley. Durante el año pasado y el presente, se ha estado estudiando un borrador de la Ley General de Agua por distintas instituciones como SANAA, SERNA, ENEE, SAG y CIEL (Centro de Computación de Estudios Legislativos del Congreso Nacional). Se espera recibir su aprobación final del Congreso Nacional en breve.

De acuerdo con el borrador de la nueva Ley de Aguas, se nombrará una Autoridad de Agua para controlar el uso del agua. Además, se establece la creación de **juntas de agua** y el concepto de **descarga ecológica** se determinará para cada cuerpo de agua por la Autoridad de Agua, de acuerdo con las leyes suplementarias (Art.27, 29). Las leyes suplementarias definirán los criterios y formas para estimar la descarga, volumen, períodos y otras características para cada tipo de explotación, para zonas, cuencas o regiones y de acuerdo con sus propias características hidrológicas. También se indicarán los criterios y métodos para definir la descarga ecológica y calcular la compensación e indemnización incluida en la ley (Art. 29).

2.3 LEY DE FORESTACIÓN

El Decreto No. 85 del 10/2/1972 fue dictado para ejecutar la Ley de Forestación. Indica que las zonas forestales de los ríos y quebradas que conforman el sistema de aguas de Tegucigalpa, son Zonas Forestales Protegidas (Art. 138). Además, este decreto establece la prohibición de cortar o destruir árboles en una franja de 150 m en cada lado de los ríos o lagos permanentes

(Art. 95). Es más, se establece que, bajo ninguna circunstancia, el Estado puede entregar el control de las áreas forestales públicas a privados sin una decisión previa de la Administración Forestal Estatal (Art. 37).

Esta ley también introduce el concepto de áreas especiales y parques nacionales y hace obligatoria la protección de bosques contra incendios y plagas.

En 1974 se creó el COHDEFOR. Todas las actividades relacionadas con el sector forestal (explotación, industrialización y comercialización) se transfirieron a éste como actividades del estado.

En la actualidad, se está revisando esta ley en el Congreso Nacional basado en un proyecto de ley a estudio por la Secretaría de Agricultura. El propósito de la nueva ley es evitar la dispersión legal o superposición de reglamentos, para promover un desarrollo forestal sostenible y ofrecer mejores incentivos para la conservación de los bosques y su industria.

2.4 ZONAS FORESTALES PROTEGIDAS

La subcuenca del río Guacerique se declaró como Zona Forestal Protegida mediante un decreto del 6/7/1972 publicado el 3/8/1972, y abarca un área de 210.63 km².

De la misma forma, la subcuenca del río Tatumbra se declaró como Zona Forestal Protegida por decreto del 6/7/1972 publicado el 3/8/1972 y abarca un área de 62.29 km².

Con respecto a la subcuenca del río Sabacuante, por Decreto No. 72 de 27/10/1971 publicado en el 16/11/1972 se declaró como Zona Forestal Protegida que abarca un área de 49.65 km². Todo esto fue con el propósito de proteger las cuencas que suministran agua potable a la capital. El decreto establece que nadie puede comprar derechos sobre las áreas forestales ni puede hacer una explotación forestal en tierras privadas sin la autorización previa de la Administración Forestal Estatal.

Las áreas protegidas mencionadas arriba están ubicadas dentro del área del Estudio.

2.5 LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE

La Ley General del Medio Ambiente publicada en 1993 (Decreto No. 104), prohíbe la instalación de **asentamientos humanos, bases militares, fábricas industriales u otros** en el área de influencia de las fuentes de suministro de agua para la población (Art. 33). Más aún, para la protección de las represas y se ejecutarán proyectos de ordenamiento de reservas hidrológicas. Empezarán por el concepto de cuenca como una unidad de operación y administración. Un plan de ordenamiento hidrológico y una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) deben hacerse previamente a cualquier proyecto de explotación de aguas en gran escala.

Relacionado con el uso de la tierra para agricultura y forestación el Art. 50 de esta ley establece que: “ Los suelos ubicados en pendientes pronunciados, donde su explotación puede producir su rápida erosión o deslizamientos de tierra, debe mantenerse con una permanente cubierta de vegetación”.

2.6 ACUERDO ENTRE SANAA Y COHDEFOR

Hay un acuerdo entre SANAA y COHDEFOR, firmado el 3/12/1991. Este documento establece las responsabilidades de ambas instituciones, en el caso de SANAA: la protección y

administración integrada de las cuencas con los sistemas de suministro de agua ya construidos o a construir en el futuro. Además SANAA preparará el inventario de cuencas prioritarias para el suministro de agua, con el propósito de preparar estudios, diagnóstico y planes de corto, mediano y largo plazo. Estas acciones se realizan por el departamento de Administración de Cuencas, que debe cubrir primero las cuencas de la capital y posteriormente, a nivel nacional. Por otra parte, COHDEFOR debe ofrecer soporte técnico para la elaboración de los planes de administración y debe determinar sus reglamentos técnicos. . Además, las cuencas calificadas como de prioridad deben declararse como *zonas de forestación protegidas*.

Este acuerdo tiene efectividad durante 5 años hasta diciembre de 1996 y no se renovó hasta el 21/12/1999 para los próximos 5 años con la posibilidad de extenderlo mediante un simple intercambio de notas. Esta renovación mantiene los propósitos originales e implica la cooperación con los Municipios donde están ubicadas las cuencas de suministro de agua, para proyectos de protección y administración de recursos naturales.

2.7 LEY DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (BORRADOR)

Se envió un borrador de esta ley a mediados del 2001 preparado por SERNA al Congreso Nacional como un proyecto de ley para su aprobación. Sin embargo, considerando las implicaciones de los reglamentos sobre el uso de la tierra, puede demorar mucho antes de su aprobación final. Sin embargo, hay un acuerdo internacional al que se llegó durante la Cumbre Centroamericana Ecológica que reunió a los presidentes centroamericanos en 12/10/1994. En esta reunión se acordó realizar las acciones necesarias para el establecimiento de los *planes de ordenamiento territorial*.

Este proyecto de ley establece como instrumento básico del ordenamiento territorial, la división en zonas socio-ecológico-económicas, que permita identificar, describir y explicar las características de los sistemas ambientales, su potencial y limitaciones.

La división de zonas socio-ecológico-económicas determinará las siguientes 9 áreas:

- 1) Areas de características estratégicas del medio ambiente, económico, social, turístico, cultural-histórico, biológico y otros.
- 2) Espacios agro-ecológicos para orientar el lugar de las explotaciones agrícolas, incluyendo las actividades de cría de ganado, pesca y forestación.
- 3) Areas de uso sostenido para la formulación de estrategias y planes de administración de cuencas.
- 4) Areas de uso sostenido para la formulación de estrategias y planes de administración de costas marinas.
- 5) Areas para uso como asentamientos humanos
- 6) Areas para asentamientos mineros e industriales
- 7) Lugares para almacenamiento y tratamiento de residuos
- 8) Areas territoriales bajo reglamentos especiales
- 9) Corredores o cinturones territoriales para el sistema de carreteras, transporte de energía,

telecomunicaciones, oleoductos, etc.

2.8 REGLAMENTOS LOCALES PARA DIVISIÓN EN ZONAS, URBANIZACIÓN, DIVISIÓN DE LOTES Y CONSTRUCCIÓN

Esta ley fue publicada en el diario oficial La Gaceta en agosto/28/1992, como reglamento local para el Municipio del Distrito Central. Contiene varias regulaciones para la administración de cuencas.

De acuerdo con este reglamento local, todas las tierras con pendientes de menos del 20% y elevaciones de menos de 1,150 m sobre el nivel del mar pueden urbanizarse, excepto las áreas de deslizamientos de tierra (Art.1). Todas las áreas que no entran en la categoría anterior o que están dentro de los límites de los deslizamientos de tierra se consideran áreas de forestación (Art.2).

Además, se establece las obligaciones de los contratistas que construyen urbanizaciones, para que planten árboles en las correspondientes calles y se mantengan por lo menos tres años (Art.134).

Finalmente, es obligatorio para los constructores de viviendas que planten árboles en los Cerros con pendientes de más de 20%, con las especies más adecuadas, para evitar la erosión y sedimentación (Art. 136).

2.9 LEY PARA MODERNIZACIÓN Y DESARROLLO DEL SECTOR AGRÍCOLA

Esta ley se publicó en 1992 mediante decreto 3192. Devuelve la administración y usufructo (beneficio) a los propietarios de los bosques privados o a ejidales. La responsabilidad corresponde a AFE-COHDEFOR para la administración de bosques nacionales así como para promover, reglamentar y controlar las actividades forestales y la administración de áreas protegidas y fauna salvaje.

3. EROSIÓN DEL SUELO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para dar prioridad a las áreas de degradación crítica y planeamiento de medidas de conservación del suelo en la administración de cuencas, es necesario hacer una estimación. También es necesario para la estimación de la sedimentación de cuencas que equivale al nivel de la erosión total de la cuenca.

En este Estudio, la calidad erosiva del suelo se estima utilizando la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal (USLE). Originalmente, la USLE era una ecuación experimental utilizada para estimar la erosión en grandes modelos de tierras vastas y comparativamente planas. Los valores de erosión del suelo calculados con la USLE son las mejores estimaciones pero no son valores absolutos. Son generalmente más precisos para suelos de textura media, longitudes de pendiente de menos de 122 m, pendiente de 3% a 18%, y sistemas de administración de recorte y administración consistentes en las representaciones de los estudios de trazado de erosión. Cuando estos límites se superan más allá, mayor será la posibilidad de un error de extrapolación importante.¹

¹ Walter H. Wischmeier y Dwight D. Smith, 1978. página 47.

Sin embargo, en este caso, considerando la limitación de los métodos de estimación de la erosión en zonas pobladas y, teniendo en cuenta que el área del Estudio abarca más del 70% de las áreas despobladas forestales o agrícolas, la ecuación USLE se utiliza como primera estimación de ensayo.

3.2 ECUACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO UNIVERSAL (USLE)

La USLE se define como:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

donde:

- A: Cantidad de pérdida de suelo anual (ton/ha/año)
- R: Factor de lluvias y desplazamiento² (J/ha/año)
- K: Factor de erosión del suelo (ton/J)
- LS: Longitud de talud – Factor de empinado, sin dimensiones
- C: Factor de cubierta y administración, sin dimensiones
- P: Factor de práctica, sin dimensiones

De esta forma se puede expresar USLE en función de sus unidades, de la siguiente forma:

$$A \text{ (ton/ha/año)} = R \text{ (J/ha/año)} \times K \text{ (ton/J)} \times LS \times C \times P$$

Cada uno de estos factores se evalúa tal como se describió en las siguientes secciones.

3.2.1 FACTOR DE LLUVIAS Y ESCORRENTÍA, R

El factor R también se conoce como índice de erosión por lluvias³ o índice de erosionamiento por precipitaciones⁴. Puede definirse como fuerza de erosión de las precipitaciones⁵. Es el número de unidades índice de erosión de lluvias y también, es un factor para escorrentía por derretimiento de la nieve o agua aplicada cuando esta escorrentía es significativa⁶.

1) Parámetro EI

Por definición, el parámetro EI para una tormenta dada equivale al producto de energía de tormenta total (E) o la intensidad máxima en 30 minutos (I30). El EI es una abreviatura para la energía por intensidad.

La energía de la tormenta indica el volumen de lluvias y escorrentía pero una lluvia lenta y larga puede tener el mismo valor E que una lluvia más corta de mucha mayor intensidad. El componente I30 indica niveles pico prolongado de despegue y escorrentía. El término

² W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1978, página 4.

³ S.J. Goldman, et al, 1986. Erosion and Sediment Control Handbook. McGraw-Hill Publishing Company. New York, página 5.6.

⁴ N. Hudson, 1973. Soil Conservation. Batsford Limited, Great Britain, página 179.

⁵ USDA, 1980(?). Universal Soil Loss Equation. Caribbean Area, Technical Notes, página 4.

⁶ W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1978, página 4.

del producto, EI, es un término de interacción estadística que refleja cómo la energía total y la intensidad pico se combinan en cada tormenta particular. Técnicamente, indica cómo el despegue de partículas se combina con la capacidad de transporte.

2) Criterios de Selección de Lluvias Erosionadoras

Las lluvias que sean de menos de 12.5 mm (1/2 pulg.) que se produzcan durante un intervalo de más de 6 horas no se utilizan para el cálculo del factor de erosión porque son demasiado pequeñas para dicho intervalo. Sin embargo, se utilizarán las lluvias de por lo menos 6.35 mm (1/4 pulg.) que se produzcan durante un intervalo de 15 minutos {o una intensidad máxima de más de 25 mm/hora(1 pulg./hora)} .

El análisis preliminar muestra los valores EI de estas lluvias son normalmente demasiado pequeñas para un uso práctico y colectivamente afectan solo ligeramente el porcentaje mensual de los valores EI anuales.

Tabla I.3.1 Ejemplo de Cálculo del Factor de Erosión de Lluvias R

Fecha / hora	PLUVIOGRAMA		INCREMENTOS POR LLUVIA			ENERGIA	
	Prof.	Prof. Dif.	Duración	Cantidad	Intensidad	por cm	por incremento
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	acum. (mm)	h (mm)	t (min)	H(cm)	I (cm/h)	E'	E
				(3)/10	(5)x60/(4)		(5)x(7)
28/01/2000							
20:00	0.00						
:10	0.20	0.20	10	0.02	0.12	128	3
:20	2.50	2.30	10	0.23	1.38	222	51
:30	4.30	1.80	10	0.18	1.08	213	38
:40	5.50	1.20	10	0.12	0.72	197	24
:50	7.20	1.70	10	0.17	1.02	211	36
21:00	8.30	1.10	10	0.11	0.66	194	21
:10	9.80	1.50	10	0.15	0.90	206	31
:20	10.10	0.30	10	0.03	0.18	144	4
:30	10.20	0.10	10	0.01	0.06	101	1
:40	10.50	0.30	10	0.03	0.18	144	4
:50	10.80	0.30	10	0.03	0.18	144	4
22:00	11.10	0.30	10	0.03	0.18	144	4
:10	11.20	0.10	10	0.01	0.06	101	1
:20	11.50	0.30	10	0.03	0.18	144	4
:30	11.80	0.30	10	0.03	0.18	144	4
:40	11.90	0.10	10	0.01	0.06	101	1
:50	12.00	0.10	10	0.01	0.06	101	1
23:00	12.00	0.00	10	0	0.00	0	0
:10	12.00	0.00	10	0	0.00	0	0
:20	12.00	0.00	10	0	0.00	0	0
:30	12.10	0.10	10	0.01	0.06	101	1
:40	12.10	0.00	10	0	0.00	0	0
:50	12.20	0.10	10	0.01	0.06	101	1
00:00	12.20	0.00	10	0	0.00	0	0
:10	12.40	0.20	10	0.02	0.12	128	3
:20	12.50	0.10	10	0.01	0.06	101	1
		12.5	260	0.53	=I ₃₀		239
ENERGIA CINETICA DE LA TORMENTA:						Ex10 ⁻² =	2.39
						R = ExI₃₀x2=	3

De acuerdo, el ajuste del límite a 12.5 mm reduce en gran medida los costos del análisis de miles de datos de intensidad por año.

Los estudios muestran que el tamaño medio de las gotas de lluvia no siguen aumentando para intensidades de más de 7.6 cm/hora⁷. Si la duración de las lluvias es de menos de 30 minutos, I₃₀ será el doble de la cantidad de lluvias para esta duración.

⁷ W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1978, página 5.

3) Método de cálculo del Factor R

La energía cinética de determinada cantidad de lluvias depende del tamaño final y velocidad de las gotas de lluvia, que tienen relación con la intensidad de las lluvias. En la *Tabla I.3.1* se muestra un ejemplo de la energía calculada para cada centímetro de lluvias para cada intensidad. La energía (E) de determinada lluvia depende de la intensidad y cantidad y R recibe la influencia de E y el valor I_{30} .

Los intervalos al momento de lluvias en la columna (1) de la *Tabla I.3.1* conduce a la duración de lluvias en la columna (4). La diferencia entre las profundidades de las lluvias en la columna (3) se utilizó para determinar los valores en la columna (5). La multiplicación de los valores en la columna (5) por 60 y la división del resultado por los valores en la columna (4) determina la intensidad en la columna (6). La energía por cm de lluvias en la columna (7) se obtuvo utilizando la fórmula $E' = 210 + 89 \times \text{Log I}$, cuando los valores en la columna (6) representan I, o por inferencia de los valores en la columna (6) a los valores conocidos en la *Tabla I.3.2*. La columna (8) de la *Tabla I.3.1* es el resultado de la multiplicación de los valores en la columna (5) por la columna (7).

Tabla I.3.2 Energía Cinética de Lluvias, E', (ton-m/ha/cm)

Intensidad (cm/h)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0 ..	0	121	148	163	175	184	191	197	202	206
1 ..	210	214	217	220	223	226	228	231	233	235
2 ..	237	239	241	242	244	246	247	249	250	251
3 ..	253	254	255	256	258	259	260	261	262	263
4 ..	264	265	266	267	268	268	269	270	271	272
5 ..	273	273	274	275	275	276	277	278	278	279
6 ..	280	280	281	281	282	283	283	284	284	285
7 ..	286	286	287	287	288	288	289			

Los valores se determinaron utilizando la ecuación $E' = 210 + 89 \times \text{LogI}$, donde

E' = energía cinética en ton-m/ha/cm

I = intensidad de la lluvia en cm/hora

El valor de 289 en esta tabla también se aplica a todas las intensidades de lluvias que superan 7.6 cm/hora (o 3").

El ejemplo de la *Tabla I.3.1*, corresponde a la energía total de lluvias de 4^h20' del 28 de enero del 2000, que es de 239 tons - m/ha, que se multiplica por un factor constante de 1/100 para convertir la energía de las lluvias en las dimensiones en los que se expresan los valores de EI. El resultado 2.39, multiplicado por $I_{30} \times 2$ da un valor final de R=3 para estas lluvias.

La cantidad de lluvias durante un período de 30 minutos, de 20:10 a 20:40, fue de 0.53 cm (0.23 + 0.18 + 0.12). El factor R se calculó utilizando la fórmula $R = E \times I_{30} \times 2 = (2.39) \times (0.53) \times 2 = 2.53 \sim 3$

El valor EI para un tiempo especificado es la suma de los valores calculados para los períodos de lluvias importantes dentro de este período.

4) Valor Promedio de R

El valor anual del Índice de Erosión R es la suma de todos los valores dentro de ese año. El promedio para varios años es la suma de los valores anuales divididos por el número de

años.

Se recomienda analizar los datos tomados para los últimos 10 años. En Tegucigalpa, sólo la estación pluviográfica del aeropuerto Toncontín tiene datos continuos desde 1965 (35 años), mientras que la estación pluviográfica de SOPTRAVI instalada por JICA en 1994 sólo tiene datos de 7 años aunque algunos años están incompletos. Por lo tanto se utilizaron los datos de Toncontín.

En primer lugar, las lluvias erosionadoras producidas en cada estación se clasificaron para el período 1990-2000 tal como se indica en la *Tabla I.3.3*. Entre ellos, se observa que 1998 produjo el mayor número de lluvias erosionadoras con 50 contra un promedio de 32.

Tabla I.3.3 Número de Lluvias Erosionadoras y Lluvias Anuales (1990-2000)

Año	No. de lluvias erosionadoras	Lluvia anual (mm)
1990	28	674.5
1991	25	595.3
1992	33	728.4
1993	34	948.1
1994	21	620.9
1995	44	1,146.0
1996	41	899.5
1997	25	865.6
1998	50	1,179.8
1999	30	885.6
2000	23	791.9
Promedio	32	883.45

Además, conviene mencionar que, de acuerdo con los análisis específicos realizados para el período durante el Huracán Mitch se produjeron siete (7) lluvias erosionadoras separadas con una suma de valores de $R=102$ en el período de una semana del huracán (del 27 al 31 de octubre de 1998).

Para su referencia en la misma *Tabla I.3.3*, se compararon las lluvias anuales durante el período analizado. Se puede observar que existe una relación aproximada entre la cantidad de lluvias erosionadoras y el valor final de las lluvias para cada año. Este hecho permite suponer que hay una correlación entre ambos parámetros.

Por lo tanto, el valor R utilizado en el cálculo USLE son los valores promedios R tomando como base once años de registros de lluvias en la Estación del aeropuerto de Toncontín. La correlación entre las lluvias y el Índice de Erosión R produjo finalmente la ecuación $Y=0.337X-3.5337$ con un coeficiente de correlación de $R^2=0.7701$ que es bajo pero la cantidad de datos es poca (11 años). Se espera que, con más datos y de preferencia, con otras estaciones pluviográficas ubicadas en áreas montañosas, la correlación sea mejor. En consecuencia, se calcularon los valores R de otras estaciones en la cuenca utilizando la ecuación de correlación obtenida por los datos mensuales de lluvias y valores R de la estación del aeropuerto de Toncontín vista en la *Figura I.3.1*.

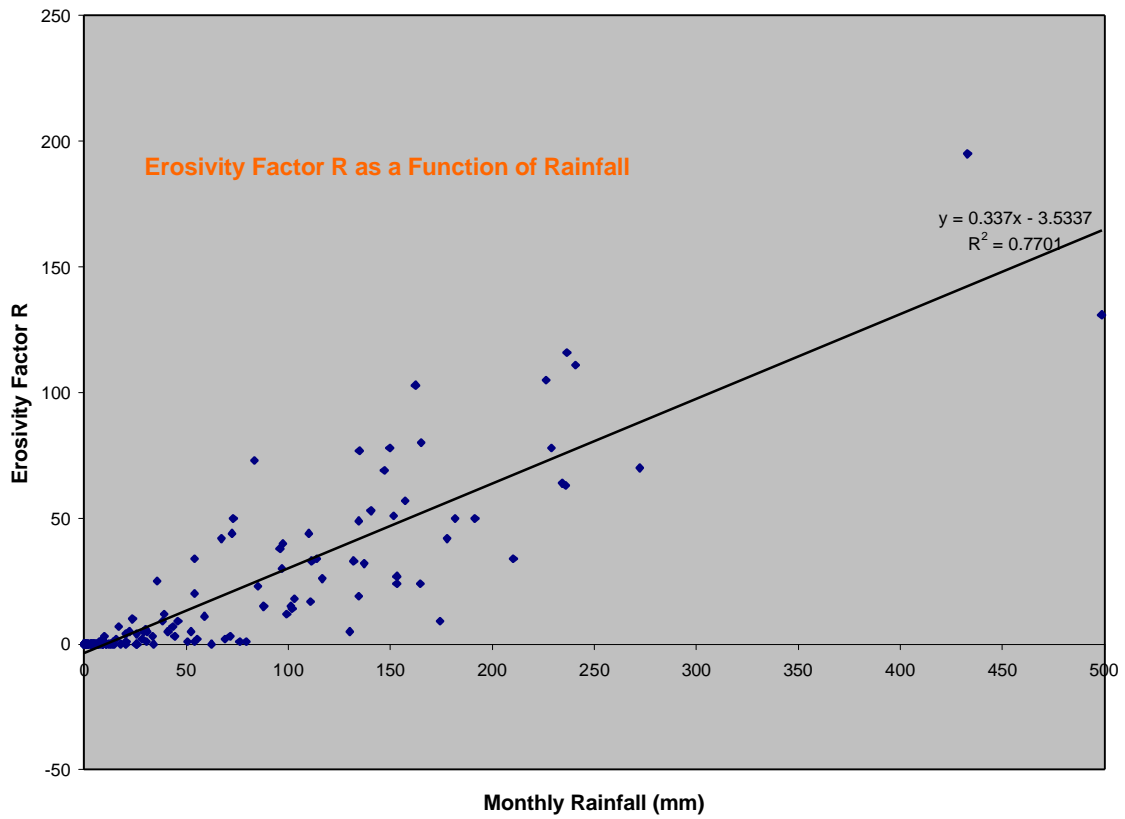


Figura I.3.1 Factor R como Función de las Lluvias

Por lo tanto, los valores correspondientes valores de R para las restantes ocho (8) estaciones de la cuenca se estimaron tal como se indica en la *Tabla I.3.4* y en la *Figura I.3.2* y finalmente la distribución de R a lo largo de toda la cuenca aparece en el mapa R de la *Figura I.3.3*.

Tabla I.3.4 Posición de las Estaciones Pluviométricas y Valores R

Cód.	Nombre de estación	Latitud	Longitud	Valor R
121	Concepción	14° 01' 00" N	87° 20' 00" W	331
176	Lepaterique	14° 03' 00" N	87° 27' 00" W	446
204	Toncontín	14° 03' 31" N	87° 13' 10" W	244
207	Santa Lucía	14° 07' 00" N	87° 07' 00" W	372
208	Col. 21 de Octubre	14° 06' 00" N	87° 12' 00" W	294
211	Villa Real	13° 59' 29" N	87° 09' 30" W	326
212	El Batallón	14° 04' 00" N	87° 15' 36" W	297
215	Quiebramontes	14° 05' 12" N	87° 18' 14" W	358
218	La Brea	14° 03' 12" N	87° 23' 29" W	457

R Values at the Choluteca River Basin (1990-2000)

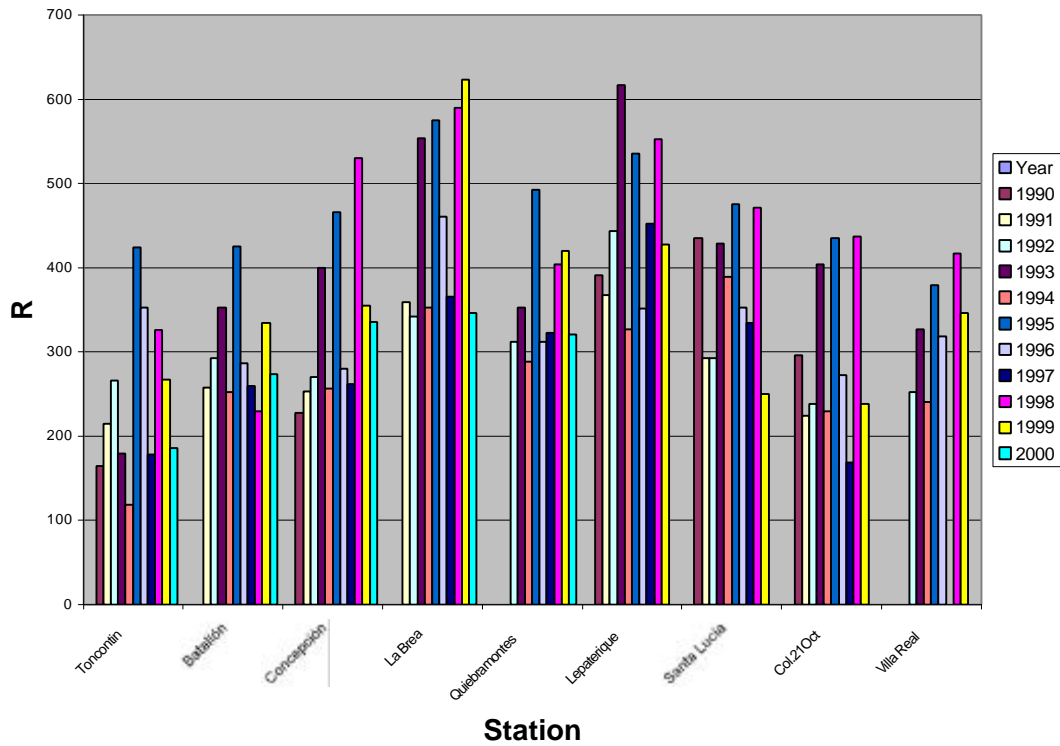


Figura I.3.2 Valores de R en la Cuenca del Río Choluteca (1990-2000)

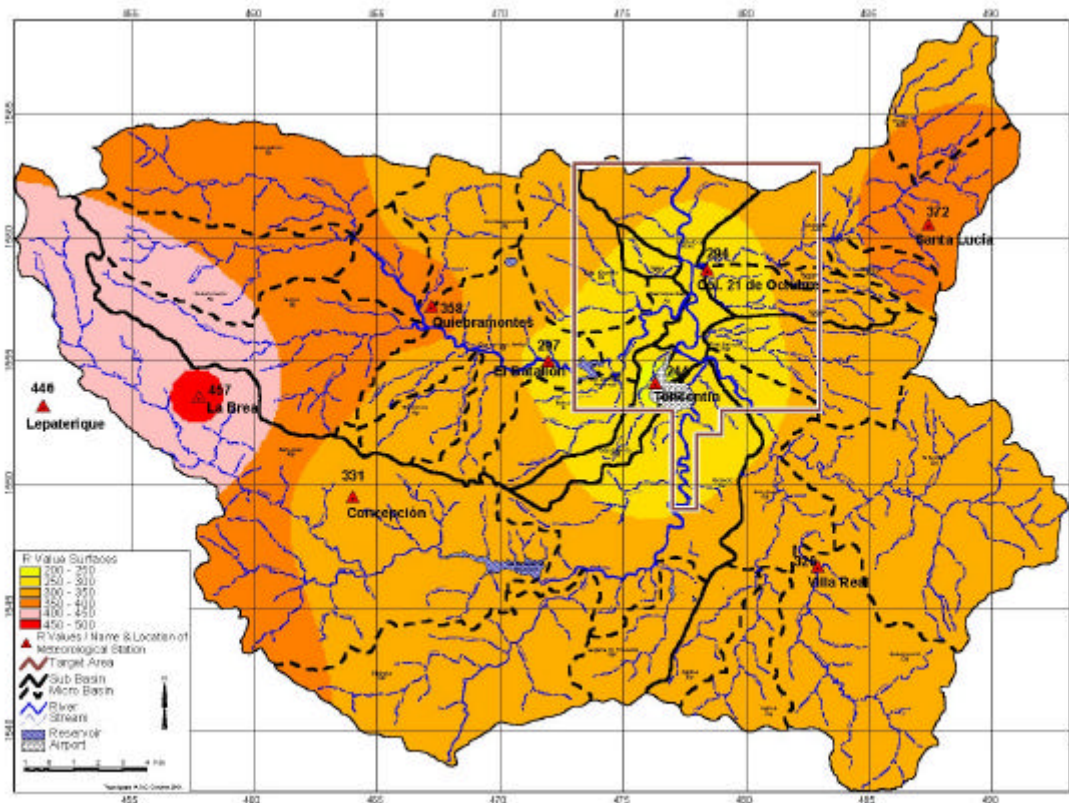


Figura I.3.3 Distribución de R a lo largo de las Microcuencas del Area de Estudio

Puede observarse que el factor R es mayor en el lado de la montaña por la influencia de las lluvias típica en esas áreas.

Para valores más precisos de R se recomienda en el futuro analizar una mayor serie de datos de lluvias así como cubrir algunas otras estaciones que no pudieron considerarse esta vez debido a que los datos son incompletos.

3.2.2 FACTOR DE ERODIBILIDAD DEL SUELO, K

El erodibilidad del suelo es la posibilidad de erosión que es la recíproca de la resistencia a la erosión. Se representa como K en la USLE. Para determinado suelo, el factor de erodibilidad es la rapidez de la pérdida del suelo por unidad del índice de erosión medido como “lote unitario”, definido arbitrariamente como sigue. Un lote unitario tiene un largo de 22.3 m con una pendiente a lo largo del 9, arada longitudinalmente y en barbecho durante más de 2 años.

En estas condiciones, el valor $LS \times C \times P$ se vuelve 1 y la pérdida del suelo se vuelve $A=RK$, por lo tanto $K = A/R = A/S(EI)$.

K puede estimarse utilizando la siguiente ecuación⁸:

$$K = 2.1 \times 10^{-6} \times M^{1.14} \times (12 - a) + 3.25 \times 10^{-2} \times (b - 2) + 2.5 \times 10^{-2} \times (c-3)$$

donde:

- M = (100 – relación de tierra (%)) [% (limo + arena fina)] es un parámetro de tamaño de partícula
- a = relación de material orgánica (%)
- b = código de estructura del suelo
- c = clase de permeabilidad de perfil

Estimación del Parámetro de Tamaño de Partícula, M

El factor M se estimará en este estudio por el análisis de tamaño de grano de los suelos en la cuenca.

Estimación de Materias Orgánicas, a

Las materias orgánicas se analizan para el suelo superficial tomando muestras.

Estimación del Código de Estructura del Suelo, b

El código de estructura del suelo, b, se clasifica de la siguiente forma:

1. granos muy finos
2. granos finos
3. granos medios o grandes

4. bloques, laminoso o macizo

Estimación de la Clase de Permeabilidad del Perfil, c

La Clase de Permeabilidad de Perfil se divide de la siguiente forma (Whischmeier, 1978):

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. rápido | 4. lento a moderado |
| 2. moderado a rápido | 5. lento |
| 3. moderado | 6. muy lento |

El coeficiente de permeabilidad se clasifica en la *Tabla I.3.5*.

Tabla I.3.5 Clasificación de Suelo de Acuerdo con los Coeficientes de Permeabilidad

Grado de Permeabilidad	Coeficiente de Permeabilidad (cm/seg)	Suelo típico
Alto	Más de 1×10^{-1}	Grava grande
Medio	1×10^{-1} ---- 1×10^{-3}	arena, arena fina
Bajo	1×10^{-3} ---- 1×10^{-5}	arena limosa, arena arcillosa
Muy bajo	1×10^{-5} ---- 1×10^{-7}	limo, arenisca fina
Casi impermeable	menos de 1×10^{-7}	arcilla

Fuentes: 1) Karl Terzaghi & Ralph B. Peck, 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd John Wiley & Sons, página 381 2) George B.Sowers et al, 1972. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Limusa-Wiley S.A. México, página 130

Por ultimo, los resultados de K para 14 muestras tomadas a lo largo de la cuenca aparecen en *Tabla I.3.6* y *Apéndice I.1*.

Tabla I.3.6 Valores de K para Muestras Tomadas en la Cuenca

No. muestra	1	2	4	6	7	9	10	11	12	13	15	16	19	20
K	0.95	0.58	0.64	0.15	0.09	0.34	0.94	0.42	0.67	0.32	0.48	0.36	0.54	0.31

Como puede observarse, estos valores varían de 0.09, alta resistencia a la erosión para suelos de grava a 0.97, erosión muy probable por suelos areniscos – limosos.

3.2.3 FACTOR TOPOGRÁFICO, LS

LS es la relación esperada de pérdida del suelo por área unitaria entre el talud de campo y un talud modelo con una longitud de 72.6 pies (22.13 m) y un talud longitudinal uniforme de 9%, bajo otras condiciones idénticas.

La estimación de pérdida de suelo se obtiene por la ecuación:

$$LS = (L/72.6)^m \times (65.41 \sin^2 Z + 4.56 \sin Z + 0.065)$$

donde:

⁸ W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1978, página 10

L = longitud de pendiente en pies

Z = ángulo de talud

m = de acuerdo con los siguientes valores dados para % de talud (*Tabla I.3.7*):

Tabla I.3.7 m Valor en Función de Pendiente del Talud

Pendiente del talud(%)	Valor de m
<1.0	0.2
=1.0 a =3.0	0.3
>3.0 a <5.0	0.4
=5.0	0.5

Fuente: Walter H. Wischmeier y Dwight D. Smith, 1978.

La ecuación anterior se tomó de taludes cultivados con pendientes de 3 a 18% y longitud de 30 a 300 pies (9 a 90 m), y condiciones de lluvias naturales. Los valores correspondientes y las áreas afectadas por LS se miden utilizando fotografías aéreas e imágenes de satélite.

3.2.4 FACTOR DE CUBIERTA Y ADMINISTRACIÓN, C

El factor C en la ecuación de pérdida del suelo es la relación de pérdida de suelo en una tierra cultivada en condiciones específicas a la correspondiente pérdida en barbecho continuo y ordenadamente arado.

Este factor mide el efecto combinado de todas las cubierta y variables de administración interrelacionada.

Los valores de C utilizados en este estudio aparecen en la *Tabla I.3.8* a continuación. Estos factores se aplican a las áreas medidas reales en el mapa de uso de la tierra obtenidos mediante el análisis de las fotografías aéreas. La clasificación de uso de la tierra para toda el área del Estudio aparece en la *Figura I.3.4* y *Tabla I.3.9*.

Classification of Land Use at Choluteca River Basin in Tegucigalpa

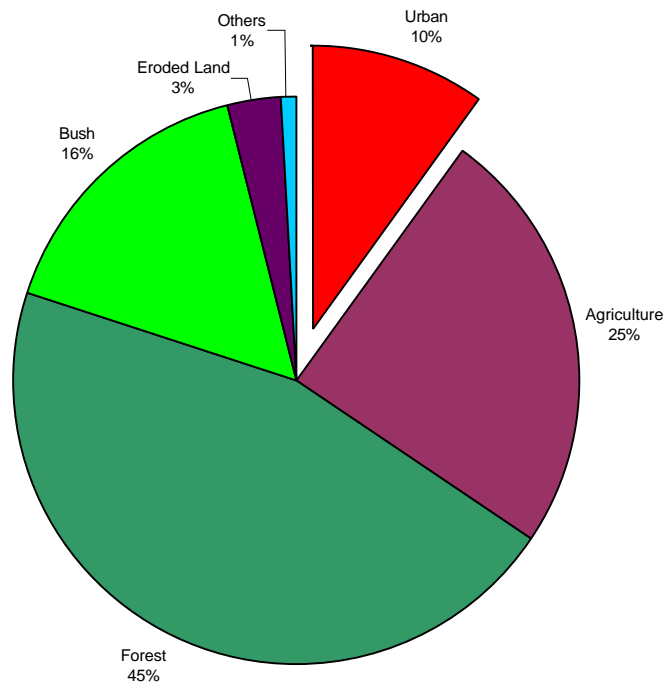


Figura I.3.4 Clasificación de Uso de la Tierra en el Area del Estudio

(Fuentes: 1) Fotografías aéreas de febrero de 2001 (este Estudio) 2) Mapa de uso de la tierra con escala 1:100,000 de ITS/C. Lotti & Associati, 1987, Proyecto Agua Subterránea y Montaña El Chile para Tegucigalpa.)

Tabla I.3.8 Valores del Factor C para Distintas Condiciones de Uso de la Tierra

COD.	Tipo de uso de la tierra	Factor C
101	Area urbana, alta densidad poblacional, ciudad capital	0.01
110	Area urbana, densidad poblacional media, municipios y ciudades principales	0.015
120	Area urbana, baja densidad poblacional, pueblos y aldeas	0.02
402	Cítricos	0.01
409	Granos básicos	0.3
415	Rotación granos básicos y verduras	0.3
425	Pasto natural	0.032
424	Pasto cultivado	0.005
427, 428	Rotación granos básicos y pasto	0.037
451	Bosque de pino	0.021
452	Bosque latifoliado	0.014
453	Bosque mixto, pino predominante	0.036
454, 456	Bosque mixto, latifoliado predominante	0.023
457	Bosque de roble, aunque ocasionalmente puede haber pino	0.020
458	Maleza, bosque de latifoliado de muchas especies, donde puede haber pinos	0.087
460	Tierras erosionadas, deslizamientos, etc.	0.65
1,000	Superficies de agua, embalses, ríos	0.000

Fuentes: 1) Fotografías aéreas de febrero de 2001 (este Estudio) 2) Mapa de uso de la tierra escala 1:100,000 de ITS/C. Lotti & Associati, 1987, Proyecto Agua Subterránea y Montaña El Chile para Tegucigalpa. 3) S. Savgoroniadya de C., 1990. Trabajos Geomorfológicos Cuantitativos. Proyecto de Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Renovables de la Cuenca del Embalse El Cajón.

En la *Tabla I.3.9* los porcentajes se refieren para todo el área del Estudio. En general, puede observarse que la cubierta forestal se mantiene como un 45.7% del total. Las tierras agrícolas

forman el 25% en la altiplanicie. Las áreas urbanas corresponden al 10% en total y producen la presión para convertir áreas de arbustos (16.1%) en tierras urbanizadas en el futuro cercano.

En la categoría de subcuencas, la forestación permanece sólo en algunos de ellos como el Río Grande (17.4%) y Guacerique (12.5%) mientras que el río San José (9.3%) y el río Chiquito (4.4%) tienen menos forestación. Esta condición tiene efectos de similar magnitud en la posibilidad de erosión para cada subcuenca.

3.2.5 FACTOR DE PRACTICA DE APOYO, P

El factor de práctica de apoyo, P, es la relación de pérdida del suelo con una práctica de apoyo a la correspondiente pérdida con un cultivo en el talud hacia arriba y abajo.

Se supone que P sea $P=0.95$, considerando que faltan prácticas de conservación del suelo dentro de la cuenca.

3.2.6 INTER-RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS USLE

La inter-relación entre todos estos factores aparece en el flujograma de USLE (Figura I.3.5).

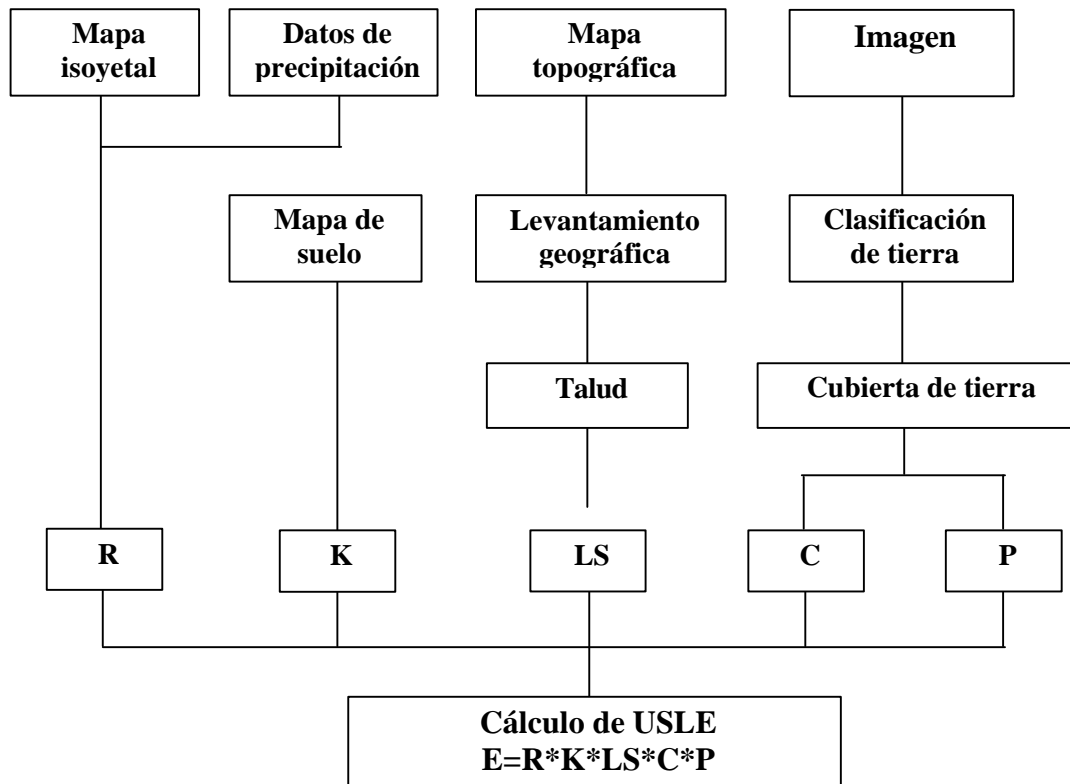


Figura I.3.5 Flujograma para Estimación de Erosión del Suelo por USLE

3.3 RESULTADOS DE LA EROSIÓN POTENCIAL

Los valores de erosión potencial se ordenaron de acuerdo con la “Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos” establecido por la FAO/PNUMA/UNESCO (1981), de la siguiente forma:

Pérdida del suelo (Ton/ha/año)

<10	Ninguno o poco
10-50	Medio
50-200	Alto
>200	Muy alto

Tabla I.3.10 Distribución de Pérdidas de Suelo en el Area de Estudio

No.	Cód	Subcuenca	Microcuenca	Pérdida de suelo (mm/año)	Erosión potencial E (Ton/ha/año)
					Alto:
1	Acho	Choluteca	Choluteca	12.6	157.74
2	Achi	Chiquito	Chiquito	6.9	85.64
3	Dsj	San José	Sabacuante	6.3	78.88
4	Cg	Guacerique	Qda. Grande	6.2	77.07
5	Dgr	Grande	Lag. El Pescado	6.0	75.38
6	Dchi	Chiquito	Mololoa	4.8	60.10
					Medio:
7	Cgr	Grande	Ojojona	3.8	47.74
8	Csj	San José	Ingles	3.6	45.63
9	Agr	Grande	Grande	3.6	45.03
10	Esj	San José	Tatumbra	3.5	43.90
11	Asa	Sapo	Sapo	3.4	42.44
12	Dg	Guacerique	Quebramontes	3.1	38.42
13	Echi	Chiquito	Trojas	2.8	34.87
14	Bchi	Chiquito	Lomas	2.7	33.84
15	Asj	San José	San José	2.4	30.50
16	Bg	Guacerique	Guacerique Arriba	2.0	25.26
17	Hg	Guacerique	Horcones	2.0	25.02
18	Cchi	Chiquito	Burras	2.0	24.67
19	Bsj	San José	Aguila	1.9	24.33
20	Bgr	Grande	San José	1.9	23.70
21	Ag	Guacerique	Guacerique Abajo	1.4	17.41
22	Aqs	Qda. Salada	Qda. Salada	1.3	16.29
23	Ig	Guacerique	Dulce	1.3	16.29
24	Eg	Guacerique	Guaralalao	1.0	12.51
25	Aqg	Qda. Grande	Qda. Grande	1.0	12.22
26	Fg	Guacerique	Quiscamote	1.0	12.07
					Ligero:
27	Gg	Guacerique	Mateo	0.8	9.71
		TOTAL:		3.3	41.36

La *Tabla 1.3.10* muestra los resultados generales de erosión potencial. Además, la *Figura 1.3.6* y un mapa con escala 1:50,000 adjunto a este Informe muestra la distribución de erosión potencial a lo largo de la cuenca. Puede observarse que hay seis (6) microcuencas clasificadas como de erosión potencial fuerte. Los restantes corresponden a erosión potencial moderada y ligera.

De acuerdo con la observación de campo, pudo confirmarse que los resultados teóricos encajan bien con las condiciones actuales en el campo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los datos de uso de la tierra corresponden al área objeto (unos 100 km² dentro de la cuenca) obtenidos de las fotografías aéreas tomadas en febrero de 2001 durante este Estudio, mientras que los datos de uso de la tierra correspondientes al resto del área (720 km²) se obtuvieron del mapa de uso de la tierra con una escala 1:100,000 de ITS/C. Lotti & Associati, 1987, Proyecto Agua Subterránea y Montaña El Chile para Tegucigalpa.

Por lo tanto, aunque los valores absolutos de erosión potencial no pueden ser muy precisos para cada microcuenca, no hay método suficientemente preciso para una cuenca tan grande, lo que podemos decir después de la inspección de campo es que la tendencia de erosión es consistente con los resultados numéricos.

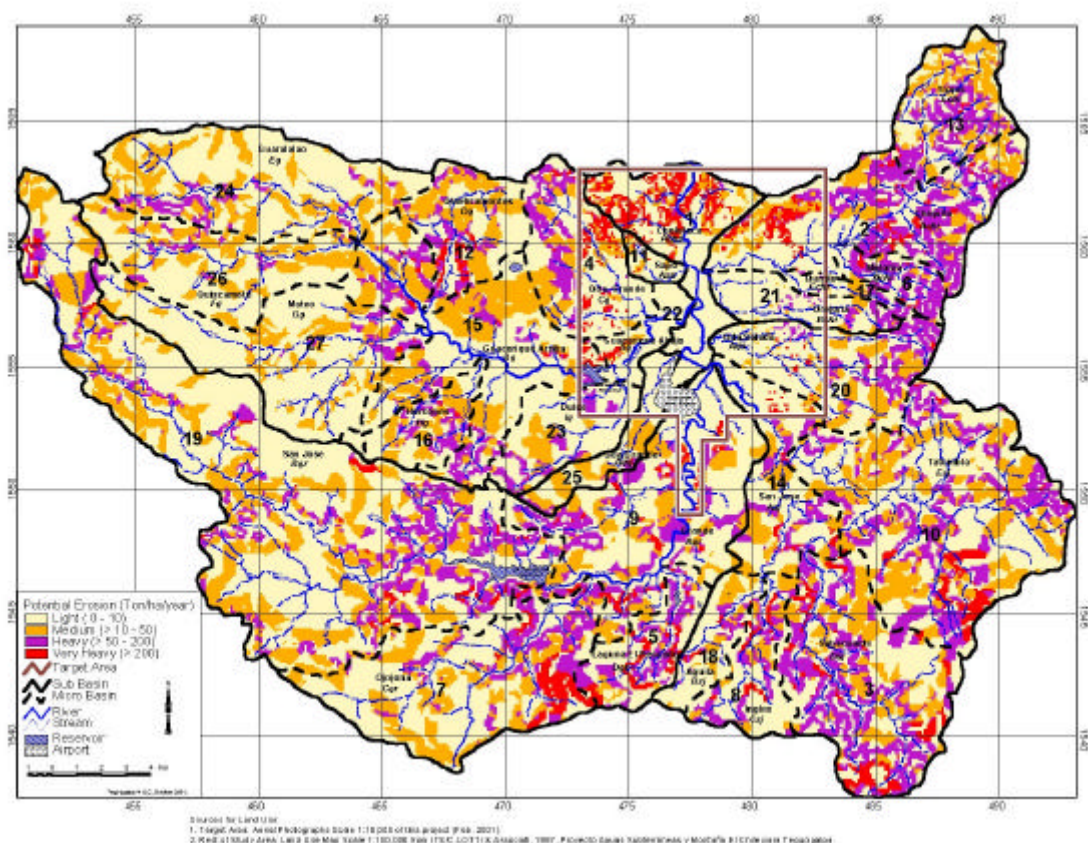


Figura I.3.6 Mapa de Erosión Potencial en las Microcuencas del Area de Tegucigalpa

Por lo tanto, considerando los resultados matemáticos de erosión potencial, el orden de prioridad es el indicado previamente.

La *Tabla 1.3.11* muestra las condiciones de uso de la tierra en las seis microcuencas de más alta

prioridad. Los porcentajes se refieren a distintos componentes de uso de la tierra. Puede observarse que, en general, la degradación de estas áreas está muy relacionada con el desarrollo urbano, la falta de bosques o las actividades de agricultura intensiva.

Tabla I.3.11 Distribución de Uso de la Tierra en Microcuencas Críticas (Km²)

No	Cód	Microcuenca	Area Total	Urban	%	Agric	%	Forest	%	Arbustos	%	Erosionado	%	Otros	%
1	Acho	Choluteca	24.89	10.52	42.3	0.11	0.4	3.69	14.8	0.35	1.4	9.54	38.3	0.69	2.8
2	Achi	Chiquito	41.43	7.13	17.2	7.47	18.0	16.61	40.1	6.85	16.5	3.16	7.6	0.22	0.5
3	Dsj	Sabacuante	47.49	5.63	11.8	23.17	48.8	3.66	28.8	5.04	10.6	-	-	-	-
4	Aqg	Qda.Grande	10.42	2.15	20.6	0.74	7.1	2.39	22.9	3.89	37.3	0.20	1.9	1.06	10.2
5	Dgr	Lg. Pescado	15.51	0.94	6.1	6.65	42.9	4.25	27.4	3.49	22.5	-	-	0.18	1.2
6	Dchi	Mololoa	7.30	0.22	3.0	2.26	31.0	3.23	44.2	1.59	21.8	-	-	-	-

Conviene analizar las microcuencas críticas más importantes de la siguiente forma:

3.3.1 MICROCUENCA DE CHOLUTECA (Foto I.3.1)

El área total de esta microcuenca es de 24.89 km² y empieza en la confluencia del río San José y Quebrada Grande con el principal río Choluteca al norte del aeropuerto Toncontín. Sin embargo, las áreas críticas con alto potencial de erosión son sólo 5.3 km² (21% del total), aunque las áreas erosionadas en diferentes grados suben a 9.5 km² (38%) y, de acuerdo con el Mapa de Erosión se ubican cerca del deslizamiento de tierra Berinche siguiendo al norte hasta el Punto A en la salida de la cuenca a ambos lados del río Choluteca. La mayoría corresponde a áreas de pendiente fuerte apropiadas para bosques densos. Actualmente se convirtió en arbustos después de tener una cubierta forestal de pinos que todavía pueden verse en áreas donde apenas queda este árbol. Puede observarse una gran presión de urbanización en esta área que es la salida a carreteras principales (Viejo a la derecha y Nuevo en el margen izquierdo) a la Provincia Olancho. En consecuencia, la gente del vecindario ha cortado árboles para su propio uso doméstico o para vender como leña. En la actualidad esta área tiene más del 42% del área urbana estimada y en varios años más se estima que se volverá un área urbana, ya que hay varios desarrollos de viviendas en curso. Varios desarrollos urbanos iniciaron como asentamientos (“invasiones”) en áreas inestables como Miramesí, Sagastume y otros que están ubicados en antiguos deslizamientos de tierra del Cerro El Picacho. De esta forma, en la práctica, el desarrollo de los trabajos de control de erosión /sedimentos en estas áreas, además de los que ya están en la etapa de planeamiento para el área de Berinche en la misma microcuenca, pueden volverse comparativamente difíciles debido a la tenencia de la tierra y uso futuro dentro de las áreas urbanas. Además, los efectos del control de erosión/sedimentos para el Area de Estudio (incluyendo la ciudad de Tegucigalpa) son insignificantes debido a que la zona está fuera de la cuenca y no pueden esperarse grandes beneficios para las áreas río arriba de la cuenca.

Sin embargo, para las áreas donde todavía puede retrasarse la urbanización, se recomienda la forestación con árboles nativos, especialmente pinos y, simultáneamente, la protección del suelo con pasto local tales como pasto Valeriana.



Foto I.3.1 Tierras Deforestadas Convertidas en Arbustos de la Microcuenca Choluteca en la Salida de la Cuenca.

3.3.2 MICROCUENCA DEL RÍO CHIQUITO (Foto I.3.2)

La microcuenca tiene un área total de 41.43 km². Tiene unos 15 km² (36%) de erosión de alto potencial, es decir, tres veces el área de la microcuenca del Choluteca. Las áreas críticas están dispersas en la microcuenca desde río arriba del Río Chiquito en las quebradas Santa Elena y Jabonera donde el río empieza en el noreste, hasta varias quebradas pequeñas en el Barrio El Rincón en el norte cerca del deslizamiento de tierra El Reparto.

Esta microcuenca todavía tiene un 40% de cubierta forestal, la parte norte pertenece al Parque Nacional La Tigra y está distribuido como pinos por debajo de 1.500 m sobre el nivel del mar, bosque mezclado a entre 1.500 y 1.700 m sobre el nivel del mar y latifoliados a más de 1700 m sobre el nivel del mar. Las áreas urbanas y actividades agrícolas están aumentando (17% y 18% respectivamente). Por lo tanto es urgente empezar los trabajos de control de erosión-sedimentos en estas áreas.

Dentro de esta microcuenca hay dos grandes deslizamientos de tierra, uno de 700mx350m aprox. (magnitud similar al deslizamiento de tierra Berinche), y otro de unos 100mx50m. Durante el Huracán Mitch ambos se convirtieron en flujo de escombros, total (el pequeño) y parcial (el grande) y se produjeron muchos daños por corte de carretera de Tegucigalpa a la ciudad Valle de Angeles y arrastrando varias casas en su camino.

Los deslizamientos de tierra empezaron por las lluvias prolongadas del Huracán Mitch. Sin embargo, la inestabilidad de estas áreas está relacionada con su origen geológico. Aunque la base está compuesta por rocas de grandes fallas del Cretáceo (lutita, limolita y arenisca) de la formación del río Chiquito (Grupo Valle de Angeles), los materiales de superficie en el deslizamiento de tierra más grande corresponden a una capa de varios metros de rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Padre Miguel del período Terciario, más joven que la base y está compuesta por una secuencia de ignimbritas de tobas riolíticas/dacíticas/andesíticas. Está ubicado principalmente en el Cerro El Granadillo (un cerro de 2,000 m sobre el nivel del mar) desde donde parece venir el deslizamiento de tierra. Puede decirse que el material volcánico restante de la superficie está deslizándose en la base sedimentaria.

Otros factores que influyen en la inestabilidad son las condiciones topográficas (pendientes de 33% a 63%) y el repentino cambio en el uso de la tierra (de bosque denso a agricultura), que ocurrió en esta área en las últimas décadas.

De cualquier forma, para estas áreas de deslizamientos, es necesario un estudio geológico y geotécnico detallado para determinar el mecanismo de deslizamiento de tierra y su procedimiento para estabilizarlo.

Sin embargo, todas estas áreas posibles deben devolverse a su uso original como bosque porque fue establecido por ley, ya que pertenece al Parque Nacional La Tigra, que no permite actividades de agricultura intensiva.

Aparte de las medidas estructurales propuestas en este Estudio, las instituciones relacionadas como SOPTRAVI, COHDEFOR, SANAA y AMDC deben negociar con los agricultores locales para que cambien del uso actual de la tierra, empezando un programa de forestación en gran escala a cambio de incentivos que pueden darse en forma de cooperación técnica o económica. De forma alternativa, la Secretaría de Agricultura debe extender cooperación técnica para la tecnología de conservación del suelo.

Después del Huracán Mitch la FAO reconoció la importancia de esta área para su conservación y trabajó durante unos dos años en esta zona para su forestación con árboles de café y terrazas de pasto Valeriana, pero no tuvo éxito debido a la falta de viveros. Además, antes del Mitch, USA-AID estaba dando cooperación técnica a los campesinos locales con el propósito de trabajar en laderas de cerros. Esto se hizo mediante un proyecto denominado LUPE (Land Use productivity Enhancement o Incremento de Productividad de Uso de Tierra) que ya no funciona más. Los efectos de su trabajo no pueden observarse ahora.



Foto I.3.2 Localización de Deslizamientos de Tierra en la Quebrada Santa Elena (arriba derecha) y la Quebrada Jabonera (arriba izquierda). Esta zona fue seleccionada para el Area de Proyecto Piloto debido a su condición de degradación.

3.3.3 MICROCUENCA DE SABACUANTE (Foto I.3.3)

La microcuenca tiene un área total de 47.49 km². Tiene unos 18 km² (38%) de erosión de alto potencial. Las áreas críticas están esparcidas en toda la microcuenca pero es especialmente grande en áreas de elevaciones entre 1,800 y 1,900 m sobre el nivel del mar, en la parte sur de la cuenca, en la Montaña de Izopo, donde el bosque se está sustituyendo gradualmente (29%) por actividades agrícolas y arbustos (60%). El uso de la tierra se distribuye de la siguiente forma: pinos al sur, robles al oeste, arbustos, bosque y tierras agricultura mezclados en el centro.



Foto I.3.3 Altiplano Deforestado en la Microcuenca Sabacuanca. Las áreas erosionadas pueden observarse en el interior.

3.3.4 MICROCUENCA DE QUEBRADA GRANDE (Foto I.3.4)

La microcuenca tiene un área total de 25.14 km². Tiene unos 4 km² (16%) de erosión de alto potencial. Las áreas críticas están ubicadas río arriba en la mayoría de las zonas urbanizadas que bordean la microcuenca del río Choluteca. Un 57% del área total está ocupada por áreas urbanas y arbustos, reduciéndose el área forestal que se estima en 23%.



Foto I.3.4 Expansión Urbana en la Microcuenca Quebrada Grande (subcuenca Guacerique). En la parte de abajo del Cerro Pedregal hay nuevos asentamientos humanos ilegales de cajas de cartón (centro superior)

3.3.5 MICROCUENCA DE LA LAGUNA DEL PESCADO (Foto I.3.5)

La microcuenca tiene un área total de 15.51 km². Tiene unos 5.8 km² (37%) de erosión de alto potencial. Las áreas críticas están ubicadas río arriba en el borde de la microcuenca de Ojojona en el Cerro de Hule. Un 65% del área total está ocupada por actividades agrícolas y áreas de arbustos, reduciendo el área forestal estimado en 27%. Sin embargo, después del Huracán Mitch, los vecinos y algunas ONG han tomado consciencia y están plantando árboles para forestación de las áreas superiores.



Foto I.3.5 Inicio de la microcuenca de la Laguna del Pescado en el Cerro de Hule.

3.3.6 MICROCUENCA DE MOLOLOA. (Foto I.3.6)

La microcuenca tiene un área total de 7.30 km². Tiene unos 3.6 km² (49%) de erosión de alto potencial. Las áreas críticas están ubicadas en áreas recientemente deforestadas que se han convertido en asentamientos urbanos de casas de Madera y cartón y que se instalan en los cerros al lado de la quebrada Mololoa. Un 53% del área total está ocupada por actividades agrícolas y áreas de arbustos.



Foto I.3.6 Microcuenca de Mololoa

4. SEDIMENTACIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

En este estudio, se estimó la formación de sedimentos con tres métodos. El primero es el nivel de suministro por la erosión potencial. Da el suelo final que se transporta como sedimento a la salida de la cuenca, en este caso, se tiene en cuenta sólo la erosión de lámina (calculada por USLE), no contando lecho del río y erosión en torrentera. El Segundo método es la estimación del sedimento transportado basado en sólidos totales en el agua, tal como se analizó durante el último año. El tercer método consiste de un procedimiento gráfico empírico de predicción de producción de sedimentos como una función del área de captación, utilizando una envolvente de datos de un gran número de ríos trazados contra el tamaño del área colectora.⁹

Los resultados de estas estimaciones se describen en las siguientes secciones.

4.2 MÉTODO DE SUMINISTRO BRUTO DE EROSIÓN-SEDIMENTOS

En este método se utilizan los resultados de USLE.

El suministro de sedimentos se calcula de la siguiente forma¹⁰:

$$Y_s = E(DR)/W_s$$

Donde:

Y_s = Suministro de sedimentos por área unitaria (ton/ha)

E = Erosión bruta (ton)

DR = Relación de suministro de sedimentos (%)

W_s = Área de cuenca encima del punto para el que se computa la producción de sedimentos (ha)

El valor de DR puede obtenerse de la siguiente forma:

$$DR = A^a$$

Donde:

A = Área de drenaje (km²)

El factor a depende del área de cuenca y está dado en la *Tabla I.4.1* y *Figura I.4.1*.

⁹ N. Hudson, 1973. Soil Conservation, BT Batsford Limited, Londres, página 291

¹⁰ W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1978. página 45.

Tabla I.4.1 Factor a en Función del Area de Drenaje

Area de drenaje, A (km ²)	Nivel de sedimentación (a)
0.05	0.58
0.1	0.52
0.5	0.39
1	0.35
5	0.25
10	0.22
50	0.153
100	0.127
500	0.079
1,000	0.059

Fuente: SCS de los EE.UU (1971). Mencionado por M.J.Kirkby & R.P.C. Morgan, 1984.

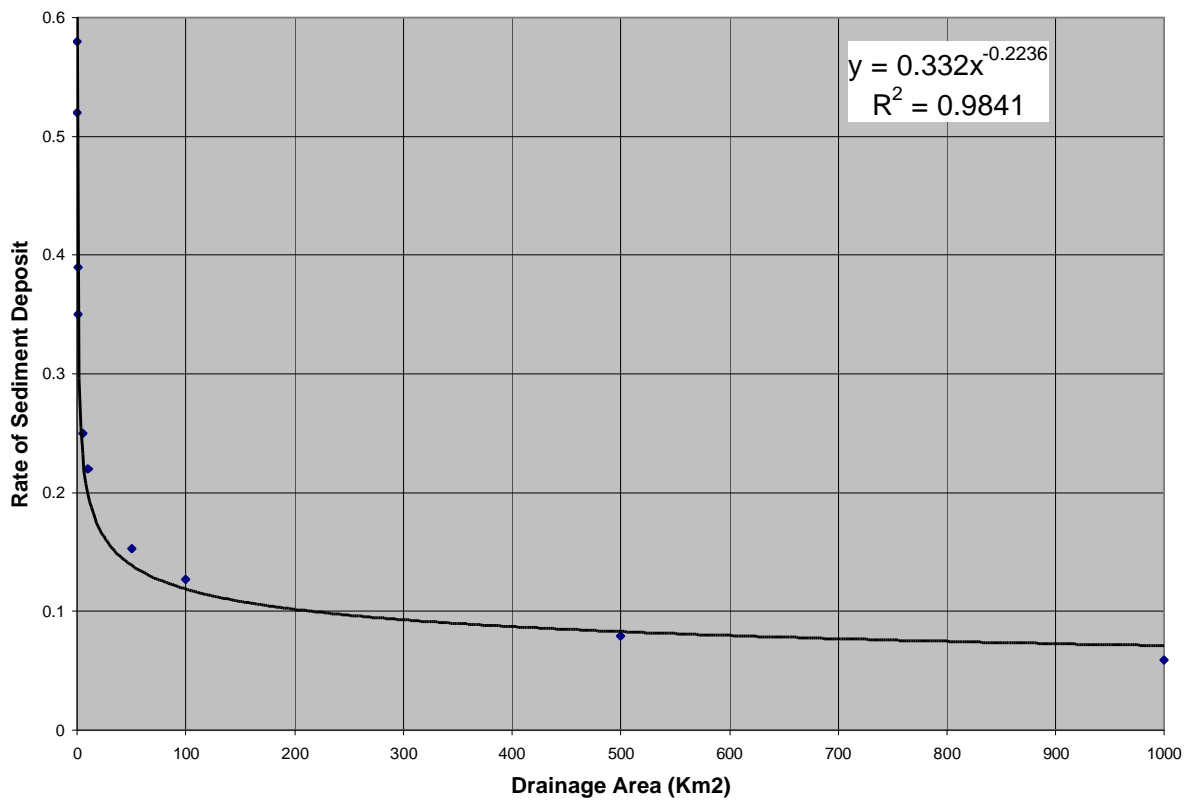


Figura I.4.1 Nivel de Depósito de Sedimentos en Función del Area de Drenaje

Los resultados de esta estimación aparecen en la *Tabla I.4.2*. Puede observarse que el nivel de suministro es de un 2%, que significa el suelo erosionado final transportado como sedimentos a un punto específico de la cuenca, en este caso, a la salida de cada microcuenca.

Tabla I.4.2 Estimación de producción de sedimentos de la erosión (Método de nivel de entrega)

No.	Cód.	Microcuenca	Area Total (Ha)	Erosión Total (Ton/año)	Erosión potencial promedio E (Ton/ha/año)	Alfa	DR(%)	Sedimentos $Y_s=E(DR)/W_s$ (Ton/ha/año)	Sedimentos $Y_s=E(DR)/W_s$ ($m^3/km^2/año$)
1	Acho	Choluteca	2,489	392,621	157.74	0.22	2.05	3.23	258.19
2	Achi	Chiquito	4,143	354,814	85.64	0.20	2.10	1.80	143.60
3	Dsj	Sabacuante	4,749	374,615	78.88	0.19	2.10	1.66	132.81
4	Cg	Qda. Grande	2,514	193,764	77.07	0.22	2.05	1.58	126.23
5	Dgr	Laguna El Pescado	1,551	116,920	75.38	0.25	1.97	1.49	118.88
6	Dchi	Mololoa	730	43,870	60.10	0.29	1.79	1.08	86.07
7	Cgr	Ojojona	5,029	240,066	47.74	0.19	2.11	1.01	80.49
8	Csj	Ingles	1,471	67,115	45.63	0.25	1.96	0.89	71.58
9	Agr	Grande	5,287	238,091	45.03	0.19	2.11	0.95	76.01
10	Esj	Tatumbra	7,303	320,631	43.90	0.18	2.12	0.93	74.44
11	Asa	Sapo	294	12,476	42.44	0.36	1.47	0.63	50.00
12	Dg	Quiebramontes	1,896	72,838	38.42	0.24	2.01	0.77	61.67
13	Echi	Trojas	1,998	69,672	34.87	0.23	2.01	0.70	56.21
14	Bchi	Lomas	1,128	38,176	33.84	0.27	1.90	0.42	51.56
15	Asj	San José	2,260	68,941	30.50	0.23	2.03	0.62	49.61
16	Bg	Guacerique Arriba	4,904	123,869	25.26	0.19	2.11	0.53	42.56
17	Hg	Horcones	1,097	27,450	25.02	0.27	1.90	0.47	37.99
18	Cchi	Burras	376	9,276	24.67	0.34	1.57	0.39	30.95
19	Bsj	Aguila	1,066	25,935	24.33	0.27	1.89	0.46	36.80
20	Bgr	San José	13,944	330,501	23.70	0.15	2.11	0.50	40.06
21	Ag	Guacerique Abajo	729	12,694	17.41	0.29	1.79	0.31	24.93
22	Aqs	Qda.Salada	2,682	43,678	16.29	0.22	2.06	0.44	26.78
23	Ig	Dulce	1,677	27,325	16.29	0.24	1.99	0.32	25.88
24	Eg	Guaralalao	4,350	54,429	12.51	0.20	2.10	0.26	21.01
25	Aqg	Qda.Grande	1,042	12,729	12.22	0.27	1.89	0.23	18.43
26	Fg	Quiscamote	3,041	36,711	12.07	0.21	2.07	0.25	19.98
27	Gg	Mateo	4,215	40,921	9.71	0.20	2.10	0.20	16.29
		Total o Promed.	81,965	3,350,128	41.36		1.98	0.82	65.89

4.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Mediante el uso de datos de sólidos totales de 1999 (promedio de estaciones de lluvias y seca) se hizo una estimación del transporte de sedimentos tal como aparece en la *Tabla I.4.3* y *Figura I.4.2*.

Tabla I.4.3 Transporte de Sedimentos (1999)

Afluente	Area (Km2)	Sólidos Totales (mg/l)	Estación	Q promedio (m^3/seg)	Estación	Transporte sedimentos ($m^3/km^2/año$)
Guacerique	244.23	113.42	Batallón-Guaralalao	1.393	Guacerique II	16
Concepción (R.San José)	258.11	285.00	Entrada al depósito	0.895	Concepción	25
Sabacuante	47.49	79.33	Q.Sabacuante	0.427	El Aguacate	18
Tatumbra	73.03	67.00	Q. Tatumbra	0.359	El Incienso	8

Aunque los datos están limitados a unas pocas estaciones y no se tomaron muestras del Río Chiquito, los resultados muestran una clara concentración de sedimentos disueltos en el flujo del Río San José en la entrada de la represa Concepción. Esta situación puede explicarse por

una gran área agrícola en esta microcuenca que corresponde al 4,2% del total, representando el nivel más alto de toda el área de estudio (vea la Tabla I.3.9). Debe tenerse en cuenta que el nivel de cubierta forestal también es el más alto de esta microcuenca con 11.5%, sin embargo, el efecto de la agricultura y pueblos vecinos río arriba en el depósito es importante. Por otro lado, el afluente Tatumbra tiene el nivel más bajo de sedimentos transportados de una microcuenca con un gran nivel de cubierta forestal (6.1%), el segundo de toda el área del Estudio.

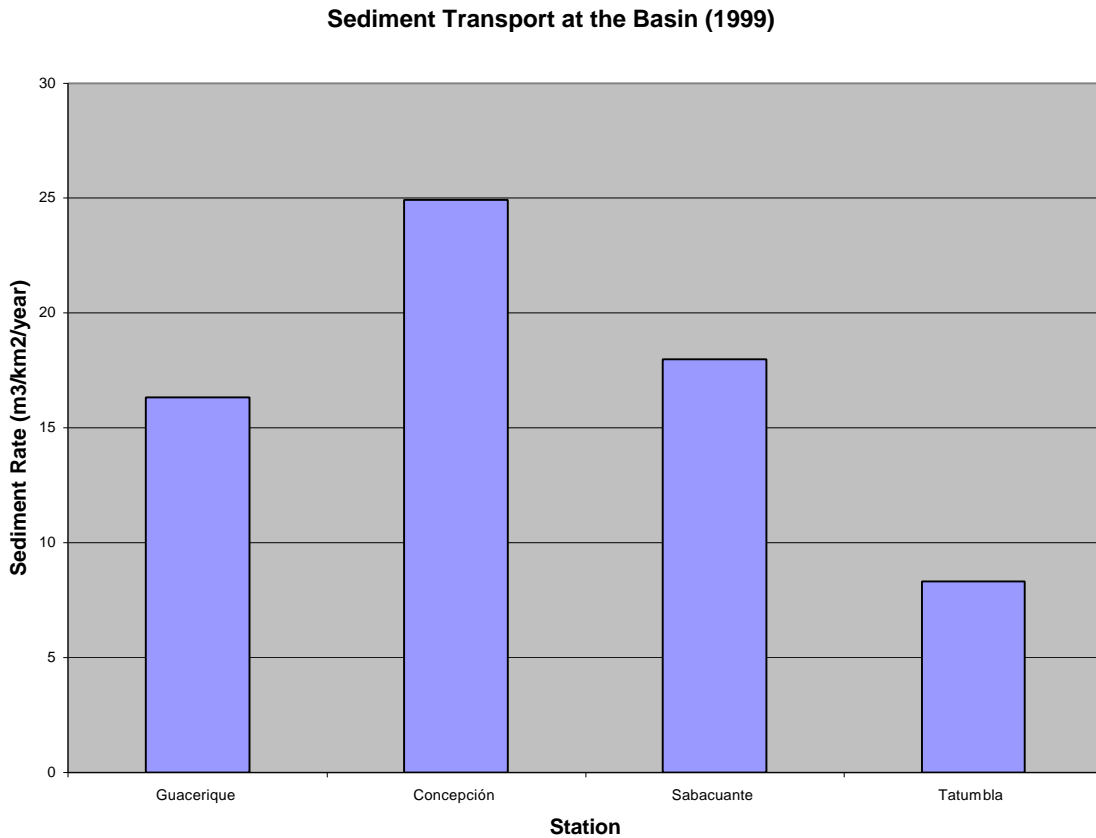


Figura I.4.2 Transporte de Sedimentos en los Afluentes del Río Choluteca en Tegucigalpa (1999)

4.4 PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE AREAS COLECTORAS

La producción total de sedimentos en el área de Estudio se estimó utilizando un método gráfico. En la *Figura I.4.3* podemos observar que la producción de sedimentos se trazó contra una serie de áreas de captación dibujando una envolvente que encierra un porcentaje elegido de puntos trazados.

Mediante el uso de este método gráfico, el suministro de sedimentos para el área del Estudio se estimó tal como se indica en la *Tabla I.4.4* y *Figura I.4.4*.

Tabla I.4.4 Estimación de Suministro de Sedimentos en Función del Area de Captación

Afluente	Area (km ²)	Suministro de sedimentos (ton/ha/año)	Suministro de sedimentos (ton/km ² /año)	Suministro de sedimentos (m ³ /km ² /año)
Choluteca (Ppal)	24.89	15.40	1,540	1,232
Q.Sapo	2.94	30.00	3,000	2,400
Guacerique	244.23	7.00	700	560
Q. Grande	10.42	30.00	3,000	2,400
R. Grande	258.11	6.80	680	544
San José	168.50	6.00	600	480
Q. Salada	26.82	14.50	1,450	1,160
Chiquito	83.74	5.80	580	464
TOTAL:	819.65	5.00	500	400

Sediment Yield by Tributaries

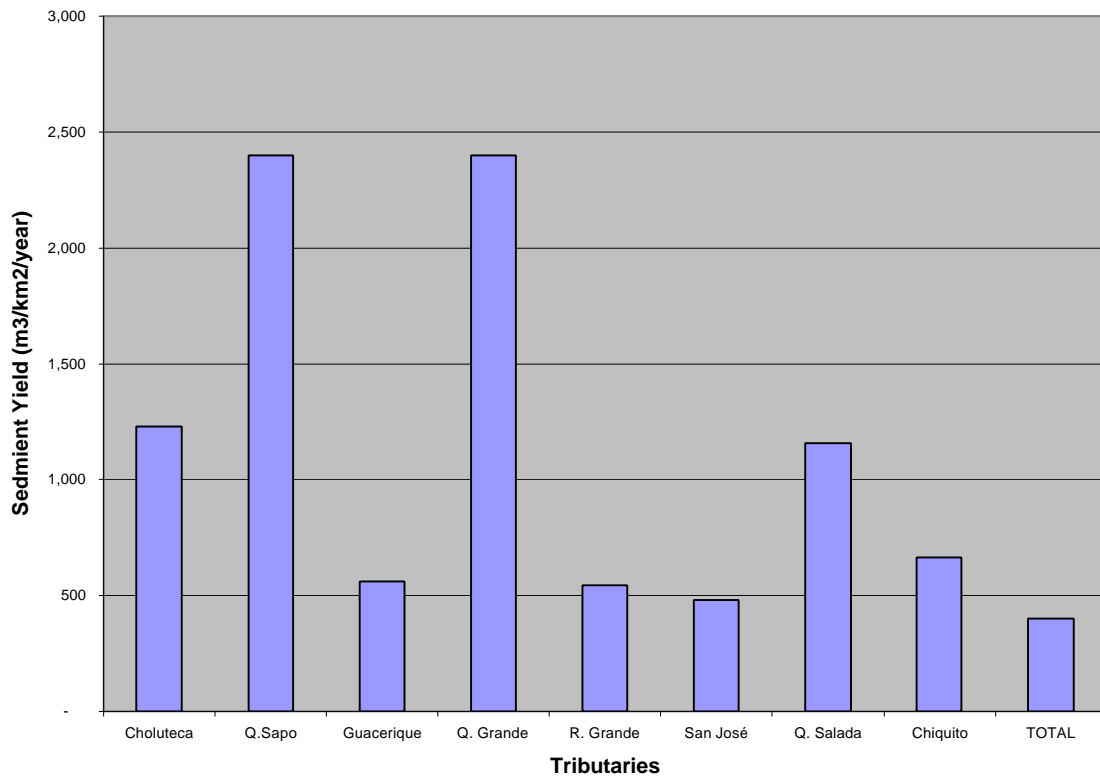


Figura I.4.4 Suministro de Sedimentos por Afluentes en la Cuenca del Río Choluteca en el Area de Estudio