



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA EXPLOTACIÓN, MANEJO E IMPACTO
SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL
RÍO CAOHACÁN (CHIAPAS)**

T E S I S

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRO EN INGENIERÍA
(HIDRÁULICA)**

PRESENTA
GERMÁN SANTACRUZ DE LEÓN

DIRECTOR DE TESIS
DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ



MÉXICO D.F.

JUNIO DE 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A G R A D E C I M I E N T O S

A mis queridos padres: Jovita y Eugenio, por enseñarme el camino, por su amor y apoyo incondicional.

A mi esposa Angeles. A mis hijos Tadeo y Marina. Por su amor y por las horas robadas.

A mis hermanos: frutos del mismo árbol. En especial a mi hermano Eugenio, quien ha marcado una buena parte del sendero.

Al Dr. Jesús Gracia Sánchez: por ser mi maestro y por haber aceptado la dirección de la presente tesis.

Al M. en I. Víctor Franco, por su apoyo durante mis estudios en el posgrado.

A los Doctores Carlos Fuentes Mariles, Ramón Domínguez Mora, Carlos Escalante Sandoval, por sus comentarios a la presente tesis.

A la gloriosa Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por permitirme continuar con mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para la realización de mis estudios de posgrado en Ingeniería Hidráulica.

INDICE GENERAL

Resumen.....	1
I.- Introducción y Objetivos.....	3
II.- Antecedentes.....	7
2.1.- Variables del ciclo hidrológico.....	7
2.2.- Contaminación de los cuerpos de agua.....	10
III.- Generalidades.....	16
3.1.- Localización y extensión de la cuenca hidrológica del río Caohacán.....	16
3.2.- Características socioeconómicas de las poblaciones ubicadas dentro de la cuenca.....	19
3.3.- Características climáticas y edafológicas de la cuenca.....	22
3.3.1.- Características climáticas.....	22
3.3.2.- Características edafológicas de la cuenca.....	25
3.4.- Uso de suelo en la cuenca.....	31
IV.- Análisis de la hidrología superficial de la cuenca del río Caohacán.....	34
4.1.- Localización de las estaciones climatológicas.....	34
4.2.- Análisis de la precipitación pluvial y de la evaporación.....	35
4.3.- Análisis de la hidrometría.....	37
4.3.1.- Localización de las corrientes superficiales y de las estaciones hidrométricas existentes.....	38
4.3.2.- Volúmenes escurridos.....	39
4.4.- Calidad del agua superficial.....	40
4.4.1.- Marco legal. Normas.....	40

4.4.2.- Características físicas, químicas y biológicas del agua.....	41
V.- Análisis de la hidrología subterránea.....	43
5.1. - Aprovechamientos subterráneos, características.....	43
5.2. – Ubicación de los aprovechamientos subterráneos.....	44
5.3. - Calidad del agua subterránea.....	44
5.2.1.- Características físicas, químicas y biológicas del agua.....	45
VI.- Cálculo de la erosión en la cuenca.....	46
6.1. Primer escenario – Condiciones actuales.....	46
6.2. Segundo escenario – Modificaciones vegetales en la cabecera de la cuenca.....	68
6.3. Tercer escenario – Sin modificaciones vegetales en la cabecera de la cuenca y con prácticas de conservación de suelo.....	70
VII.- Lineamientos para disminuir los procesos de erosión en la cuenca.....	78
VIII.- Conclusiones.....	83
IX.- Bibliografía.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Principales grupos de contaminantes.....	11
Tabla 3.1. Producción agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural 08 Tapachula.....	20
Tabla 3.2. Cambios anuales del área de cultivo (ha) en el Distrito de Desarrollo Rural 08 Tapachula.....	21
Tabla 3.3. Población y superficie territorial de los municipios dentro de la cuenca del Río Cahocacán.....	22
Tabla 3.4. Variables climatológicas en la estación 7200-Tapachula.....	25
Tabla 3.5. Unidades de suelos presentes en la región del Soconusco, Chiapas.....	26
Tabla 3.6. Uso de suelo en hectáreas de acuerdo con la altitud.....	33
Tabla 3.7. Uso de suelo en hectáreas de acuerdo con la pendiente.....	33
Tabla 4.1. Precipitación Pluvial. Promedio mensual y Media Anual para cada una de las estaciones.....	35
Tabla 4.2. Volúmenes anuales en millones de m ³	40
Tabla 4.3. Calidad del agua en el río Texcuyupán.....	41
Tabla 4.4. Calidad química del agua en el río Cahocacán.....	42
Tabla 4.5. Calidad del agua residual vertida al río Texcuyupán.....	42
Tabla 6.1. Resultados del índice de Fournier (F) y del factor de erosividad (R) mediante el modelo propuesto por Cortés (1991).....	56
Tabla 6.2. Resultados del factor de erodabilidad K asociados al tipo de suelo de la cuenca del río Cahocacán.....	59
Tabla 6.3. Clasificación de los suelos en base al Factor de erodabilidad.....	60
Tabla 6.4. Rango de variación de K.....	61
Tabla 6.5 Resultados del factor de cobertura del suelo C Asociados al tipo de vegetación de la cuenca del río Cahocacán.....	62

Tabla 6.6. Pérdida de suelo en ton/ha*año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Condiciones actuales.....	67
Tabla 6.7. Pérdida de suelo en ton/ha/año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Modificaciones antropogénicas.....	69
Tabla 6.8. Pérdida de suelo en ton/ha/año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Con prácticas de conservación de suelo.....	70
Tabla 6.9. Aporte de sedimentos según el área de la cuenca.....	75
Tabla 6.10. Aporte de sedimentos (AS) según el área de las microcuencas en que se divide la cuenca del río Caohacán.....	76
Tabla 6.11. Aporte de sedimentos (AS) según el área de las microcuencas en que se divide la cuenca del río Caohacán. En m ³ /año.....	77
Tabla 6.12. Coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) y aporte de sedimentos (AS) según el área de las microcuencas en que se divide la cuenca del río Caohacán.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Localización de la zona socioeconómica del Soconusco, Chiapas.....	16
Figura 3.2 Cuencas hidrográficas de la costa de Chiapas.....	18
Figura 3.3 Clasificación climática dentro de la cuenca del río Caohacán.....	24
Figura 3.4. Clasificación edafológica dentro de la cuenca del río Cahoacán.....	30
Figura 3.5 Uso de suelo dentro de la cuenca del río Cahoacán.....	32
Figura 4.1 Localización de las estaciones climatológicas.....	34
Figura 4.2 Isoyetas anuales, Cuenca Río Caohacán.....	36
Figura 4.3. Isolíneas de evaporación anual, Cuenca Río Caohacán.....	37
Figura 4.4 Corrientes superficiales en la cuenca del río Caohacán.....	39
Figura 5.1. Ubicación de los pozos profundos en la cuenca del río Caohacán.....	44
Figura 6.1. Estaciones climatológicas consideradas en el cálculo de los factores F y R, en la cuenca del río Caohacán.....	56
Figura 6.2. Estaciones climatológicas, cuencas y valores de isoerosividad (R)....	57
Figura 6.3. Valores de isoerosividad (R) en la cuenca del río Caohacán.....	58
Figura 6.4. Factor de Erodabilidad (K) en función del tipo de suelo, en la cuenca del río Caohacán.....	60
Figura 6.5. Tipo de vegetación para definir el factor C, en la cuenca del río Caohacán.....	63
Figura 6.6. División en microcuencas de la cuenca del río Caohacán.....	66
Figura 8.1. Microcuencas prioritarias para el control de la erosión hídrica.....	86

RESUMEN

Las cuencas hidrográficas en México, presentan graves deterioros de los recursos naturales, que corresponden a impactos reversibles en el largo plazo y en algunos casos a costos incalculables. Esto repercute finalmente en el ser humano, quien en la mayoría de los casos es el origen, con sus actividades productivas, de estos impactos.

La cuenca del río Caohacán, que aquí se analiza, es un área con grandes áreas bajo explotación agrícola. Se explotan en forma comercial cultivos anuales y perennes, los que requieren considerables volúmenes de agua para satisfacer sus necesidades hídricas, así como el empleo de grandes cantidades de agroquímicos; generalmente la introducción de estos cultivos ha demandado la incorporación de nuevas tierras, cuya vegetación natural se constituye de bosques mesófilos y pastizales. La desaparición de estos y agregar estas tierras a cultivos, con prácticas agrícolas no apropiadas, ocasiona un incremento en la pérdida de suelo fértil por los procesos de erosión y en este caso, por la erosión hídrica. Aquí se analiza el impacto de la explotación agrícola en los recursos hídricos en la cuenca del río Caohacán, en la región del Soconusco, Chiapas, a través de la determinación de la pérdida de suelo en la cuenca.

En el capítulo 2 se revisan algunas generalidades sobre las cuencas hidrográficas en México, la contaminación de los recursos hídricos y alguna de la legislación existente en materia de agua. En el capítulo 3, se detallan las particularidades de la cuenca en estudio, viéndola bajo un contexto regional, se revisan tanto las características físicas (clima, suelo, vegetación, etc.) así como aspectos sociales que tienen que ver con las actividades productivas de las comunidades que se desarrollan al interior de la cuenca.

En los capítulos 4 y 5, se hace el análisis de la hidrología superficial y subterránea, esto de manera somera y analizando de manera específica la precipitación pluvial y los escurrimientos superficiales. De igual forma se revisa

la contaminación, por agua residual doméstica, de los recursos hídricos de la cuenca.

En el capítulo 6, se hace una revisión bibliográfica de los métodos para la determinación de la erosión hídrica y con base en éstas se determina la cantidad de suelo en ton/ha/año que se remueven a través del proceso de erosión, lo que genera graves impactos en la cuenca, con consecuencias que van desde contaminación, pasando por pérdidas de material forestal, y económicas.

Los valores de erosividad más altos se presentan en la parte de cabecera (montañosa) de la cuenca, que es en donde ocurren los valores más altos de precipitación pluvial media anual; sumado a esto en esta área se presentan las condiciones topográficas y de explotación agrícola que incrementan la erosión hídrica. Los valores encontrados, en las condiciones actuales, van desde las 42,632.95 toneladas por hectárea por año en una sección de la microcuenca 1 y hasta 51,620.86 ton/ha/año en la microcuenca 2; presentándose valores mínimos de 13.317 ton/ha/año en la microcuenca 9. Se estima que de continuar con las alteraciones de los bosques la pérdida de suelo puede incrementarse hasta en un 240 %. De modificarse la tendencia actual de deforestación y con prácticas agrícolas (cultivos en fajas, con valores de P igual a 0.4 o 0.3) en las zonas donde se realizan actividades agrícolas de temporal y de riego, la pérdida de suelo se ve ampliamente disminuida, con valores menores en un 43.3 % a los actuales; presentándose valores máximos de 23 812 .53 ton/ha/año hasta valores mínimos de 3.99 ton/ha/año.

Finalmente en el capítulo 7, se establecen lineamientos que pueden aplicarse a las condiciones de la cuenca en estudio y que permitirán revertir el grave problema de erosión.

I.- INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En el mundo entero, el suministro de agua se vuelve una pesadilla permanente. El agua sirve lo mismo para consumo que para transportar la madera en balsas; se puede usar como materia prima, para el enfriamiento y el lavado de gases, todas las industrias y poblaciones humanas generan una gran demanda de agua.

Debido a las grandes necesidades de agua para uso industrial, doméstico y agrícola, se ha generado una explotación inadecuada y por lo tanto, un incremento notable de la contaminación de los recursos hídricos.

En ésta investigación se analiza el impacto de la explotación agrícola en los recursos hídricos en la cuenca del río Caohacán, en la región del Soconusco, Chiapas, esto a través de la determinación de la pérdida de suelo en la cuenca y el impacto que esto ocasiona en aquéllos. En ésta cuenca se localiza el “Valle” donde se explotan en forma comercial cultivos anuales y perennes, los cuales representan un gran consumo de agua, así como el empleo de grandes cantidades de plaguicidas y fertilizantes. Asimismo el consumo de agua para uso doméstico es muy grande, ya que es en ésta donde se asienta el mayor número de habitantes de la región del Soconusco, Chiapas.

Es importante mencionar que el trato diario con el agua ha conducido a un muy difundido desprecio de la importancia que ésta tiene en el desarrollo de las poblaciones humanas ubicadas en la cuenca, esto ocurre debido a que en esta zona se le ve normalmente en el fondo de un pozo artesiano, arroyo o río, lo que implica una alta disponibilidad del recurso y por lo tanto un uso inadecuado del mismo, generando así la contaminación del agua.

En los capítulos IV y V, se hace el análisis de la hidrología superficial y subterránea, analizando de manera específica la precipitación pluvial (debido a la disponibilidad de datos) y de los escurrimientos superficiales (en función de la disponibilidad de información). La precipitación pluvial y los escurrimientos superficiales en ésta cuenca son muy abundantes, pero generalmente se

concentran en un período del año y este no coincide con las necesidades de los cultivos. Esto ha provocado que el desarrollo agrícola de la región haga uso del agua subterránea, pero esta explotación se ha desarrollado de manera anárquica - pese a las leyes existentes en la materia- ya que no se han realizado estudios (debido a la supuesta gran abundancia del recurso), que determinen hasta que grado se ha explotado el acuífero y presentar alternativas para su explotación adecuada.

La observación de estos problemas, es en donde tiene su origen la presente investigación, en el capítulo VI se determina la cantidad de suelo en ton/ha/año que se remueven a través del proceso de erosión y cómo esto está generando graves impactos en la cuenca, con impactos que van desde contaminación, pasando por pérdidas de material forestal, hasta consecuencias económicas locales.

La Comisión Mundial del Agua para el Siglo XXI¹ informa que más de la mitad de los grandes ríos del mundo están contaminados o en peligro de desecarse esto ha provocado que durante 1998 tuvieran que emigrar 25 millones de personas. La sobreexplotación de los recursos hídricos, tanto en los países industrializados como en las naciones en vías de desarrollo, es una de las principales razones para su deterioro.

Como se mencionó anteriormente, en la región del Soconusco en el estado de Chiapas, la supuesta gran disponibilidad de agua ha provocado que se genere, por parte de los que allí habitan, un muy difundido desprecio de la importancia que esta tiene en las diferentes actividades humanas. Por lo que esta investigación pretende conocer las características de su usufructo y la incidencia de esto en la calidad de la misma.

Un estudio realizado por la SEMARNAP en Chiapas menciona que las fuentes de abastecimiento de agua son las subterráneas con un 35 %, manantiales con

¹ Véase el Periódico La Jornada. 3 de diciembre de 1998

un 31 %, ríos con un 25 % y los arroyos con un 9 %. Estas fuentes de agua están siendo contaminadas con descargas de agua residual y residuos sólidos.

En 1985 la delegación de la SEDUE en Chiapas efectuó un estudio de contaminación de esteros y cuerpos de agua por plaguicidas. Los resultados indican la presencia de insecticidas organoclorados (heptacloro, los derivados de BHC, aldrín, dieldrín, endrín, p-p'-DDD, DDT, y endosulfan) tanto en el agua de los esteros como en la de los ríos y pozos. Se detectaron en concentraciones variadas, pero no rebasan los valores máximos permisibles. La explicación que se dio a las concentraciones bajas de contaminantes (menos del 5% de lo establecido en las normas), es que las altas precipitaciones y escurrimientos generan un lavado del terreno, arrastrando estos compuestos. El uso de plaguicidas organoclorados en el Soconusco ha aumentado en los últimos años por lo que no se duda que estos estén presentes en los cuerpos de agua de la región, Restrepo (1994).

La cabecera municipal de Tapachula descarga sus aguas residuales a dos de los principales ríos de la Región Hidrológica No. 23, estos ríos son el Coatán y el Caohacán, los cuales desembocan al mar en el Océano Pacífico, según el mismo estudio de la SEMARNAP se tiene una descarga de 30 063.0 m³/d (347.9 l/s), la cual excede las Normas Oficiales Mexicanas en diferentes parámetros físicos y químicos. Este mismo estudio no analiza el comportamiento de parámetros bacteriológicos y de la presencia de plaguicidas tanto en los ríos, aguas subterráneas y aguas residuales.

Todo lo anterior, justifica la realización de la presente investigación, en función de los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

- 1.- Realizar un balance de los recursos hídricos de la Cuenca del Río Caohacán en la región del Soconusco, Chiapas.
- 2.- Determinar con base en diversos estudios el estado que guarda la contaminación de los recursos hídricos, en la zona de estudio.
- 3.- Determinar cuáles son los efectos de las actividades agrícolas y la modificación del uso de suelo, en el proceso de erosión y pérdida de suelo en la cuenca.
- 4.- Establecer los lineamientos para reducir el impacto de las actividades humanas en los recursos hídricos de la cuenca.

II. ANTECEDENTES

2.1 Variables del Ciclo Hidrológico.

La Comisión Nacional del Agua (1994) citada por el INEGI (1994) indica que México posee 314 cuencas hidrológicas en las que fluyen los ríos y arroyos del país, asimismo agrupa a tales cuencas en 37 regiones hidrológicas presentando finalmente 13 regiones de tipo administrativo.

La cuenca del río Caohacán se localiza en la Región Sureste, región que según estimaciones de la CNA (2000b) presenta el mayor escurrimiento del país con un excedente de 249.6 km³ en promedio anual, que es aproximadamente un 70 % del saldo positivo en el balance nacional.

La CNA (2000a), estima que el volumen de los recursos hídricos totales del país es de aproximadamente 474.9 km³ al año, de los cuales 412.0 km³ corresponden al escurrimiento superficial y 63.0 km³ a la recarga de los acuíferos.

Las reservas de agua en una región o cuenca, son el resultado de la cantidad de agua presente en las fases del ciclo hidrológico; es así como las lluvias y por lo tanto los escurrimientos se distribuyen de manera irregular en toda la República, provocando escasez o abundancia y con esto sequías o inundaciones respectivamente.

El agua subterránea forma parte del proceso de circulación del agua en el planeta. Generalmente toda el agua subterránea tiene su origen en la precipitación y en los escurrimientos superficiales.

El INEGI (1995) menciona que se han identificado 459 acuíferos en todo el país, los que en su conjunto reciben una recarga natural de 48 km³ anuales. La extracción promedio anual en estos acuíferos se estima que es del orden de los 24.0 km³, en aproximadamente 140 mil aprovechamientos subterráneos.

El primer grupo incluye a los acuíferos en rocas sedimentarias no consolidadas, en este destacan los acuíferos de la planicie costera del Océano Pacífico, Golfo de California, Tehuantepec y Golfo de México. El segundo grupo lo constituyen los afloramientos de rocas calizas, y los de mayor importancia se encuentran en la Península de Yucatán, Coahuila y Nuevo León. El tercer grupo está constituido por zonas de rocas volcánicas, como ocurre en la parte central del país y en los estados de Sonora, Chihuahua, Baja California Norte, Baja California Sur y Tamaulipas, así como en zonas muy localizadas del sur del país.

En el noroeste del país se encuentran el mayor número de acuíferos, pero los que se localizan en el sureste reciben una mayor recarga presentada por esto una mayor disponibilidad relativa de agua.

Casillas (1998), menciona que las áreas de captación de las cuencas en México presentan graves deterioros de los recursos naturales, lo que repercute en las actividades productivas y como consecuencia en el nivel de vida de los que allí habitan; el manejo inadecuado de los recursos ha ocasionado serias dificultades relacionadas con el recurso agua, principalmente en la captación e infiltración de la lluvia, incrementándose el escurrimiento superficial y generando con esto la erosión hídrica que ocasiona a su vez pérdida de suelo fértil en las tierras de ladera y su arrastre hacia cauces y zonas bajas, produciendo impactos negativos al disminuir la cantidad y calidad del agua.

El mismo autor menciona que la principal causa de la degradación de los recursos naturales y la presencia del fenómeno de la erosión, se origina con la interferencia indiscriminada del ser humano sobre el equilibrio ecológico natural de los ecosistemas, debido al abuso y mal manejo de los recursos agua, suelo y vegetación más allá de la capacidad de producción del suelo; asimismo no se puede delimitar en forma precisa el grado de influencia que los habitantes de la cuenca, en especial los que se encuentran en pobreza extrema, han tenido sobre la degradación de los recursos naturales, principalmente con la deforestación, originando así la erosión de los suelos.

Lo anterior es referencia precisa para que en el país se lleven a cabo estudios que permitan conocer cómo se está dando el proceso de interacción entre los habitantes de la cuenca y los recursos naturales de la misma. Es necesario conocer cómo estos recursos naturales se han visto impactados por el crecimiento poblacional y que tanto se ha roto el *equilibrio* ecológico.

Es importante por tanto conocer la definición de cuenca hidrológica, la cual se entiende como un área cerrada en el que todas las aguas de escurrimiento superficial se drenan hacia un punto de salida, que puede localizarse dentro de los límites de la cuenca, siendo ésta endorreica o ubicarse en los linderos de menor altitud siendo exorreica. El área esta delimitada a partir de los puntos de mayor elevación o parteaguas y orienta el flujo de las aguas superficiales hacia un mismo punto de salida a través de la red de drenaje.

Considerando el criterio hidrológico, menciona Oropeza (1998) que en la reunión del año de 1992 de la Asociación Mundial de Hidrología de Cuencas, se indicó que la unidad fundamental para el manejo de los recursos agua, suelo y vegetación es la cuenca y definieron a esta como 1) el área de un río en la cual el agua contribuye a un canal particular o a un conjunto de canales, 2) Un área de recepción de las precipitaciones provistas de canales y corrientes, y 3) Una unidad de superficie donde el clima y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico cuantitativamente pueden ser aislados o medidos.

Los límites de una cuenca pueden ser físicos tal como el parteaguas o pueden definirse basándose en los procesos ocurridos dentro de ella como son los escurrimientos. Además puede ser dividida en pequeñas cuencas denominadas subcuencas.

Es importante tener presente que el crecimiento poblacional en la cuenca ha impactado los recursos de la cuenca, ya que es bien sabido que en Chiapas y en general en México se ha descuidado la conservación de los recursos naturales (agua, suelo y vegetación). Por ejemplo, un estudio del Consejo

Nacional de Población (CONAPO)¹ realizado en el 2000, a nivel nacional, indica que el crecimiento poblacional en México enfrentará grandes retos en los próximos años, ya que la viabilidad de varias ciudades estará en riesgo por la escasez de agua y menciona que en 69 de las 113 ciudades más importantes del país habrá problemas para obtener agua de calidad adecuada.

Este mismo estudio menciona que en un lapso de 10 años tres de cada cuatro personas vivirán en ciudades, lo que provocará fuertes presiones sobre el medio ambiente y los recursos naturales. Este crecimiento poblacional invade e invadirá zonas de laderas y forestales con las consecuencias ya conocidas, provocando con esto un deterioro de la calidad del agua de la cuenca, aspecto que es muy importante conocer si se quiere la viabilidad de la misma. El deterioro de la calidad del agua en la cuenca está íntimamente relacionada con el uso del suelo, con las prácticas agrícolas inadecuadas y con el mal manejo del suelo lo que provoca graves procesos erosivos.

2.2. Contaminación de los cuerpos de agua.

Otro aspecto que es importante considerar, es el problema de contaminación del agua superficial y subterránea de la cuenca del río Caohacán; como se mencionó anteriormente las aguas residuales de la cabecera municipal de Tapachula descarga sus aguas residuales a dos de los principales ríos de la Región Hidrológica No. 23, estos ríos son el Coatán y el Caohacán, los cuales desembocan al mar en el Océano Pacífico, violando las Normas Oficiales Mexicanas, que regulan las descargas de agua residual a cuerpos de agua, en diferentes parámetros físicos y químicos.

Se puede mencionar entonces que existe un gran número de sustancias (químicas y biológicas) que han sido reconocidas como contaminantes del agua superficial y subterránea. En la tabla 2.1 se presenta una relación de las principales fuentes de especies químicas que actualmente se consideran como contaminantes. Debido a la diversidad de compuestos químicos existentes, los

¹ Véase el Periódico La Jornada del día 5 de febrero de 2000

grupos incluyen compuestos inorgánicos y orgánicos (hidrocarburos, grasas, aceites, solventes industriales, herbicidas y pesticidas, enfriadores, explosivos y desechos químicos producidos por las actividades agrícolas). Las fuentes de estos materiales contaminantes, aunque identificadas, son numerosas; por lo que es complicado llevar un control estricto que evite o al menos limite su ingreso a los sistemas hídricos superficiales o subterráneos.

Tabla 2.1. Principales grupos de contaminantes

<i>Grupo</i>	<i>Fuente de contaminación asociada</i>
Municipal	Tuberías de drenaje, rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto, pozos de inyección (de recarga y/o de desechos líquidos)
Industrial	Contenedores superficiales o enterrados, tuberías de conducción, desechos industriales (sólidos y líquidos), compuestos químicos utilizados en los procesos
Agrícola	Fertilizantes, pesticidas, herbicidas, retornos de riego
Otros	Derrames accidentales, desechos de laboratorio, fosas sépticas

Los materiales geológicos ejercen ciertos mecanismos de atenuación sobre los contaminantes, lo que permite disminuir el peligro potencial de contaminación del agua superficial y subterránea. Por esta razón las fuentes de aguas superficiales generalmente son afectadas más rápidamente que las subterráneas. Es importante reconocer que la efectividad de dichos mecanismos de atenuación depende del tiempo de contacto entre los contaminantes y el material que compone el subsuelo, del tamaño de las partículas que lo componen, además de sus características físicas y químicas y de la distancia que han viajado los contaminantes desde su fuente de origen. En general, entre mayor sea la distancia de viaje, mayor será la disminución producida en la concentración original del contaminante.

Son numerosos los aspectos que afectan el destino, transporte y transformación de los contaminantes, ya sea en el suelo o en la zona saturada.

En este aspecto, se reconoce la existencia de procesos: i) físicos, ii) químicos y iii) biológicos. Cuando éstos actúan en el subsuelo se ocasiona un cambio que puede resultar, en el mejor de los casos, en la remoción completa del contaminante del sistema de agua subterránea.

Entre los procesos físicos que condicionan el transporte, fraccionamiento o atenuación de los contaminantes en el subsuelo se mencionan: i) advección, ii) dispersión, iii) difusión, iv) volatilización, v) filtración y vi) densidad.

Los procesos químicos que modifican la composición de los contaminantes disueltos en el agua subterránea son muy variados y complejos, entre los que afectan el transporte de solutos disueltos en el agua subterránea se incluyen: i) disolución/precipitación, ii) hidrólisis, iii) reacciones redox (oxidación/reducción), iv) complejación, v) degradación termal, vi) reacciones fotoquímicas, vii) intercambio iónico y viii) sorción. Los procesos biológicos que ocurren en el subsuelo son ocasionados por la presencia de organismos microscópicos (bacterias u hongos) que pueden sobrevivir a grandes profundidades. Los procesos biológicos de mayor interés en la movilización o atenuación de contaminantes en el subsuelo son: i) biodegradación, ii) bioasimilación, iii) biovolatilización, iv) bioacumulación y v) biomineralización.

En las comunidades que se ubican dentro del área de la cuenca del Caohacán no existe una regulación que controle en forma adecuada la recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales principalmente, por lo que existen sitios en donde las personas arrojan sus desechos sin control. Estos lugares, que generalmente son depresiones naturales o artificiales (cañadas y orillas de arroyos, etc.), se constituyen de esta manera en fuentes contaminantes del agua superficial y subterránea, ya que el lixiviado que se libera del paso del agua por los residuos, se mueve verticalmente hasta llegar a la zona saturada.

Es una práctica común que un importante porcentaje de las aguas residuales municipales no reciban ningún tipo de tratamiento para disminuir la

concentración de los contaminantes que adquirieron cuando fueron utilizadas por la población. La práctica general es la reunión de las tuberías de drenaje en un canal colector principal, por donde se conducen las aguas residuales a sitios alejados de la ciudad, ya sea para descargarlas directamente a una corriente superficial o a una depresión natural que con el tiempo se contaminan.

Como los canales tienen tramos y secciones parciales revestidas de concreto, en los intervalos en donde no existe dicha protección, el agua residual tiene facilidad para infiltrarse rápidamente hacia el subsuelo.

En cuanto a la contaminación del recurso hídrico y su impacto en el medio ambiente, a pesar de que este último aspecto es una preocupación relativamente reciente en la sociedad y en el gobierno, nuestro país cuenta ya con una infraestructura jurídica en la materia. Las leyes y reglamentos existentes – en materia de la contaminación del agua- si bien, son perfectibles, configuran ya un sustrato jurídico básico para dar una respuesta eficaz al deterioro de la calidad del agua.

Las reformas al artículo 27 Constitucional, introducidas en la década de los ochenta encuentran en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) una legislación reglamentaria extensa de la que a su vez se desprenden reglamentos y normas oficiales en materia de Control y Prevención de la Contaminación del Agua.

La protección de la calidad del agua es uno de los criterios fundamentales que dieron origen a la LGEEPA. Así, en relación con su reglamento en materia de prevención y control de la contaminación del agua, de manera general, se han considerado los siguientes aspectos:

- El establecimiento de criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales para evitar riesgos y daños en la salud pública.

- Las concesiones, asignaciones, permisos y en general autorizaciones que deban obtener los concesionarios, asignatarios o permisionarios y en general los usuarios de las aguas propias de la nación para *infiltrar aguas residuales en los terrenos* o descargarlas en otros cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones.
- La elaboración y puesta en práctica de planes, campañas y cualesquiera otras actividades tendientes a la educación, orientación y difusión de lo que el problema de la contaminación del agua significa, sus consecuencias y en general, los medios para prevenirla, controlarla y abatirla.

En materia de prevención y control de la contaminación la Ley de Aguas Nacionales define los siguientes aspectos a considerarse, entre otros, en lo concerniente al uso de las aguas residuales y su posible relación con proyectos de recarga artificial:

Se especifica que La Comisión Nacional del Agua tendrá a su cargo... “establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la LGEEPA”.

Define que las personas físicas o morales requieren permiso de “La Comisión” para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminare el subsuelo o los acuíferos.

“La Comisión” mediante acuerdos de carácter general por cuenca, acuífero, zona, localidad o por usos podrá sustituir el permiso de descarga de aguas residuales por un simple aviso.

Determina que en las zonas de riego y en aquellas zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la presente ley y su reglamento.

“La Comisión” promoverá en el ámbito de su competencia, las normas o disposiciones que se requieran para hacer compatible el uso de los suelos con el de las aguas, con el objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca o acuífero.

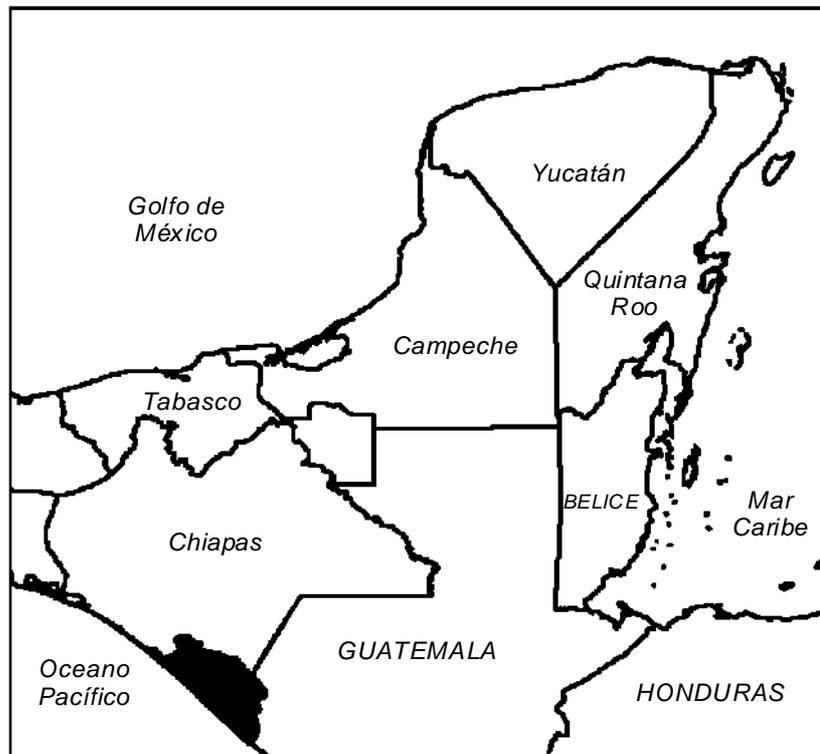
Los objetivos que guían el desarrollo y la aplicación de las políticas de la calidad del agua se expresan mediante Normas que, en su papel de instrumentos de regulación, establecen las pautas que evalúan el grado de excelencia del agua para la realización de las actividades humanas, la protección a la salud, la preservación de la vegetación y la fauna, así como la prevención de daños al bienestar en general. Sin embargo, las Normas de calidad del agua no son valores universalmente aceptados, sino que reflejan los niveles de pureza del agua que una sociedad pretende alcanzar y mantener; lo cual significa compromisos, programas, metas, presupuestos y plazos de cumplimiento bien definidos.

III.- GENERALIDADES.

3.1. Localización y extensión de la cuenca hidrológica del río Caohacán.

La cuenca hidrográfica del río Caohacán se ubica en la Región Hidrológica No. 23, Costa de Chiapas y en la Región Administrativa No. 11 denominada Frontera Sur. Se ubica dentro de la zona socioeconómica denominada Soconusco (figura 3.1).

Figura 3.1. Localización de la zona socioeconómica del Soconusco, Chiapas.



Fuente: ECOSUR, 1999.

La región hidrológica No. 23, Costa de Chiapas, es la que queda más al sur de México, sobre la vertiente del Pacífico. Tiene la forma de una faja alargada de anchura variable orientada del Sureste al Noroeste. Abarca desde los 14° 30' a los 16° 33' de latitud norte y desde los 92° 04' a los 94° 19' de longitud oeste. (Figura 3.1)

Hidrográficamente esta limitada hacia el noroeste por la Región Hidrológica No. 22, concretamente por la cuenca del río Ostuta; hacia el noreste con varios afluentes izquierdos del Río Grijalva, todos ellos pertenecientes a la Región Hidrológica No. 30; hacia el sureste con corrientes pertenecientes a Guatemala, colindantes con el río Suchiate y hacia el suroeste con el Océano Pacífico.

Sin contar esteros ni lagunas, la longitud del litoral es de 290 km y el desarrollo total del parteaguas que limita, es de 485 km, de los cuales aproximadamente 150 km quedan dentro de Guatemala.

Se desarrolla casi por completo dentro del estado de Chiapas y tiene una superficie total aproximada de 13 591.0 km², de los que 1 048.0 km² pertenecen a Oaxaca y 1 364.0 km² a Guatemala; el resto queda en Chiapas.

En su mayor longitud mide 310 km. Su anchura mínima en el sentido normal a esta dimensión es de 22.0 km y la máxima de 62.0 km.

Los principales municipios que abarca son los de San Pedro Tapanatepec y Acuites en Oaxaca y los de Arriaga, Tonalá, Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Escuintla, Villa Comaltitlán, Huehuetán, Mazatán, Tapachula, Tuxtla Chico, Cacaohatán, Unión Juárez, Metapa, Frontera Hidalgo y Suchiate en el estado de Chiapas.

La cuenca del río Caohacán, queda ubicada dentro del área de los municipios de Cacaohatán, Tuxtla Chico, Metapa, Frontera Hidalgo y mayormente en el municipio de Tapachula. En algunos casos el río que da formación a esta cuenca, sirve de límite entre municipios.

La Región Hidrológica 23 esta definida por la existencia de la Sierra Madre de Chiapas, que origina un parteaguas paralelo a la costa, y se tienen altitudes máximas hasta de 2900 msnm en la sierra del Soconusco y de 2500 msnm en el cerro de Tres Picos, al noroeste del municipio de Tonalá. Existe una faja de

25 km de ancho, contigua al litoral, cuya altura sobre el nivel del mar es muy baja.

Los ríos o corrientes de la Región Hidrológica No. 23 presentan el esquema típico de los ríos de la vertiente del Pacífico, nacen en la Sierra Madre de Chiapas y su recorrido es más o menos directo hacia el mar. Las cuencas quedan limitadas lateralmente por las ramificaciones transversales de la propia sierra (SRH, 1974).

El río Cahoacán es el que da origen a la cuenca del mismo nombre, este río tiene su origen en el volcán Tacaná y es la corriente más cercana a Guatemala, su peculiar disposición hace que la cuenca se desarrolle en forma integra dentro del territorio mexicano, esta limitada por la cuenca del Suchiate hacia el este y por la del Coatán hacia el oeste. (Figura 3.2)

Figura 3.2 Cuencas hidrográficas de la costa de Chiapas.



La forman varios afluentes de recorrido norte-sur, que a la altura de la ciudad de Tapachula ya van unidos en uno solo y dejan hacia la margen derecha de él a la ciudad citada. La corriente sigue su recorrido prácticamente en dirección norte-sur, pasa por Zintahuayate, Caohacán, Yugal y Palo Blanco, desembocando finalmente en el Pacífico en la denominada Barra del

Caohacán. La longitud Total del río a lo largo de su cauce principal es de aproximadamente 72.0 km, su cuenca total es de aproximadamente 277.0 km², hasta donde se ubica la estación hidrométrica, se puede decir que se trata de una corriente muy angosta, con sus afluentes secundarios dirigidos casi todos en la misma dirección de la corriente principal, esto es de norte a sur.

Desde junio de 1948 se opera una estación hidrométrica llamada Caohacán, a la que corresponde una cuenca con el área indicada antes y que se ubica en el cruce de la corriente con el denominado ferrocarril Panamericano.

3.2. Características socioeconómicas de las poblaciones ubicadas dentro de la cuenca.

El área en estudio se ubica al sureste del Estado de Chiapas. Se ubica dentro de la Región del Soconusco, la cual constituye una de las nueve regiones económicas del Estado de Chiapas, se compone de dieciséis municipios los que suman una extensión territorial de 5 475.5 km² y según el censo de 1995 tenía una población de 622,044 habitantes.

La actividad económica dentro de los límites de la cuenca depende en gran medida de las actividades agropecuarias, la población que labora en el sector primario rebasa el 50 %. El café, el plátano y el mango representan más del 80 % de la producción total agropecuaria; estos productos son de exportación, en fechas recientes los precios en el mercado internacional están a la baja, lo que aunado a otros aspectos culturales y políticos, han provocado el estancamiento económico de la región.

La producción agrícola en la región se lleva a cabo desde la costa hasta la zona montañosa; el maíz para autoconsumo se cultiva en las partes altas más allá de los 1200 msnm, el café se cultiva por arriba de los 400 msnm. El cacao y el plátano se cultivan desde el nivel del mar hasta los 400 msnm; las gramíneas (ajonjolí, frijol, soya, etc.), forrajes y árboles frutales se cultivan por debajo de los 400 msnm. La sandía y el melón se cultivan entre los 0 msnm hasta 5 msnm.

La producción agrícola de la región del Soconusco se muestra en la tabla 3.1, esto es para el ciclo agrícola 1996/1997.

Tabla 3.1. Producción agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural 08 Tapachula.

Cultivos Cíclicos		Cultivos Perennes	
Cultivo	Producción (ton)	Cultivo	Producción (ton)
Maíz	99598.0	Café	55669.0
Frijol	850.0	Caña de azúcar	716438.0
Sorgo	7007.0	Cacao	7145.0
Soya	12567.0	Plátano	336627.0
Ajonjolí	4716.0	Mango	51094.0
Arroz	558.0	Palma de aceite	40298.0
Algodón	2143.0	Naranja	2010.0
Melón	2529.0	Marañón	222.0
Sandía	680.0	Hule	130.0

Fuente: Distrito de Desarrollo Rural 08 Tapachula, SAGAR (1997).

El área de cultivo de café y maíz representa el 37 % y el 25 % del total de las tierras de cultivo y en forma conjunta representan el 60 % del total del área cultivada, le siguen el mango, cacao y ajonjolí. La Soya es el cultivo que ha reducido su superficie de producción, lo que se debe posiblemente al incremento del costo de los insumos lo que aumenta el costo de producción y del mismo al precio de venta en el mercado. Los cultivos que presenta una mayor fluctuación en su área de producción son el maíz, frijol, arroz y el melón.

En la tabla 3.2. se presentan las fluctuaciones del área de cultivo, tanto para los cultivos anuales y perennes.

Tabla 3.2. Cambios anuales del área de cultivo (ha) en el Distrito de Desarrollo Rural 08 Tapachula.

Cultivos cíclicos	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97
Maíz	38735.0	29637.0	47442.0	61836.0	51390.0
Frijol		624.0	199.0	873.0	1138.0
Sorgo	2401.0	595.0	1181.0	2652.0	2579.0
Soya	6868.0	7301.0	6434.0	8737.0	10519.0
Ajonjolí	1279.0	740.0	3313.0	6722.0	9309.0
Arroz	181.0	169.0	292.0	20.0	210.0
Algodón		1874.0	4412.0	1227.0	1233.0
Melón	130.0	200.0	645.0	298.0	281.0
Sandía	516.0	394.0	370.0	163.0	85.0
Otros	1549.0	158.0	420.0	594.0	1051.0
Cultivos cíclicos	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97
Café	75180.0	75180.0	75180.0	75180.0	75180.0
Caña de azúcar	6000.0	6000.0	7389.0	9000.0	9000.0
Cacao	13373.0	13600.0	12320.0	13169.0	13168.0
Plátano	13180.0	14627.0	9296.0	9296.0	9442.0
Mango	4000.0	4000.0	8597.0	8597.0	14055.0
Palma de aceite	1150.0	1950.0	2721.0	3119.0	3119.0
Naranja	402.0	402.0	402.0	402.0	402.0
Marañón	50.0	1070.0	2000.0	2000.0	2000.0
Hule	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Otros	4281.0	4935.0	3209.0	3205.0	3540.0

Fuente: Distrito de Desarrollo Rural 08 Tapachula, SAGAR (1997).

La industria de la región está constituida por procesadoras y empacadoras de productos agropecuarios, tostadoras de café, procesadoras de marañón, procesadoras de pescados y mariscos, empacadoras de plátano, mango y papaya. Es importante mencionar que el municipio de Tapachula es el que mayor superficie territorial aporta a la cuenca del Cahoacán; en este municipio se han contabilizado 337 establecimientos industriales, de los cuales corresponde a las ramas de productos alimenticios, bebidas, tabaco y de productos metálicos, maquinaria y equipo. En la tabla 3.3 se muestra la superficie territorial y la población de los municipios que en forma parcial quedan comprendidos dentro de la cuenca del río Cahoacán.

Tabla 3.3. Población y superficie territorial de los municipios dentro de la cuenca del Río Cahoacán.

Municipio	Superficie (km ²)	Población (1995)	Densidad Demográfica (hab./km ²)
Cacaohatán	173.9	35738.0	205.50
Frontera Hidalgo	106.8	9852.0	92.94
Metapa	101.8	4381.0	43.03
Tapachula	857.0	244855.0	285.71
Tuxtla Chico	64.6	32395.0	501.47
Unión Juárez	72.0	12835.0	178.26

Fuente: INEGI-Agenda Estadística de Chiapas 1997 y JICA, 1999.

En la referente a la tenencia de la tierra, en la Región del Soconusco, el 42.4 % le corresponde al área ejidal y correspondiéndole al área denominada privada el 42.6 %. El Censo Agrícola de 1991 muestra que el 63 % de los agricultores de la región son ejidatarios y el 35.6 % son agricultores privados. En Tapachula es donde se presenta el mayor número de agricultores, en donde se presenta una población rural alta, en Unión Juárez los ejidatarios ocupan el primer lugar con 93 %. En Tuxtla Chico el 84 % de los agricultores son privados, en Frontera Hidalgo representan el 76 % y en Metapa el 71 % y más de la mitad de los agricultores están representados por agricultores privados en Tapachula.

El más alto porcentaje de pequeños agricultores (con menos de 5 ha) se encuentra en Unión Juárez y Tuxtla Chico con un 86 % y 80 % respectivamente; Cacaohatán, Frontera Hidalgo, Metapa y Tapachula presentan un porcentaje mayor al 50 % de pequeños agricultores. El tamaño promedio de la superficie de cultivo por agricultor es de 3.6 ha en Tuxtla Chico, 3.9 ha en Unión Juárez y 5.8 ha en Cacaohatán.

3.3. Características climáticas y edafológicas de la cuenca.

3.3.1. Características climáticas de la cuenca.

En Chiapas el clima predominante es el cálido subhúmedo con lluvias en verano, este se presenta en el 35.16 % de la superficie del estado y principalmente en las regiones socioeconómicas del Centro, Frailesca, Costa, Soconusco y Selva.

El clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano se presenta en 24.25 % de la superficie del estado y principalmente en las regiones socioeconómicas de la Costa, Centro, Norte, Selva y Altos. Este mismo tipo de clima se presenta en el Soconusco, Sierra y Frailesca.

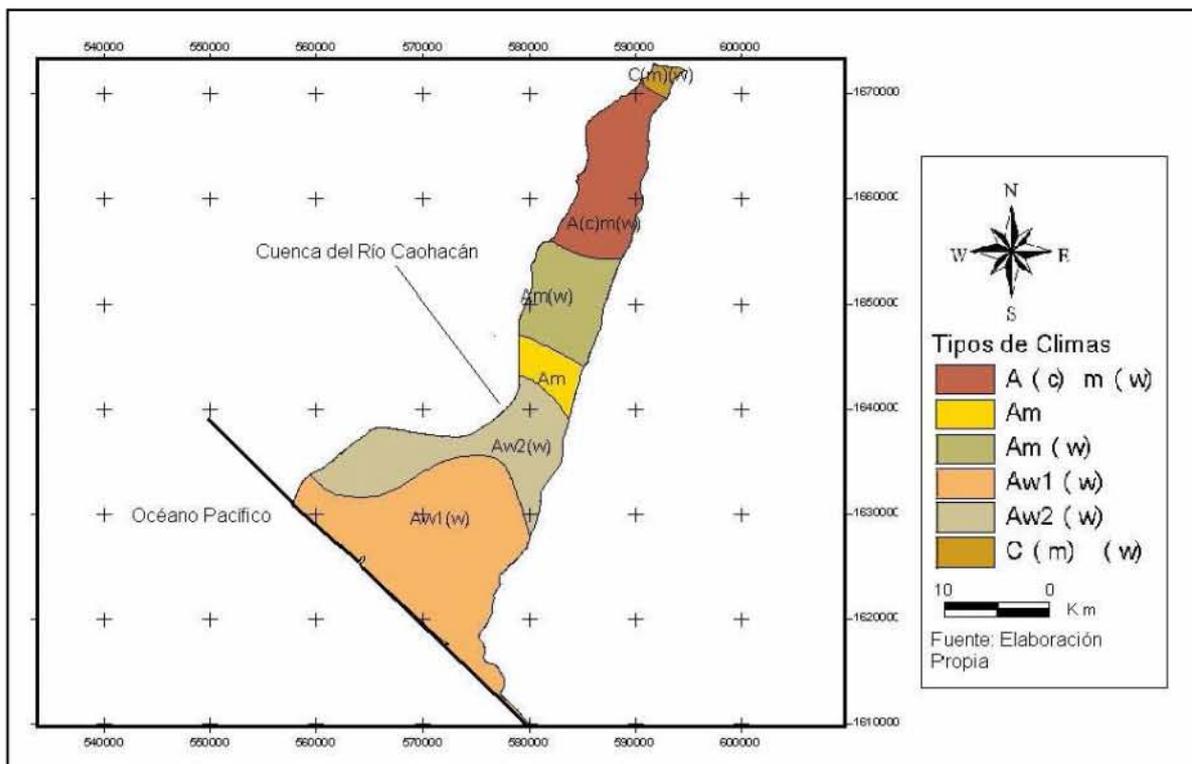
De acuerdo a la clasificación de climas elaborada por Koppen y modificada por García, el clima que predomina en la región del Soconusco es del tipo cálido húmedo con temperaturas que varían de 25° a 34° C en primavera y verano, y para el resto del año las temperaturas tienen valores medios de 18° a 22° C. La época de lluvias normalmente comprende de abril a noviembre, SRH (1977).

La variabilidad topográfica de la región del Soconusco es grande, lo que define las condiciones climatológicas presentes en la misma. Según la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA, 1999), en la totalidad de la región del Soconusco existe una división clara entre la temporada de lluvia y sequía, las lluvias se presentan en el periodo de mayo a octubre. Las zonas en las que se divide la región presentan alta precipitación pluvial en el año, la cual fluctúa entre 1500 mm y 4000 mm, teniéndose un promedio regional de 2450 mm.

La temperatura media mensual es poco variable durante el año con una diferencia de 1.5 a 2 ° C entre el máximo (abril) y el mínimo (enero)

La información asentada en los párrafos anteriores permite inferir, lo cual tiene que ser demostrado, que la región del Soconusco en general y en forma particular la cuenca del río Cahoacán presenta una gran disponibilidad de recursos hídricos. Esto se tiene que analizar desde el punto de vista de la cantidad y calidad del recurso hídrico, lo que considera los diferentes impactos, en dicha disponibilidad, que ha ocasionado su uso irracional y desde luego el de las poblaciones asentadas en la región y particularmente dentro de los límites de la cuenca en estudio.

Figura 3.3 Clasificación climática dentro de la cuenca del río Caohacán.



La figura 3.3 muestra los perfiles climatológicos dentro de la cuenca del Caohacán; dentro de estos y en forma general se tienen climas tipo A, considerados como tropicales lluviosos con temperatura media del mes más frío mayor a 18° C; del mismo modo existen climas tipo C, considerados como templados lluviosos, con temperatura media del mes más frío entre -3° C y 18° C y la del mes más caliente mayor de 10° C. Los perfiles climatológicos presentes dentro de la cuenca en estudio, en orden ascendente desde la planicie costera hasta la zona montañosa, son:

- Aw1(w) Cálido subhúmedo con lluvias en verano.
- Aw2(w) Cálido subhúmedo con lluvias en verano.
- Am Cálido húmedo con abundante lluvia.
- Am (w) Cálido húmedo con abundante lluvia en verano.
- A(C)m(w) Semicálido, húmedo con abundantes lluvias en verano.
- C(m)(w) Templado húmedo con abundantes lluvias en verano.

En la tabla 3.4 se observan algunas de las variables climatológicas de la estación con clave 7200 Tapachula ubicada a 14° 56' de latitud norte y 92° 16' de longitud oeste, y a una altura sobre el nivel del mar de 179.0 metros.

Tabla 3.4. Variables climatológicas en la estación 7200-Tapachula

Variable	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Humedad Relativa (%)	73	69	70	73	78	82	80	82	84	82	79	76	77
Dirección de viento	NE												
Velocidad de viento (m/s)	1.8	2.0	2.0	2.0	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.5	1.4	1.5	1.7
Presión atmosférica (mb)	997.3	997.3	997.0	996.5	995.6	996.3	997.1	997.0	996.4	996.4	995.2	997.5	996.7
Insolación (h)	229	206	217	187	146	138	162	166	150	181	206	218	2213

Fuente: Procesado a partir de información del Observatorio Meteorológico de Tapachula, Chiapas.

3.3.2. Características edafológicas de la cuenca.

Richter (1993), menciona que el Soconusco es una región con una diversidad ecológica muy grande, con altitudes que van desde los cero hasta los 4000 msnm, lo que permite diferenciar estratos termohídricos y zonas con sus respectivas formaciones vegetativas. Deinlein (1993), indica que la diversidad climatológica y las diferentes formaciones de la vegetación provocan la presencia de diferentes tipos de suelos.

Deinlein (1993), menciona que los suelos tropicales se caracterizan por una meteorización química muy fuerte, en los casos extremos no contienen piedras ni materia orgánica y los minerales de arcilla son casi reducidos a kaolinita; debido a las altas precipitaciones que se presentan en la región, el ácido silicádico se transforma en ácido silicédico de forma tal que solo los óxidos de hierro y aluminio quedan en el suelo.

El contenido de materia orgánica es muy bajo y por la forma de los minerales de la arcilla, como las kaolinitas, la capacidad de intercambio catiónico(CIC) es

baja; la CIC describe la cantidad de absorción de las sustancias nutritivas para las plantas. Cuando las plantas cultivadas sustituyen a la vegetación natural, la circulación de nutrientes en el sistema suelo-planta deja de funcionar adecuadamente.

La denominada zona fría de la cuenca en estudio, presenta una meteorización química baja, por lo que el contenido de materia orgánica aumenta, aumentando así la CIC.

Los materiales originales de los suelos en la región del Soconusco y en particular de la cuenca del Cahoacán son de origen volcánico provenientes del volcán Tacaná y otros volcanes de Guatemala, de cenizas volcánicas muy antiguas. La fertilidad de estos suelos es muy alta y se reconocen 8 unidades de suelos. La tabla 3.5 muestra las unidades de suelos presentes en la región del Soconusco.

Tabla 3.5. Unidades de suelos presentes en la región del Soconusco, Chiapas.

Unidad	Superficie (km ²)	Porcentaje	Distribución y Características
Acrisoles	1670.0	28.9	Se encuentra en la zona de la sierra, combinado con Andosols. Su fertilidad es baja.
Andosols	360.0	6.2	Distribuidos en los alrededores del volcán Tacaná y Tuxtla Chico. Presentan fertilidad baja.
Cambisols	1705.0	29.5	Conforman la zona de planicie. Presentan características de permeabilidad, retención de agua y características químicas favorables, alta fertilidad y adecuados para la agricultura.
Fluvisols	351.0	6.1	De inundación periódica y fertilidad baja.
Gleysols	20.0	0.3	Suelos empantanados, alta presencia de cloruro férrico. Producción agrícola baja.
Phaeozems	698.0	12.1	Distribuidos en los alrededores de Tapachula, presentan alta fertilidad y son muy altos para la agricultura.
Regosols	443.0	7.7	Se distribuye en las zonas arenosas de la costa, se ubica en los límites de los materiales originales y los suelos. Presentan baja fertilidad.
Solonchaks	535.0	9.3	Se ubican en la zona estuarina, presentan conductividades de hasta 15 mS/cm lo que indica una alta salinidad.

Fuente: INEGI 1990, Carta edafológica D15-5 (Tapachula) y D15-2 (Huixtla), Escala 1:250 000.

Las características principales de estas unidades de suelo, según Ortiz (1990), son:

1) Acrisoles:

Del latín *acris*, muy ácido; connotativa de una baja saturación de bases. Presentan un horizonte B argílico, carecen de un horizonte A molico y de un horizonte E albico superpuesto a un horizonte lentamente permeable del patrón de distribución de arcilla y la formación lenguas. Son pobres en nutrientes, deficientes en microelementos, son susceptibles a la erosión; presentan un color rojo a amarillo claro.

2) Andosols:

Del japonés *An*, oscuro y *Do*, suelo; suelos formados a partir de materiales ricos en vidrio volcánico que por lo común presentan un horizonte superficial de color oscuro. Presentan una densidad aparente de la fracción de suelo fino de menos de 0.85 g/cm^3 y un complejo dominado por material amorfo. Carente de cualidades hidromórficas dentro de los 50 cm superiores, carentes de salinidad elevada. Presentan esponjosidad y alta porosidad que puede pasar del 70 %, en sus horizontes superior y medio.

3) Cambisols:

Del latín *Cambiare*, cambio; indicativo de cambios en color, estructura y consistencia que resultan de la intemperización *in situ*. Presenta un horizonte B cambico; presenta un horizonte A ocrico o umbrico, un horizonte calcico o uno gypico, el horizonte de cal pulverulenta suave dentro de los 125 cm de profundidad de la superficie. Calcáreos entre los 20 y 50 cm, carentes de salinidad elevada, carentes de un régimen de humedad árido. Presentan textura media. Son suelos susceptibles a la erosión alta o moderada. Se desarrollan con mayor facilidad en clima tropical húmedo, en zonas de costas.

4) Fluvisols:

Del latín *fluvius*, río; indicativo de las planicies de inundación y de los depósitos aluviales; suelos desarrollados en depósitos aluviales recientes de tipo fluvial, marino, lacustre o coluviales. Usualmente presentan un horizonte A ocrico o umbrico, un horizonte H histico o un horizonte sulfúrico. Presenta un contenido de materia orgánica que disminuye en forma irregular con la profundidad o que puede permanecer arriba de 0.35 5 a una profundidad de 125 cm. Presenta material sulfuroso dentro de los 125 cm de profundidad. Se presentan en áreas tropicales adyacentes al mar, en aluviones con drenaje natural o artificial de estuarios o manglares y deltas de ríos tropicales.

5) Gleysols:

De la palabra rusa *gley*, masa de suelo fangoso; indicativa de un exceso de agua. Suelos formados de materiales no consolidados, excluyendo depósitos aluviales recientes, que muestran propiedades hidromórficas dentro de los primeros 50 cm de profundidad. Se encuentran donde el agua se acumula, en la capa saturada de agua se presentan colores azulosos verdosos con manchas rojas. Son poco susceptibles a la erosión. Son carentes de salinidad elevada.

6) Phaeozems:

Del griego *phaios*, negruzco y de la palabra rusa *Zemlja*, tierra. Presentan un horizonte A molico; carecen de un horizonte calcico, gypsico o concentraciones de cal suave pulverulenta dentro de los primeros 125 cm de profundidad; presentan un horizonte B cambico de los 50-120 cm de profundidad. No presentan salinidad elevada dentro de los primeros 50 cm de profundidad. En la superficie puede presentarse una capa delgada y suelta de hojarasca que descansa sobre el suelo mineral o bien una maraña delgada de raíces. Presenta un horizonte superior A molico de color gris muy oscuro, que puede tener hasta 50 cm de espesor. Estos suelos se presentan usualmente en zonas planas a

ligeramente onduladas y casi están por completo ausentes en pendientes de moderadas a pronunciadas.

7) Regosols:

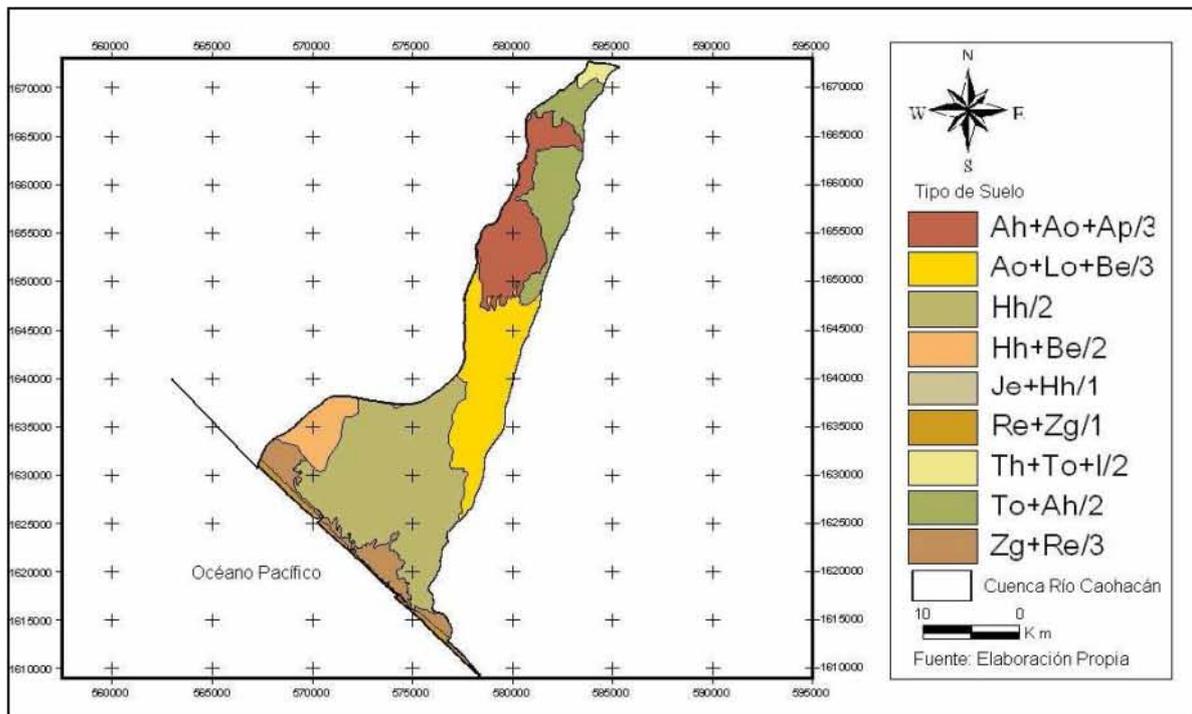
Del griego *rhegos*, cobija, manta; manto de material suelto situado sobre el centro duro de la tierra. Solo presenta un horizonte A ocríco, que se forma con rapidez, pero con frecuencia es una fase transicional a un horizonte A mólico o umbríco. No presenta salinidad elevada. Presenta una amplia gama de texturas y ocurren en todas las zonas climatológicas y, por lo tanto constituyen la etapa inicial de formación de suelos, principalmente Podzols, Luvisols, Cambisols, Chernozems, Castanozems, Xerosols y Yermosols. Presentan ausencia de horizontes pedogénicos, lo que se puede atribuir a la presencia de un material parental muy inerte para el desarrollo de horizontes, como arenas de cuarzo; a la formación de suelo de un material parental que se disuelve casi completamente con muy pocos residuos, como las calizas raras compuestas principalmente de carbonatos; tiempo insuficiente para desarrollar horizontes en depósitos recientes de cenizas volcánicas o aluviones de ríos; a pendientes donde las velocidades de erosión superficial igualan o exceden la velocidad de formación del perfil.

8) Solonchaks:

Del ruso *sol*, sal; se refiere a los suelos con un contenido elevado de sales; presentan salinidad elevada y presenta un horizonte A; el suelo es normalmente de color gris o pardo-grisáceo, a menudo con motas, la mayoría de ellas en el horizonte medio; el contenido de sales es mayor en la superficie y va disminuyendo conforme a la profundidad.

La figura 3.4 muestra los diferentes tipos de suelos presentes dentro del límite de la cuenca del Cahoacán.

Figura 3.4. Clasificación edafológica dentro de la cuenca del río Cahoacán.



En la figura 3.4., se puede observar que los tipos de suelos presentes dentro de los límites de la cuenca del río Cahoacán son muy variados y por lo tanto presentan características distintas, lo que del mismo modo origina la presencia de diferentes especies vegetales, así como diferentes aptitudes del suelo para la presencia de cultivos. Del mismo modo estas diferencias provocan diferentes grados de erosión en los suelos de la región del Soconusco y de forma particular de la cuenca del Cahoacán.

Los suelos predominantes son:

Re+Zg/1: Regosol eútrico más Solonchak gleyco con niveles muy bajos de drenaje.

Zg+Re/3: Solonchak gleyco más Regosol eútrico con niveles medios de drenaje.

Hh/2: Pheozem háplico con nivel bajo de drenaje.

Hh + Be/2: Pheozem háplico más cambisol eútrico con nivel bajo de drenaje.

Ao+To+Be/3: Acrisol órtico más andosol órtico más cambisol eútrico con nivel medio de drenaje.

Je+Hh/1: Fluvisol eútrico más pheozem háplico con niveles muy bajos de drenaje.

Ah+Ao+Ap/3: Acrisol húmico más acrisol órtico más acrisol plintico con nivel medio de drenaje.

To+Ah/2: Andosol órtico más acrisol húmico con nivel bajo de drenaje.

Th+To+l/2: Andosol húmico más andosol órtico con nivel bajo de drenaje.

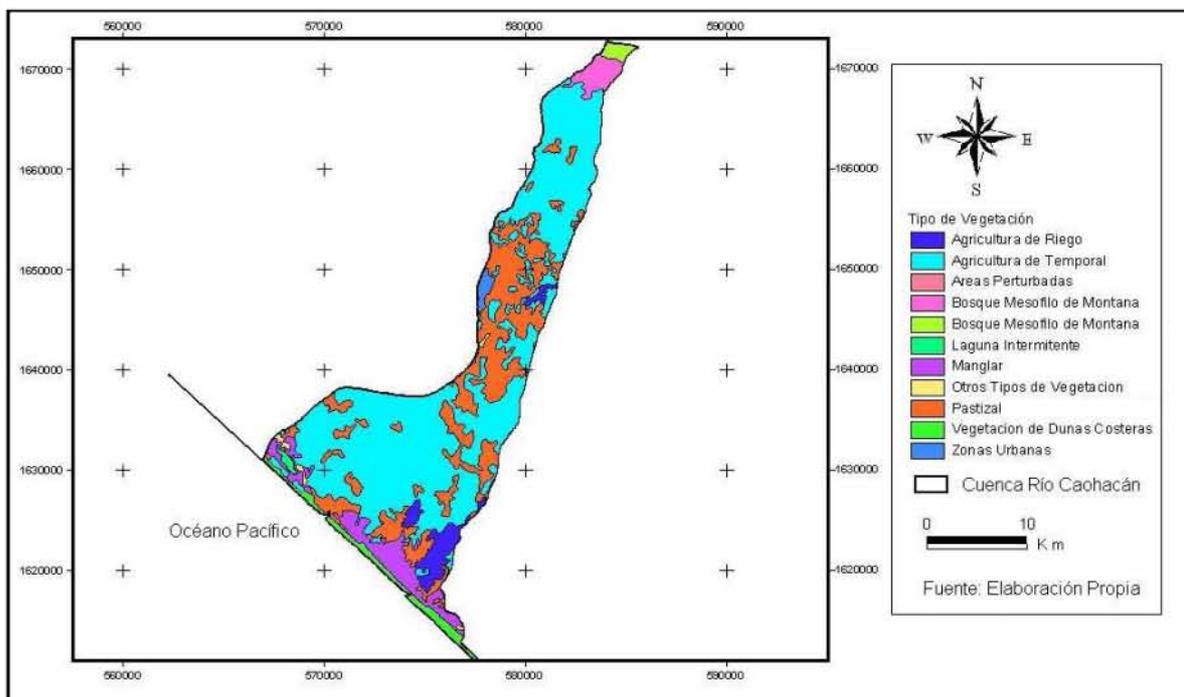
Ah+To+Rd/2: Acrisol húmico más andosol órtico más regosol districo con nivel bajo de drenaje.

3.4. Uso de suelo en la cuenca.

El uso de suelo en la región del Soconusco es variable de acuerdo con la altitud. De 0 a 20 msnm destacan los pastizales y los cultivos cíclicos que se presentan en la superficie reducida de la zona estuarina y de manglares. Entre 20 y 100 msnm es apto para la siembra de cultivos, desde el punto de vista topográfico y agronómico, la mayor parte de las tierras que se encuentran en estos límites se cultivan actualmente. Las tierras comprendidas entre los 100 a 400 msnm son usadas para cultivos cíclicos y perennes y alguna parte de ellas se encuentran ocupadas por cultivos de café. El cultivo del café predomina en las tierras con niveles altitudinales que van desde los 400 a 1200 msnm. Los suelos ubicados a más de 1200 msnm son ocupados por la vegetación forestal y algunas pequeñas porciones para los cultivos cíclicos.

En general se puede decir que el uso del suelo en la región del Soconusco es para los granos un 25.3 %, áreas forestales un 25.1 %, los pastizales ocupan un 16.6 %, los cafetales un 14.4 % y para otros usos se destina un 18.6 % de la superficie territorial.

Figura 3.5 Uso de suelo dentro de la cuenca del río Cahoacán



En general para la región del Soconusco, tendencia que es semejante en los límites de la cuenca del Caohacán, entre los 20 a 100 msnm predomina el cultivo de granos y el 95 % de la superficie es ocupada por cultivos agrícolas. Las áreas forestales están ubicadas en zonas con topografía accidentada, en pantanos y en altitudes superiores a los 1200 msnm. La conservación de los bosques es de suma importancia. Tabla 3.6.

La tabla 3.7 muestra el uso del suelo, en la región del Soconusco, en relación con la pendiente, aquí nuevamente la tendencia es similar para la cuenca del Caohacán; en esta se puede observar que el café, cacao y los granos se encuentran en las tierras con mayor pendiente. Del mismo modo se observa que el cultivo del café se localiza en pendientes de más de 12 grados. Según la Japanese International Cooperation Agency (2000) el avance de la erosión y la falta de tecnologías avanzadas, provoca baja productividad agrícola; aunado con la práctica del monocultivo lo que provoca la degradación de los suelos, lo cual se presenta de manera directa con la altitud de las tierras.

Tabla 3.6. Uso de suelo en hectáreas de acuerdo con la altitud.

Categoría por altitud	0 a 20	20 a 100	100 a 400	400 a 800	800 a 1200	1200 a 2000	Mayor a 2000	Toda la región
Área residencial	1297	2837	2618	630	206	144	0	7734
Forestal tropical	0	0	0	0	0	36705	21926	58631
Forestal templado	5962	5009	20967	12636	10349	17061	0	71984
Manglar	25825	0	0	0	0	0	0	25825
Arena	2725	0	0	0	0	0	0	2725
Zona estuarina	45336	465	0	0	0	0	0	45827
Pastizales	51040	38243	13886	342	0	0	0	103511
Palma de aceite	3090	1579	2	0	0	0	0	4670
Plátano	12511	4327	0	0	0	0	0	16837
Mango	11861	8015	907	0	0	0	0	20784
Cacao	5238	4700	6283	507	0	0	0	16729
Café	0	0	5209	45815	36838	1783	0	89644
Otros perennes	997	540	46	0	0	0	0	1583
Cultivos cíclicos	50173	53264	25905	8127	3292	12925	4160	157846
Total	216056	118980	75823	68057	50685	68618	26112	624331

Fuente: JICA (1999).

Tabla 3.7. Uso de suelo en hectáreas de acuerdo con la pendiente.

Cultivo/Pendiente	0 a 3	3 a 6	6 a 12	12 a 17	17 a 25	25 a 35	> 35	Total
Cíclicos	111605	9740	12418	7755	8929	5405	1992	157844
Café	7579	8568	19170	17613	23302	11366	3029	89627
Pastizales	88872	6130	5775	1666	792	174	102	103511
Cacao	14135	1030	948	359	199	55	3	16729
Mango	20416	244	113	7	3	0	0	20784
Otros cultivos	23090	0	0	0	0	0	0	23090
Zona estuarina	45827	0	0	0	0	0	0	45827
Otro uso	47152	9831	20808	19000	29795	26004	14328	166918
Total	358676	35543	59233	46400	62021	43004	19454	624331

Fuente: JICA (1999).

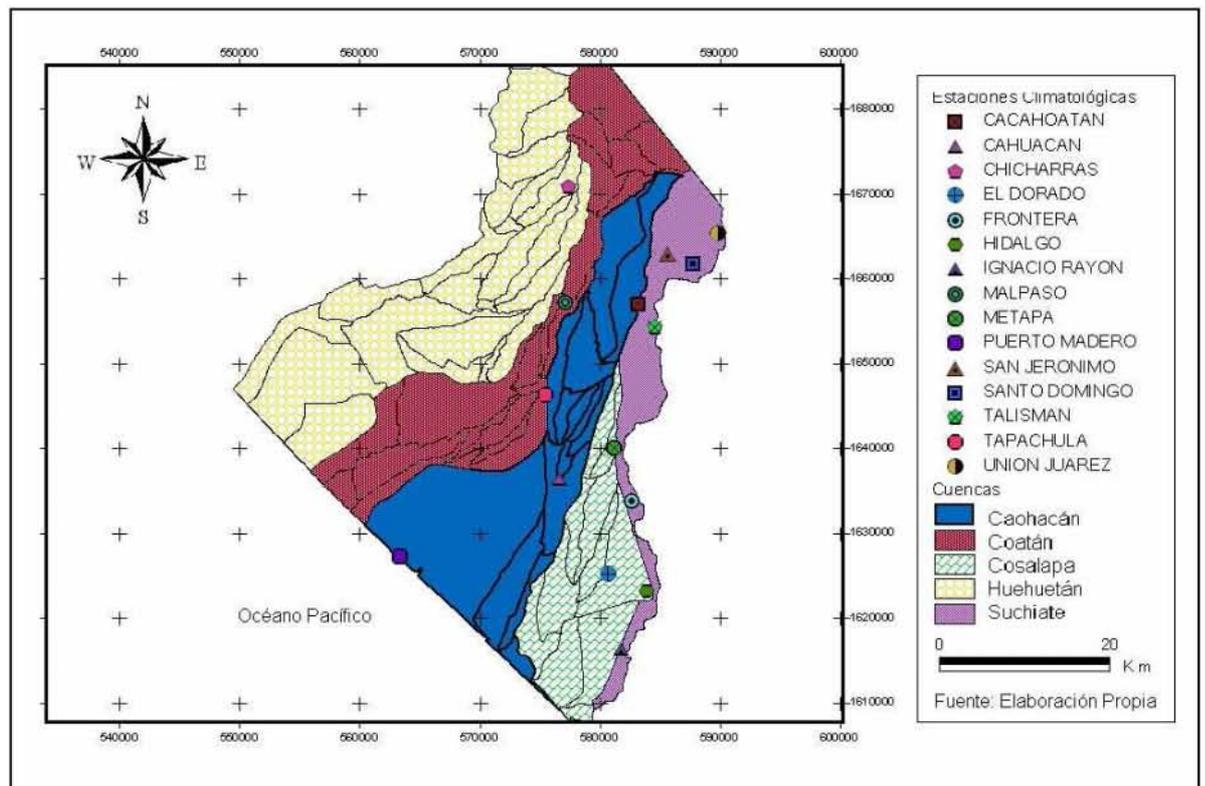
La mayoría de los cultivos, excepto el plátano y el mango, se siembran en las tierras con capacidad baja o en las tierras no aptas para su uso agrícola. La explotación agrícola en la planicie ha deteriorado la fertilidad de los suelos y de forma recurrente ha provocado la disminución del rendimiento de los cultivos.

IV.- ANÁLISIS DE LA HIDROLOGIA SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO CAHOACAN.

4.1. Localización de las estaciones climatológicas.

En la figura 4.1 se muestran las cinco estaciones climatológicas que se encuentran dentro de la cuenca del río Caohacán, del mismo modo aparecen las estaciones meteorológicas vecinas que pueden ser usadas para describir el comportamiento climatológico de la cuenca.

Figura 4.1 Localización de las estaciones climatológicas.



Las estaciones climatológicas que se encuentran dentro de la cuenca del río Caohacán son: 1) Puerto Madero, 2) Los Toros, 3) Caohacán, 4) Tapachula y 5) Cacaohatán.

4.2.- Análisis de la precipitación pluvial y de la evaporación.

La precipitación media anual de la región donde se ubica la cuenca fluctúa desde 1000 mm en la planicie costera a 5000 mm en la parte alta considerada como montañosa. La precipitación se concentra en los meses de mayo a octubre, generándose un período seco en el cual se requiere de sistemas de riego para satisfacer la demanda de agua de los cultivos.

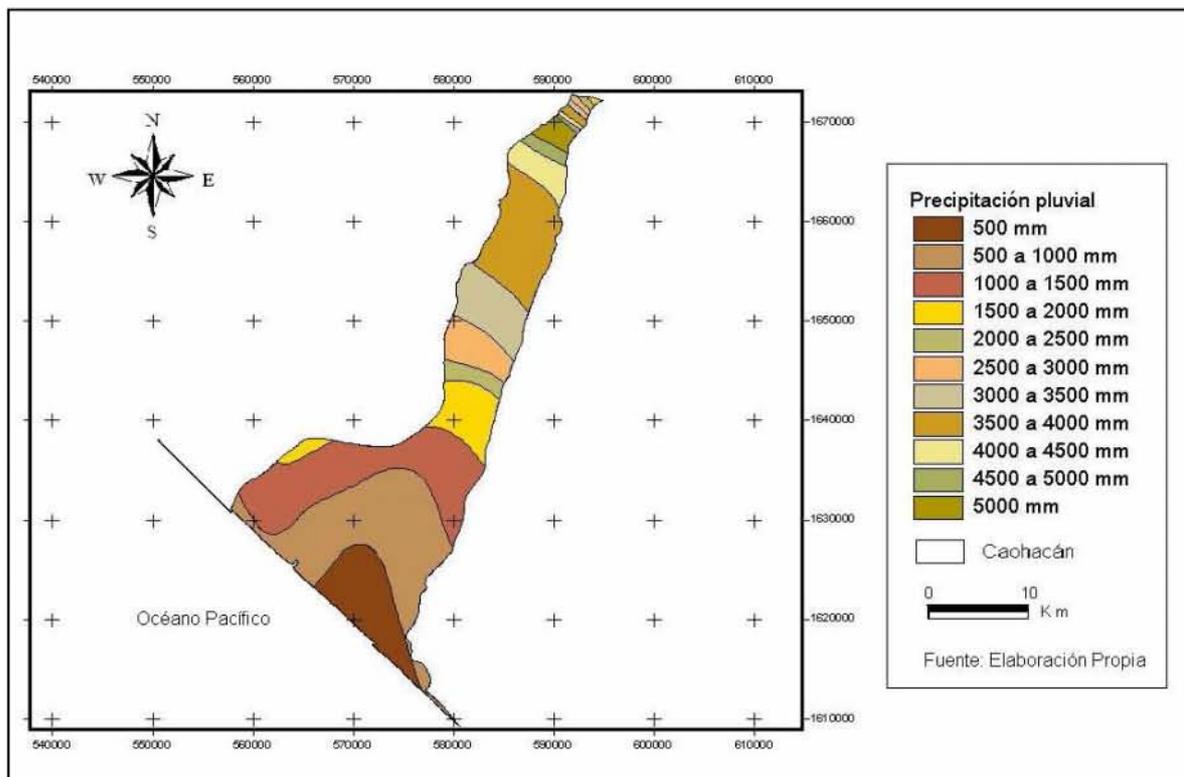
Tabla 4.1. Precipitación Pluvial. Promedio mensual y Media Anual para cada una de las estaciones

ESTACIÓN	PROMEDIO MENSUAL												MEDIA ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
PUERTO MADERO	21.78	11.67	32.38	69.78	156.4	291.8	177.4	208.0	307.9	227.6	38.83	1.05	1544.87
CAOHACAN	2.24	3.45	12.50	41.41	158.4	264.3	244.5	365.4	281.7	132.7	28.17	8.68	1543.77
TAPACHULA	5.33	8.14	24.71	111.2	286.9	436.5	393.6	387.9	484.0	328.9	58.46	11.14	2128.32
CACAOHATÁN	22.94	32.94	111.2	268.4	575.6	728.2	517.9	630.3	754.5	655.4	183.3	36.22	4517.38

Fuente: Procesado a partir de información del Observatorio Meteorológico de Tapachula, Chiapas.

En la figura 4.2 se pueden apreciar las isoyetas, en ésta se puede observar que la precipitación se incrementa conforme se llega a la zona de montañas; la estación Cacaohatán se encuentra en la parte media entre la zona costera y la montaña. En la tabla anterior se puede observar que de abril a octubre es cuando se presenta el período de lluvias, presentándose lluvias escasas en los meses de noviembre a marzo, lo que hace necesario, como ya se mencionó, en la parte costera (estaciones Tapachula, Caohacán y Puerto Madero) la implantación de sistemas de riego que impidan las pérdidas económicas que se pudieran tener en los cultivos comerciales (Plátano, Papaya, Mango, Sorgo, etc.)

Figura 4.2 Isoyetas anuales, Cuenca Río Caohacán.

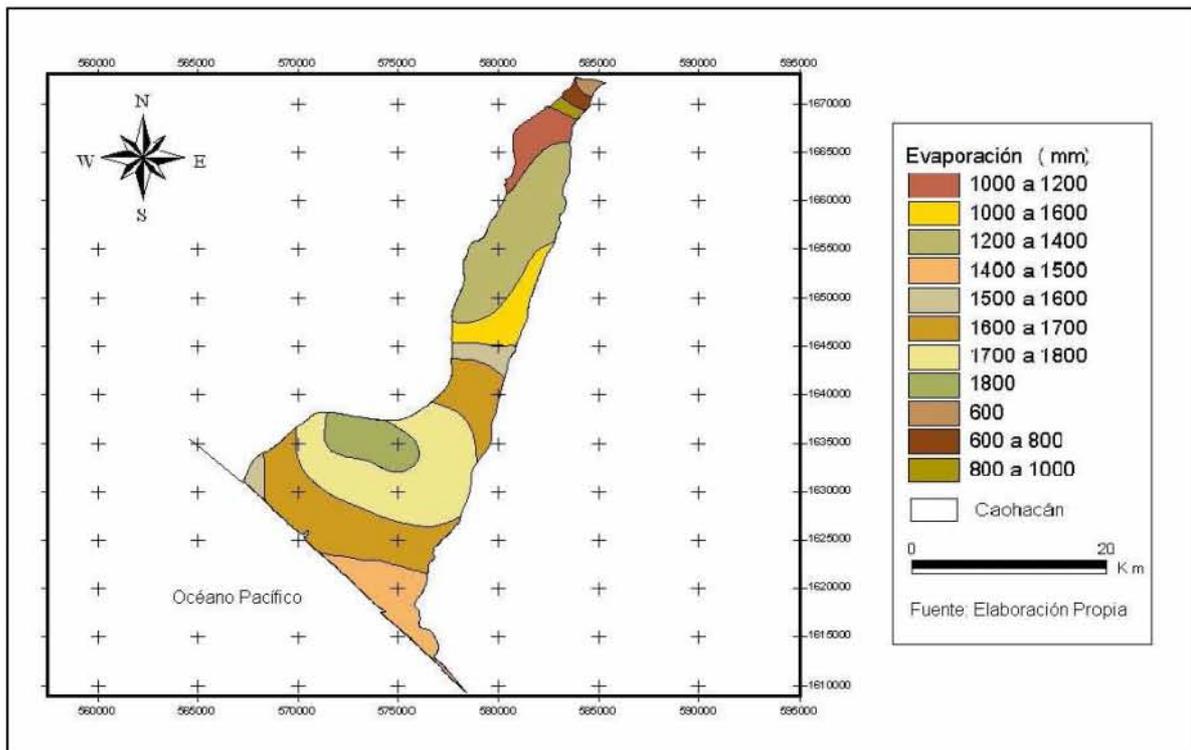


Los valores de igual precipitación, permitirán conocer el volumen de lluvia que se precipita sobre la superficie de la cuenca, con esto y con los valores de los coeficientes de escurrimiento poder determinar la cantidad de agua que escurre y que se infiltra en el suelo.

La evaporación que se presenta en la cuenca fluctúa de acuerdo con la altitud, se presentan valores de 1800 mm en la zona costera (estaciones Puerto Madero y Los Toros) hasta valores de 600 mm en la parte alta (montañosa) de la cuenca. Se considera a la evaporación como uno de los parámetros que permiten conocer la disponibilidad de agua en una cuenca.

La figura 4.3, muestra las isólineas de evaporación anual.

Figura 4.3. Isolíneas de evaporación anual, Cuenca Río Caohacán.



Como ya se mencionó, solamente una estación registra los parámetros del clima que son necesarios para el cálculo de la evapotranspiración, en este caso solamente el subcentro meteorológico Tapachula (estación Tapachula) registra datos de temperatura media, velocidad del viento, humedad relativa, insolación y radiación solar.

4.3.- Análisis de la hidrometría.

La cuenca del río Caohacán se ubica dentro de los límites de la región del Soconusco, por ésta región fluyen trece ríos que nacen en la sierra madre de Chiapas y desembocan en el mar en el Océano Pacífico. Los escurrimientos fluyen directamente desde la parte alta de la cuenca hasta la planicie.

El río Caohacán tiene bien definido su ingreso al mar y en el período seco continúa teniendo escurrimientos por algunas lluvias esporádicas, aunque se encuentra en su nivel más bajo de aforo. Tiene su origen en la Sierra Madre de Chiapas, en el volcán Tacaná, tiene una longitud de 79 km y fluye de norte a sur.

Su cuenca es angosta y limita al noroeste con la cuenca del Coatán, al sureste con la del Suchiate y del Cosalapa; en el río Caohacán confluyen los arroyos Cahoa con una longitud de 25.5 km y una superficie de 59.2 km²; el río Caohacancito con un cauce de 9.3 km y un área de cuenca de 11.5 km²; los ríos Aguinalito 1 y 2 con una superficie de 15.6 km² en conjunto; el río Cuscusate de 10.5 km de longitud y con un área de cuenca de 9.2 km²; el Texcuyuapan, uno de los afluentes más importantes por su longitud que es de 22.7 km y su superficie de 23.6 km², además éste río recoge parte del agua residual sin tratamiento de la ciudad de Tapachula; el río Machapa en el cual confluyen los ríos Solís y el Naranja. En conjunto la cuenca del río Caohacan tiene una superficie de 562.8 km².

Sirve de límite entre los municipios de Tapachula con Frontera Hidalgo y Suchiate. Pasa por los ejidos Benito Juárez, La Rioja, Manuel Lazos, Cahoa, Guadalupe Victoria y San Fernando Caohacán

El río Caohacán, en menos de 70 km baja de 3000 msnm a la planicie, esto es indicador de una topografía abrupta y pronunciada, lo que hace que la superficie de la cuenca sea limitada, y por lo tanto cualquier aprovechamiento hidráulico que se le quiera dar a éste río se verá limitado.

4.3.1.- Localización de las corrientes superficiales y de las estaciones hidrométricas existentes.

El río Caohacán se origina en las faldas del volcán Tacaná en los límites con Guatemala, pero su cuenca se desarrolla en forma integra en Chiapas dentro del territorio mexicano (Figura 4.4).

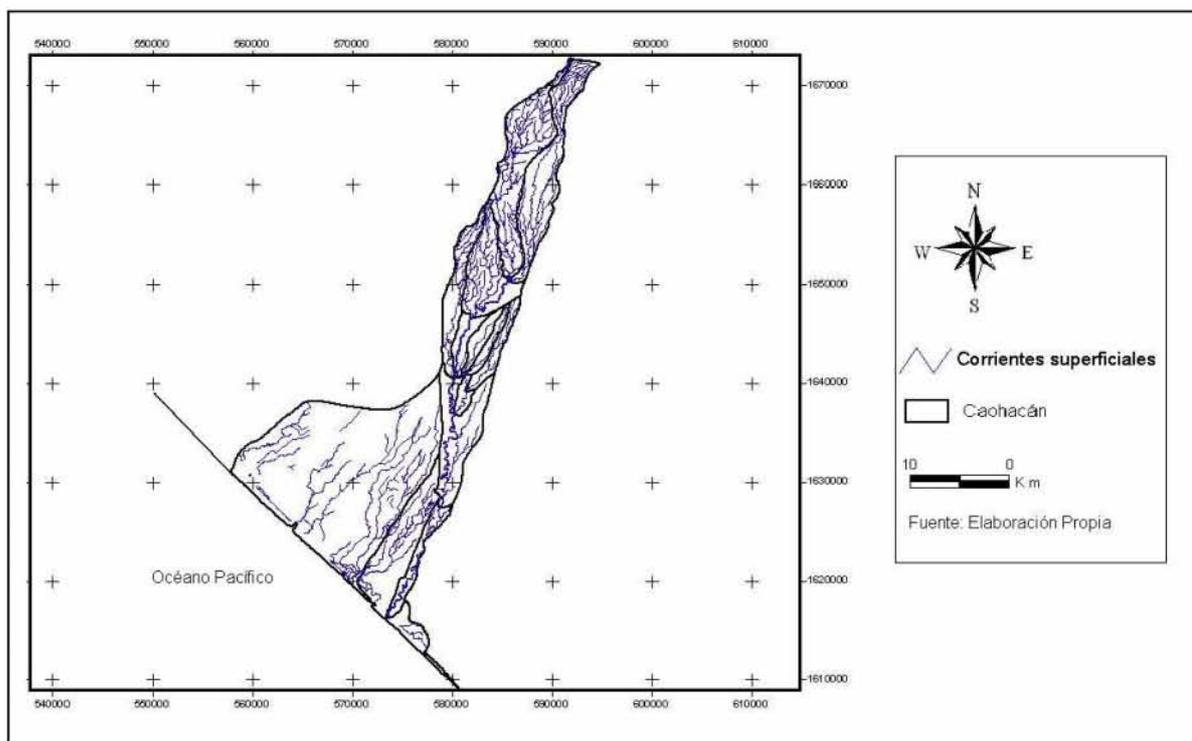
Desde de junio de 1948 opera una estación hidrométrica llamada Caohacán, a ella le corresponde un área drenada de 250 km².

La estación hidrométrica se localiza a 20 km al sur de la ciudad de Tapachula, a 16 km al noroeste de Ciudad Hidalgo a 16 km al este de Puerto madero y a

12 km aguas arriba de la desembocadura del río en el Océano Pacífico. Se ubica físicamente sobre el puente del ferrocarril panamericano en el kilómetro 905 de la línea Veracruz a Ciudad Hidalgo, (SRH, 1977).

La localización geográfica de la estación es 14° 43' 00" de latitud norte y 92° 16' 15" de longitud oeste; el tramo donde se ubica es ligeramente esviado y el fondo del cause es arenoso y variable en época de avenidas. Figura 4.4.

Figura 4.4 Corrientes superficiales en la cuenca del río Caohacán.



4.3.2.- Volúmenes escurridos.

Como se mencionó antes, la estación hidrométrica Caohacán comenzó a operar en 1948, pero se tienen registros completos a partir de 1950. Se cuenta con los volúmenes anuales en millones de m³, así como con los gastos medios diarios en m³/s.

En la tabla siguiente se presentan los volúmenes anuales en millones de m³, que escurren por la sección transversal de la estación de aforo.

Tabla 4.2. Volúmenes anuales en millones de m³.

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA CAOHCAN							
Año		Año		Año		Año	
1950	848.888	1961	521.618	1971	542.133	1981	679.862
1951	773.213	1962	644.566	1972	509.608	1982	637.869
1952	410.340	1963	670.841	1973	647.835	1983	509.662
1953	680.752	1964	697.608	1974	595.745	1984	585.989
1954	849.016	1965	531.055	1975	595.025	1985	596.261
1955	741.887	1966	665.521	1976	475.549	1986	585.288
1956	559.205	1967	481.518	1977	396.564	1987	589.184
1957	540.146	1968	635.970	1978	518.395	1988	584.632
1958	564.304	1969	748.510	1979	558.865	1989	583.707
1959	611.659	1970	606.745	1980	488.800	1990	589.628

Fuente: Procesado a partir de información del Boletín Hidrológico.

4.4.- Calidad del agua superficial.

4.4.1.- Marco Legal. Normas.

La calidad del agua en la cuenca del Caohacán se ha deteriorado con el curso de los años, esto sin embargo no se puede afirmar contundentemente si no se realizan análisis de la calidad del agua que circula por los arroyos y ríos que conforman la cuenca.

Existen numerosas descargas de agua residual sin tratamiento a los cuerpos de agua, dentro de ellas se pueden anotar las Plantas beneficiadoras de café, rastros y descargas de agua residual urbana (por ej. la ciudad de Tapachula, descarga parte del agua residual sin tratamiento al río Caohacán).

Es así como la calidad del agua se está deteriorando, como consecuencia además del uso irracional de productos químicos (plaguicidas, fertilizantes, etc.) en los campos agrícolas.

Generalmente, las poblaciones que se encuentran aguas abajo en la parte media y final de la cuenca, hacen uso del agua proveniente de las corrientes superficiales y ésta agua no cumple con la calidad requerida para uso doméstico.

Los valores obtenidos de la caracterización del agua deben compararse con las normas oficiales mexicanas vigentes que establecen: los criterios ecológicos para el agua potable y el riego agrícola, de acuerdo con diversas fuentes, así como los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

4.4.2.- Características físicas, químicas y biológicas del agua en estudios anteriores.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), tiene establecida una estación de monitoreo de calidad del agua en el río Texcuyupán, que es un afluente del río Caohacán. La clave de la estación es 00C123AD0890001 y su localización geográfica es 14° 51' 18" de latitud norte y 92° 51 ' 43.2" de longitud oeste. Es importante destacar que únicamente se hacen análisis de algunos parámetros de la calidad del agua; y como se puede observar en la tabla siguiente, el parámetro de coliformes rebasa los límites máximos establecido en la normatividad, lo cual es muy preocupante por que en la parte baja de la cuenca se usa el agua para lavado de ropa, para uso doméstico con condiciones de higiene nada adecuadas y asimismo se usa para riego de cultivos comerciales. La ciudad de Tapachula descarga su agua residual al río Texcuyupán y el gasto estimado por la CNA (2000c), que se descarga es del orden de los 15 162 m³/día, es decir 175.5 lps de agua residual sin tratamiento alguno.

La calidad del agua que circula por el río según CNA (2000c), se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 4.3. Calidad del agua en el río Texcuyupán

T (°C)	O.D. (mg/l)	GyA (mg/l)	Turbiedad	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Fosfatos totales (mg/l)	Nitratos (mg/l)
29.8	4.0	13.4	S/D	S/D	4	S/D
pH	DBO (mg/l)	C.E. (µmhos/cm)	Color	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	Cloruros (mg/l)
6.8	7.2	358	S/D	2.5E+06	6.1	S/D

Fuente: CNA (2000c)

En 1977, la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos realizó el análisis de la calidad del agua en el río Caohacán, pero únicamente determinó parámetros químicos, con la finalidad de determinar la calidad del agua con fines de riego agrícola. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Calidad química del agua en el río Caohacán

T (°C)	pH	C.E.	Alcalinidad total (ppm)	Dureza (ppm)			S.D.T. (ppm)	Cationes (ppm)			Aniones (ppm)			
				Total	Ca	Mg		Ca	Mg	Na	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄
30	7.86	69	75	35	10	25	162	4	6	45	64	13	28	20

Fuente: SARH (1977)

Es importante mencionar que no se indica el lugar donde se tomó la muestra de agua. La calidad del agua para riego se clasifica como C1-S1, es decir bajo peligro de salinidad y bajo peligro de sodio.

En el año de 1995 la Secretaría de Ecología, Recursos Naturales y Pesca, Esquinca C. et al. (1997), realizó un análisis de la calidad del agua residual de la ciudad de Tapachula, la cual se vierte al río Caohacán a través del río Texcuyupán. En este estudio se encontraron los resultados que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 4.5. Calidad del agua residual vertida al río Texcuyupán.

T (°C)	D.Q.O (mg/l)	GyA (mg/l)	Sólidos Totales (mg/l)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)
27	480.0	36	588	296
pH	DBO (mg/l)	C.E. (µmhos/cm)	Sólidos Sedimentables (mg/l)	Sólidos Disueltos Totales (mg/l)
7.03	433.3	930	0	292

Desafortunadamente en este estudio no se analizó la calidad bacteriológica del agua, es decir no se puede tener un juicio sobre esto. En el caso de la calidad biológica puede observarse que el agua residual rebasa los límites establecidas en la normatividad ambiental vigente, lo cual está afectando la vida acuática del río, es importante por tanto caracterizar la calidad del agua que escurre por el río antes y después del vertido del agua residual.

V.- ANÁLISIS DE LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.

5.1. - Aprovechamientos subterráneos, características.

La cuenca del río Caohacán, ubicada en la región del Soconusco, ha estado sujeta en las últimas décadas a diversos aprovechamientos hidráulicos, principalmente de agua superficial (derivaciones de ríos para riego agrícola); sin embargo a pesar de la alta capacidad de recarga (JICA, 2000) de los acuíferos, su utilización actual se limita a un nivel muy bajo dejando muchos pozos perforados sin uso efectivo, motivado esto por los altos costos de operación y mantenimiento comparados estos con los ingresos económicos que aportan los cultivos.

En 1977 la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) llevó a cabo un inventario de todos los aprovechamientos de agua subterránea (pozos profundos y norias), esto en toda la región del Soconusco. En ese estudio se localizaron 361 sitios, de los cuales 31 correspondían a pozos profundos y 330 a norias.

De los 31 pozos, en ese entonces, solo funcionaban 27 y se destinaban a uso doméstico, agrícola, ganadero e industrial. De las norias únicamente funcionaban 317 con uso doméstico predominantemente. Actualmente existen 70 pozos profundos en la región del Soconusco, y el agua extraída se destina en su mayoría a riego agrícola.

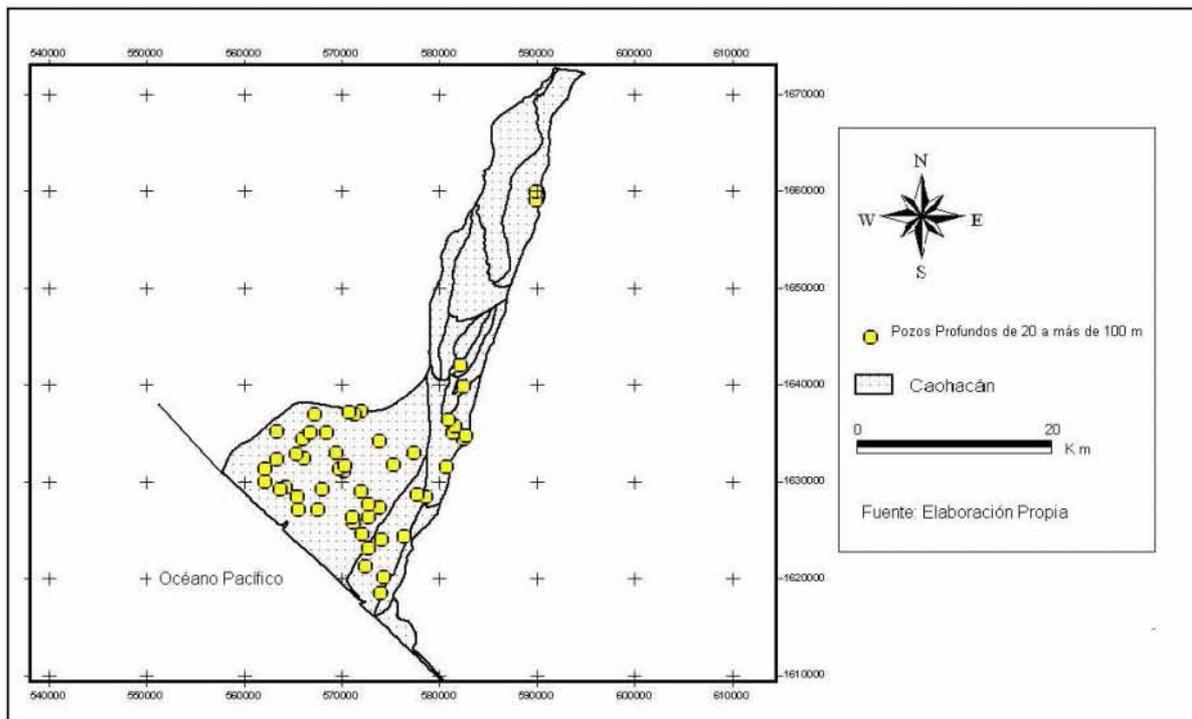
Generalmente el agua subterránea se bombea desde las norias existentes desde 10 a 30 m y desde los pozos profundos desde 80 a 120 m. El acuífero del que se extrae el agua se recarga por infiltración de la lluvia que escurre de las partes altas de la sierra, otra parte importante la constituye la infiltración directa sobre las superficies planas permeables.

5.2. – Ubicación de los aprovechamientos subterráneos.

En el municipio de Tapachula se han registrado 40 pozos profundos, que tiene como finalidad el uso del agua en riego agrícola, estos deberán sumarse a los que se destinan con fines de uso doméstico, industrial y para la ganadería.

En la figura siguiente se puede observar el número de aprovechamientos hidráulicos existentes en la cuenca del río Caohacán.

Figura 5.1. Ubicación de los pozos profundos en la cuenca del río Caohacán.



En la misma figura 5.1 se puede observar que a la cuenca del río Caohacán le corresponden 54 pozos profundos, con profundidades mayores a los 20 m, en la mayoría de los casos el agua que se extrae de estos pozos se destina a riego agrícola.

5.3. - Calidad del agua subterránea.

Generalmente la calidad del agua subterránea, se mide en términos químicos y para revisar si cumple con las características requeridas para su uso en riego

agrícola. Generalmente se determina al medir analíticamente la concentración de sus componentes químicos. Se parte del hecho de que, al contrario del agua superficial, aquella esta libre de bacterias y no presenta contaminación producida por desechos industriales o de tipo doméstico. En la cuenca estudiada se hace uso de grandes cantidades de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes) para el combate de plagas y para el “incremento” de la producción agrícola, por lo que es probable que el agua subterránea se encuentre contaminada con estos productos, por lo que es necesario realizar el análisis de la calidad del agua considerando estos factores.

5.3.1.- Características físicas, químicas y biológicas del agua subterránea en estudios anteriores.

En el caso del agua subterránea de la cuenca del Caohacán, únicamente se han realizado estudios de la calidad química del agua, con fines de clasificarla para su uso en riego agrícola, identificándose cationes y aniones. Se encontraron valores de sólidos totales disueltos (SDT) del orden de los 200 ppm.

VI.- CÁLCULO DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO CAOHCÁN

6.1. Primer escenario – Condiciones actuales

La preocupación por el problema de la erosión de suelos es relativamente reciente; la cuantificación y control de éste problema comenzó a fines del siglo XIX en Europa y según Hudson (1982) fue Wollny el primero que realizó medidas en parcelas para comprobar el efecto de la vegetación en la intercepción de la lluvia y con ello en la degradación del suelo, así como los efectos de los distintos tipos de suelo y de pendiente en la erosión y evacuación de sedimentos. Pese a esto es en Estados Unidos de Norteamérica en donde se desarrollan las primeras experiencias cuantitativas, las cuales se vieron fuertemente promocionadas debido a la erosión presentada en la década de los años 20 del siglo pasado, lo que causó grandes catástrofes en las planicies de ese país y esto como resultado del uso inadecuado del suelo.

Millar et al. (1982), indican que la erosión hídrica causa cinco tipos diferentes de pérdidas o daños.

- 1) Pérdida de agua causante de la erosión, la cual pudiera ser aprovechada en la producción de los cultivos si en lugar de escurrir se infiltrara en el suelo.
- 2) El suelo arrastrado perdido con frecuencia deja de ser de valor en la producción de cultivos y, además, el suelo remanente, del que se ha eliminado el suelo superficial o arable, disminuye mucho su productividad.
- 3) El suelo erosionado causa muchos daños. En especial durante la formación de zanjas y barrancas, una capa de subsuelo estéril se puede depositar sobre un área de suelo productivo reduciendo, por lo tanto, su capacidad para la producción de cultivos.
- 4) Otro daño resultante de la formación de zanjas es la división de los campos en lotes irregulares. Al hacerse más profundas, estas zanjas impiden el buen uso de implementos agrícolas, de lo cual resultan

grandes inconvenientes y pérdidas de eficiencia en el cultivo de la tierra, en la siembra y en la cosecha.

- 5) El suelo removido por la erosión puede depositarse en los ríos, bahías y vasos de almacenamiento, favoreciendo las inundaciones, impidiendo la navegación y reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua; por ejemplo, como resultado de la erosión la presa Washington Mills en Fries, Virginia, en el curso de 33.5 años ha perdido el 83 % de la capacidad de almacenamiento.

Becerra (1999), citando a Sánchez (1988), indica que la excesiva acumulación de azolve en las presas del país, por ejemplo la presa Abelardo L. Rodríguez, la cual abastece de agua a parte de la ciudad de Hermosillo, Sonora, en tan sólo 50 años desde su construcción, ha reducido su capacidad de almacenamiento en alrededor del 50 %, lo que afecta negativamente tanto a las superficies de riego, como también a las poblaciones que de ella dependen, asentadas aguas abajo de la presa. Otro caso es el reportado por López (1995) para la presa “La Esperanza”, construida cerca de Tulancingo, Hidalgo, en 1944, con una capacidad total de almacenamiento de 3.92 millones de metros cúbicos, en 1995 la capacidad de almacenamiento útil se ha reducido a 1.133 millones de m³.

En regiones con clima húmedo, como la del Soconusco, la erosión causada por el agua es de tipo predominante, mientras que el aflojamiento y acarreo de partículas ocurre normalmente después de la saturación de los poros del suelo. Los efectos son mayores cuando las gotas de lluvia son grandes como en los trópicos y subtrópicos con lluvias convectivas. Por lo que, los terrenos de barbecho y los suelos mal protegidos, como algunos del Soconusco, están en peligro de erosión a causa de los golpes de gotas de lluvia, Seggern (1993).

Miller en 1917 realizó estudios a nivel de parcelas con la finalidad de considerar el efecto del tipo de cultivo y la rotación de estos en el proceso erosivo del suelo. Kirkby y Morgan (1984) indican que hasta los años cuarenta del siglo pasado los estudios se limitaron a la investigación aplicada bajo ciertas condiciones ambientales y se llegó a obtener una noción muy elemental de los

factores que condicionan el proceso de erosión. Del mismo indican que a partir de entonces se han desarrollado estudios y ecuaciones que permiten predecir la pérdida de suelo mediante una variable independiente única, que permitían conocer situaciones locales en las que el conjunto de factores que contribuyen a la erosión eran casi constantes. A medida que se conocía más el problema y se obtenían datos de lugares diferentes se fueron formulando ecuaciones que consideraban múltiples factores.

Los trabajos anteriores contribuyeron para que en 1958 Wischmeier formulara la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E.) que a pesar de sus carencias sigue actualmente siendo de aplicación universal.

Becerra (1999), indica que la erosión puede representarse como función de los factores activo y pasivo, además de la actividad del ser humano en cuanto al uso y manejo de los terrenos. Para la erosión hídrica, los factores mencionados se definen conceptualmente en la USLE.

Entonces, se puede decir que las ecuaciones predictivas en numerosos lugares y condiciones permitieron que a principios de los años sesentas del siglo pasado, se centralizara y generalizara el ámbito de aplicación de las ecuaciones generadas a más de una región. Esto condujo a una ecuación aceptada en Norteamérica y posteriormente aceptada en el mundo entero, ésta es la ecuación universal citada anteriormente, la misma tenía como propósito aislar cada una de las variables que intervienen en el proceso de erosión y reducir sus efectos a un número, de modo que al multiplicar estos números el resultado fuese la cantidad de suelo erosionado. La Ecuación, tiene la siguiente expresión:

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

Donde:

- A Pérdida de suelo.
- R Índice de erosividad de la lluvia que se expresa mediante la relación entre energía e intensidad de una precipitación máxima en un período de 30 minutos.
- K Es un factor de erodabilidad del suelo; un número que refleja la susceptibilidad del suelo a sufrir un cierto tipo de erosión.
- L Es el factor de longitud, una relación que compara las pérdidas de suelo con la de un campo experimental de longitud dada (22.13 metros).
- S Es un factor de pendiente, que compara la pérdida de suelo con la de una parcela experimental de pendiente dada (9 %)
- C Es el factor de cultivo, una relación que compara la pérdida de suelo con la de una parcela experimental cultivada en condiciones prefijadas de barbecho desnudo.
- P Es el factor de conservación, una relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo en el que no se realiza práctica alguna de conservación.

La ventaja de ésta ecuación es que el índice de erosividad permite considerar de modo más preciso las diferencias de pluviosidad de una tormenta a otra, o de una estación a otra. Sin embargo, en la práctica es muy difícil tener los datos que permitan estimar el índice de erosividad, esto debido a la escasez y mala distribución de los pluviógrafos. Lo anterior ha dado lugar a la búsqueda de modelos que realicen una predicción en función de parámetros proporcionados por la red pluviométrica. Para el caso que aquí se estudia se usará la expresión generada por Cortés (1991) , ésta ecuación y los argumentos de este último se detallan más adelante.

Gracia (1997), indica que una de las principales dificultades para el uso de la ecuación universal, radica en la inconsistencia de las unidades empleadas, ya que el criterio original considera unidades inglesas, por lo que la transformación al sistema métrico no es trivial, el mismo autor propone como alternativa para

resolver este problema el determinar todos los factores en unidades inglesas y calcular la pérdida de suelo empleando la ecuación:

$$A = (224.2) R K SL C P$$

Lo que permite que A se obtenga en toneladas métricas por kilómetro cuadrado por año.

Gracia (1997), indica que la versión original de la ecuación universal fue concebida para aplicaciones a nivel de parcelas, por lo que tiene limitaciones para aplicarse a grandes áreas como es el caso de las cuencas. Lo que implica valuar algunos parámetros de forma diferente al del parámetro original, este es el caso de por ejemplo de S y L; sin embargo los criterios para la realización de esta estimación no son uniformes ni completamente probados. El mismo autor indica que los factores K, SL, C y P pueden tomarse en cuenta siguiendo el mismo procedimiento del criterio original y que siempre el factor R es motivo de discusión.

Como se mencionó antes, existen numerosos criterios para determinar este factor, los cuales básicamente emplean la precipitación media anual, argumentando claramente que no existe información pluviográfica que permita estimar el factor R.

Por ejemplo, Barrios y Quiñonez (2000) estimaron el factor R a partir de registros mensuales de lluvia, usando datos de seis estaciones climatológicas cercanas al área de la cuenca motivo de su estudio, los mismos autores realizaron la distribución espacial de R mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En la actualidad se emplean los SIG para hacer un análisis espacial de la erosión, antes esto era poco frecuente por la gran demanda de tiempo y procesamiento de información. Con los SIG se potencian los métodos disponibles para la evaluación de la distribución espacial del fenómeno erosivo,

tales como la USLE y RUSLE (Renard, 1997), extendidas a cuencas hidrográficas. Barrios y Quiñonez (2000).

Bifani (1984), indica que la degradación del suelo, o sea la pérdida total o parcial de su capacidad productiva, tanto para su utilización presente como futura, se debe fundamentalmente a los procesos de erosión, sedimentación, anegamiento, salinización y alcalinización, contaminación química, uso indiscriminado de fertilizantes, herbicidas, etc., uso inadecuado del recurso y, finalmente, la desertificación. Oldeman et al. (1990), calculan que cerca de 1 200 millones de hectáreas de tierras agrícolas sufren procesos de degradación, de éstas algo más de un millón de hectáreas los son por efectos de la erosión. Las diferentes formas de degradación están asociadas o se derivan de las modalidades de intervención y uso que lleva a cabo el ser humano.

La erosión hídrica es la más importante causa de erosión de tierras: es responsable de la erosión de 440 millones de hectáreas de tierras de las 747 millones que sufren erosión en Asia; de 227 millones de hectáreas de las 497 millones que son afectadas por este fenómeno en África; de 123 millones de hectáreas de 243 millones en América del Sur; de 115 millones de 219 millones en Europa, 106 en América del Norte y América Central, Bifani (1984). Este mismo autor indica que un fenómeno íntimamente ligado a la erosión es el de sedimentación; es así como el proceso de erosión por acción del agua suele medirse por el volumen de sedimentos que arrastran los ríos. El Ganges, el Brahmaputra, el río Amarillo arrastran anualmente 1 451 millones, 726 millones y 1 887 millones de toneladas métricas, volúmenes que significan respectivamente 1518, 1 090 y 2 804 toneladas métricas por kilómetro cuadrado de cuenca hidrográfica, en comparación, el Mississippi, el Amazonas y el Nilo arrastran sólo 97, 63 y 31 toneladas métricas por kilómetros cuadrados de cuenca; Holeman N. (1968).

La erosión de suelos en México es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad. La implementación de métodos para predecir la pérdida de suelo por erosión en México no ha sido muy extensa, se han realizado numerosas investigaciones

para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos de suelo a nivel de cuenca hidrográfica y para evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas utilizando parcelas de erosión o lotes de escurrimiento, pero pocos estudios se han enfocado a la predicción de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos, Montes et. al. (1998). Estos mismos autores concluyen que el uso de SIG facilita el cálculo de la tasa de erosión potencial y también permite localizar geográficamente las áreas más afectadas. Esto permite jerarquizar las acciones de conservación.

Ahora bien en Chiapas y en particular la costa de Chiapas, que es en donde se ubica la cuenca en estudio, han sufrido en los últimos años graves procesos de erosión hídrica, provocando graves daños humanos y materiales. Baumann (1999), indica que el análisis de los diferentes estudios y diagnósticos que se han realizado sobre el proceso de erosión en las cuencas hidrográficas de la Costa de Chiapas, demuestra una situación preocupante. Indica que destacan una serie de problemas en relación al impacto humano y los cambios de uso de suelo en la zona, lo que acelera el proceso erosivo, la deforestación, la extensión de cultivos anuales y pastizales en zonas de laderas, el manejo deficiente de cultivos, la falta de medidas de conservación de suelo. Las características naturales muestran que cada uno de los factores del clima (alta pluviometría) topografía (pendientes pronunciadas), geología, aumentan el potencial natural de erosión, llegando a niveles extremos en su acción conjunta.

Debido a la magnitud de la problemática mencionada se han realizado estudios por organismos gubernamentales e instituciones de investigación, estos se basan principalmente en diagnósticos visuales de diferentes cuencas hidrográficas (SERNyP 1997) y en algunos casos mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo con base en la cartografía existente (Gómez et al., 1997) e imágenes de satélite (CNA-IMTA-CP 1997). Existe divergencia en los resultados obtenidos, sin embargo todas éstas investigaciones indican el papel clave que juega la cobertura vegetal en

disminuir o acrecentar el proceso erosivo de la lluvia en combinación esto con una topografía pronunciada.

La región del Soconusco, que se ubica al interior de la denominada región Costa de Chiapas y es en aquella donde se localiza la cuenca del río Caohacán, presenta problemas crecientes de erosión lo que según Richter (1993a) tiene su causa principal en formas no adecuadas de uso de suelo, destaca la erosión que se presenta en la zona cafetalera (600 a 1400 msnm) y la relaciona con la extensión de los cafetales que se manejan sin árboles de sombra.

Arellano (1994) usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, estimó que en el 89 % del territorio chiapaneco se presentaban condiciones de erosividad de lluvia de extrema a muy extrema con valores de erosividad anual R mayores de 10,000 MJ*mm/ha*h*año. Del mismo modo concluye que en poco más del territorio estatal, el potencial de erosión hídrica es de extremo a muy extremo.

Los resultados obtenidos por diversos investigadores, permiten ver la importancia de realizar mayores estudios que permitan diagnosticar la erosión hídrica a nivel de cuenca, así como poder inferir que puede ocurrir en caso de presentar la tendencia de degradación del suelo.

Índices de erosividad.-

Sin embargo, pocos estudios en el estado de Chiapas se han realizado a nivel de cuenca hidrográfica, aquí entonces se estudia la erosión hídrica en la Cuenca del Caohacán y se trata de establecer la relación que tiene ésta con las actividades económicas que se dan al interior de la cuenca. Se emplea la herramienta de los SIG y en particular el Software Arc View; para estimar la erosión hídrica se usa la USLE y para estimar el factor R se emplea la metodología propuesta por Cortés (1994).

Es necesario tener presente que la erosividad de la lluvia, considerada como la capacidad potencial de ésta para causar erosión, es medida por medio de los

índices de erosividad. Los más importantes y que se aplican en diferentes regiones de condiciones análogas son: EI30, Alm, Ram y F. En México los más usados son el F y el EI30.

El índice de Fournier (F) puede ser usado en zonas en donde no se dispone de suficientes datos de intensidad de lluvia, la erosividad puede ser estimada con buena aproximación a partir de datos mensuales utilizando la variación de Arnoldus (1980).

$$F_j = \sum p_{ij}^2 / P_j$$

Donde:

p_{ij} Precipitación media del i-esimo mes de la j-esima estación (mm).

P_j Precipitación media anual de la j-esima estación (mm).

F_j Índice de erosividad de Fournier de la j-esima estación (mm).

Este índice de erosividad da resultados satisfactorios para regiones tropicales que cuentan con poca disponibilidad de datos, es un método de estimación rápido que requiere de pocos datos y permite el desarrollo de planos de isoerosividad.

El índice EI30 es el propuesto por Wischmeier y a partir de éste se desarrolla el índice de erosividad R, esto como función de la energía cinética total de la lluvia y de su intensidad máxima en 30 minutos.

En México y en muchas otras regiones del mundo se tiene poca información sobre la intensidad de lluvia, por lo que se han desarrollado modelos empíricos alternativos para la estimación de R en función de otros parámetros de la lluvia, por ejemplo el de Lal (1976) y el de Ferro, et al. (1991).

Para México Cortés (1991) propone el siguiente modelo para la estimación de R en función de la precipitación media anual.

$$R = aP - bP^2$$

Donde:

R = Factor de erosividad de Wischmeier.

P = Precipitación media anual.

Para la zona donde se ubica la cuenca del río Caohacán propone la siguiente ecuación, la cual permite determinar el factor R en función de la precipitación media anual.

$$\mathbf{R = Y = 2.4619 P + 0.00606 P^2}$$

Esta ecuación presenta una correlación $R^2 = 0.96$.

Entonces usando los datos de precipitación media mensual y la precipitación media anual para las 5 estaciones que se encuentran dentro de los límites de la cuenca del Caohacán, así como los datos de 10 estaciones que se encuentran en las cuencas con las que limita esta última, se procedió a calcular los índices de Fournier y el factor R con la ecuación antes descrita.

La tabla 6.1 muestra los resultados para el factor F y el factor R, los cuales se obtuvieron a partir de la precipitación media mensual y precipitación media anual de las estaciones que se muestran en la figura 6.1, se consideraron cuatro cuencas aledañas a la cuenca en estudio, esto con la finalidad de tener una mayor certeza en el cálculo de los índices.

Se puede observar de los resultados que el índice de Fournier (F) presenta un valor mínimo de 200.898 y un máximo de 596.551; para el caso del factor R éste asume un valor mínimo de 13 543.285, que coincide con el valor mínimo del factor F y que corresponde a la estación El Dorado; el valor máximo del factor R es de 162 740.401 que corresponde al valor máximo del índice de Fournier y es para la estación Santo Domingo.

Tabla 6.1. Resultados del índice de Fournier (F) y del factor de erosividad (R) mediante el modelo propuesto por Cortés (1991)

CLAVE	ESTACION	F (mm)	R (MJ*mm/ha*h*año)
7018	CACAOHATAN	585.922	134928.921
7019	CAOHACAN	251.309	18259.638
7057	CHICHARRAS	528.057	105852.473
7045	EL DORADO	200.898	13543.285
7068	FRONTERA HIDALGO	277.114	26956.524
7163	HIDALGO	227.350	18118.032
7078	IGNACIO RAYÓN	205.762	14700.386
7191	MALPASO	514.240	94608.050
7117	METAPA	326.933	37187.460
7136	PUERTO MADERO	219.425	18282.959
7146	SAN JERONIMO	574.109	142653.538
7157	SANTO DOMINGO	596.551	162740.401
7166	TALISMAN	511.384	109519.554
7164	TAPACHULA	440.382	32721.680
7172	UNION JUAREZ	541.849	115564.355

Figura 6.1. Estaciones climatológicas consideradas en el cálculo de los factores F y R, en la cuenca del río Caohacán.

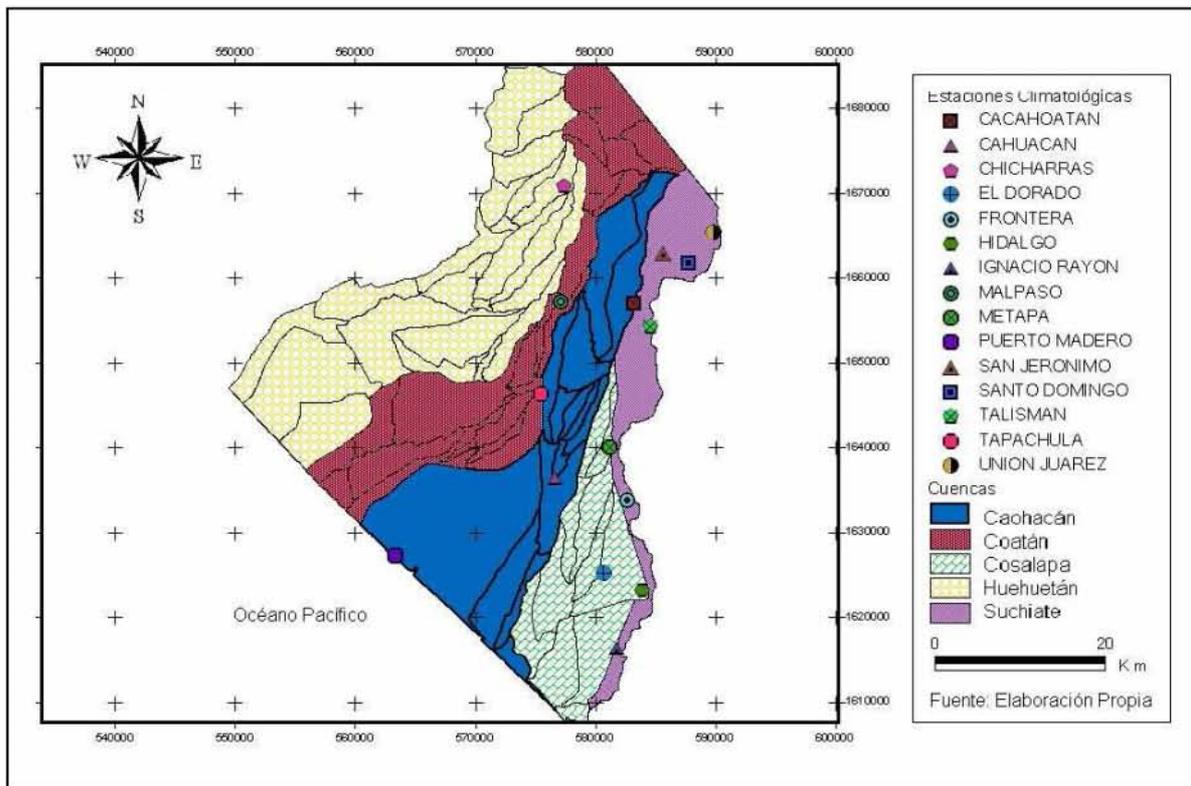
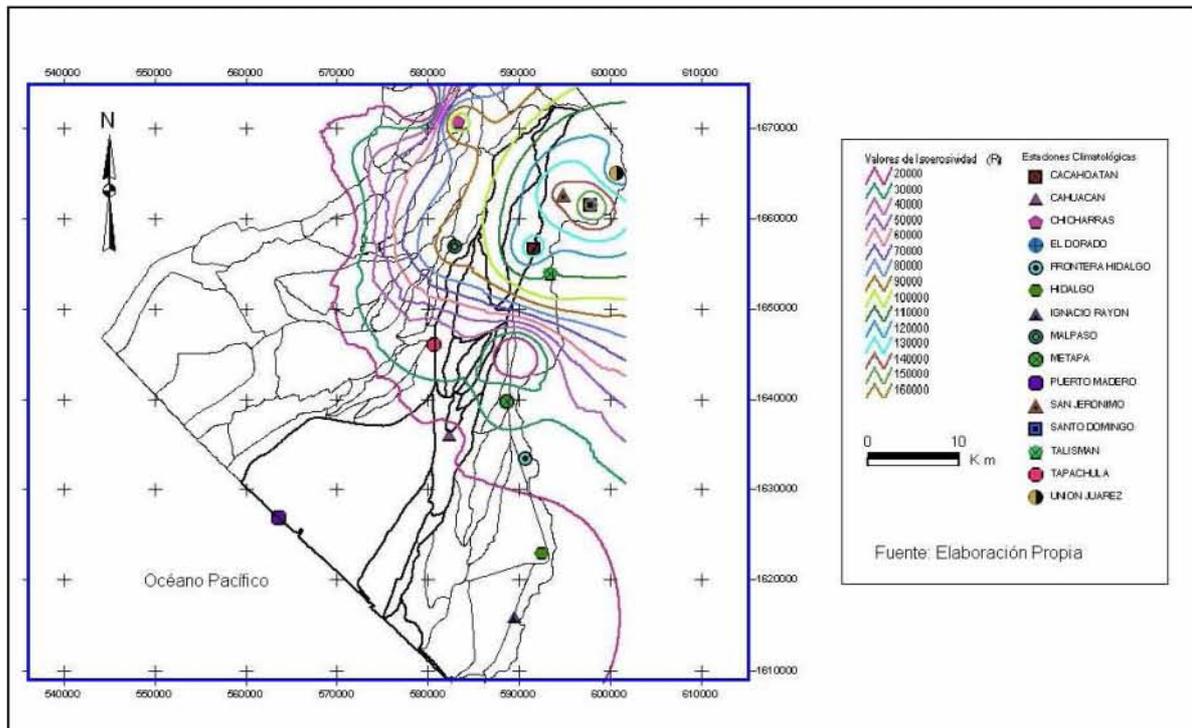


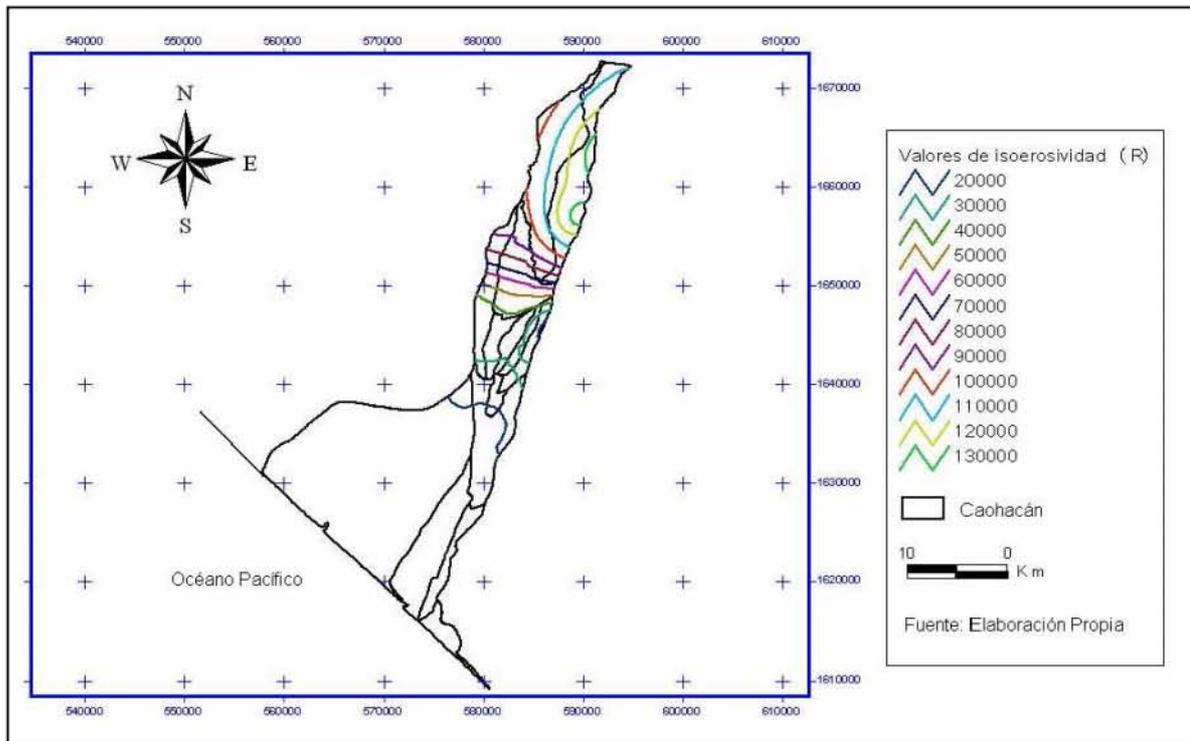
Figura 6.2. Estaciones climatológicas, cuencas y valores de isoerosividad (R).



En la figura 6.2, se muestran las líneas de igual erosividad, determinadas con los valores de erosividad calculados para cada una de las estaciones presentes en la cuenca y en las cuencas colindantes con ésta. En la misma figura se puede apreciar que los valores de isoerosividad van desde los 160 000 MJ*mm/ha*h*año hasta valores mínimos de 20 000 MJ*mm/ha*h*año.

En la figura 6.3, se muestran las áreas de influencia de estos valores, es posible observar como en la parte de cabecera de la cuenca se presentan erosividades altas y en las partes bajas que pueden ser consideradas de acumulación de sedimentos se presenta valores bajos, menores a los 20 000 MJ*mm/ha*h*año. Estos resultados de isoerosividad son usados para determinar la erosión de suelo a través de la ecuación universal de pérdida de suelo.

Figura 6.3. Valores de isoerosividad (R) en la cuenca del río Caohacán.



Factor de erodabilidad del suelo, K.-

Para Gracia (1997), K es un factor que toma en cuenta el tipo de suelo. Lal (1977), indica que la erodabilidad es una medida de la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado por las fuerzas que provocan el desprendimiento y transporte de sus partículas. Es un número que refleja la propensión del suelo a sufrir un cierto tipo de erosión. Las unidades dependen de la cantidad de suelo perdido por unidad de erosividad R y bajo unas condiciones típicas especificadas. La resistencia del suelo depende de numerosas características de éste, como son la textura, estructura y permeabilidad.

Arellano (1994), indica que el método más comúnmente utilizado es el valor de K del modelo EUPS, éste factor de K se expresa en $\text{Ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{hr} / \text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}$, Wishmeier y Smith (1978).

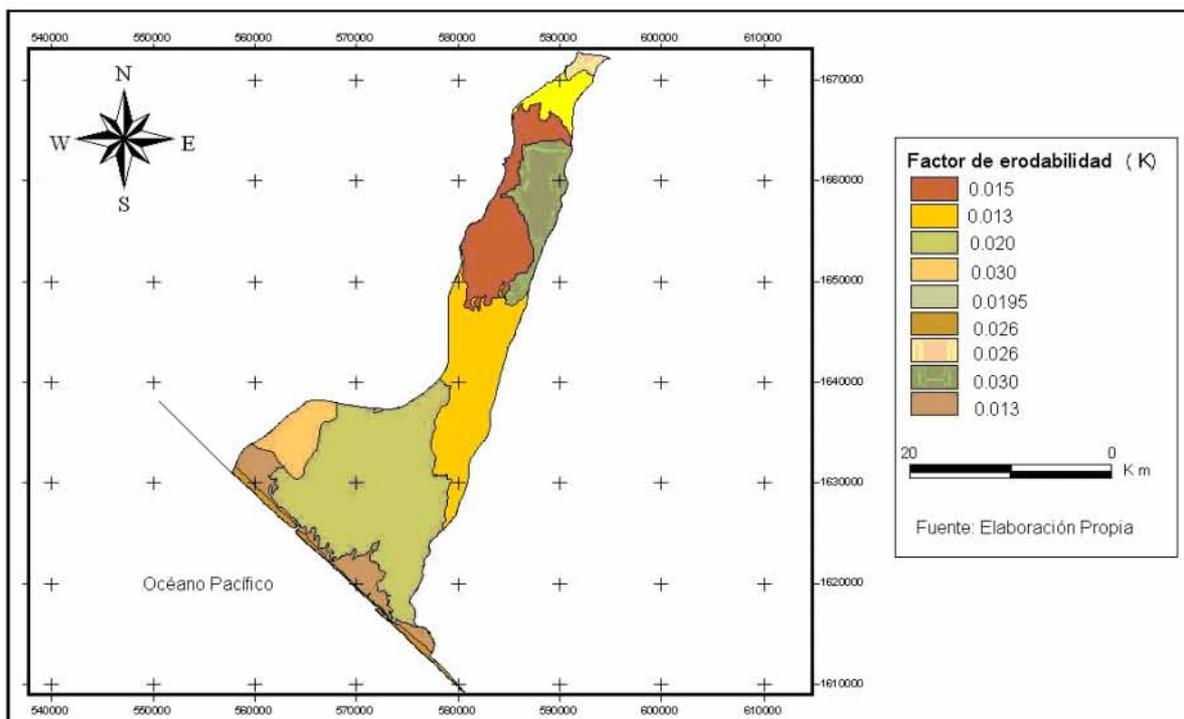
Arellano (1994), menciona que para los suelos de Chiapas, debido a que existe poca disponibilidad de información para determinar el factor K por el método de la EUPS de Wischmeier y Smith (1978), que requiere de parámetros obtenidos

en laboratorio, es más adecuado usar la metodología de la FAO (1980) para determinar éste factor y utilizó unidades de suelos de acuerdo a la clasificación propuesta por FAO/UNESCO y la textura superficial del suelo según tres grupos de textura. En base a los datos de Arellano (1994), y en función del tipo de suelo, los valores del factor de erodabilidad (K) para la cuenca del río Caohacán son los que se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Resultados del Factor de erodabilidad K asociados al tipo de suelo de la cuenca del río Caohacán.

Tipo de Suelo	Factor de erodabilidad K (Ton*ha*h / ha*MJ*mm)
Ah+Ao+Ap/3	0.015
Ao+Lo+Be/3	0.013
Hh/2	0.020
Hh+Be/2	0.030
Je+Hh/1	0.0195
Re+Zg/1	0.026
Th+To+l/2	0.026
To+Ah/2	0.030
Zg+Re/3	0.013

Figura 6.4. Factor de Erodabilidad (K) en función del tipo de suelo, en la cuenca del río Caohacán.



En la tabla anterior se puede observar que los valores del índice de erodabilidad K, varía desde 0.013 hasta 0.030, factores considerados como medios.

El SCS (Soil Conservation Service) clasifica a los suelos de la manera siguiente:

Tabla 6.3. Clasificación de los suelos en base al Factor de erodabilidad.

Suelos A	De bajo potencial de escurrimiento, buena permeabilidad, por lo que la infiltración mantendrá valores altos, aún cuando estén húmedos. Pertenecen a este grupo los suelos gravosos, gravo-arenosos y arenosos gruesos.
Suelos B	Mantienen moderadas velocidades de infiltración y mayores valores de escurrimiento. En este grupo se consideran a suelos arenosos, limo-arenosos con reducida presencia de materia coloidal.
Suelos C	En estos suelos la infiltración es lenta, es frecuente la presencia de material muy fino, mezclados con partículas gruesas. A este grupo pertenecerán los suelos franco-arcillosos y franco-arcillo-arenosos.
Suelos D	Estos suelos son los que presentan mayor potencial de escurrimiento. Se considerarán como suelos de este grupo a los de grano fino, que forman capas prácticamente impermeables por lo que la infiltración será muy lenta. En este caso se considerarán a los suelos arcillosos.

Fuente: <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/obrashidraul/indice.html>

Los valores que adquiere K serán los siguientes:

Tabla 6.4. Rango de variación de K

TIPO DE SUELO	RANGO DE VARIACION DE K
A	0.16 - 0.23
B	0.13 - 0.38
C	0.13 - 0.18
D	0.07 - 0.12

Factor de cobertura del suelo, C.-

Baumann (1999), indica que la vegetación, entendida ésta como la cobertura del suelo, influye en el ciclo hidrológico de diversas formas, por ejemplo el fenómeno de la intercepción que se entiende como la cantidad de agua que es directamente retenida y evaporada por la cubierta vegetal y que no puede ser parte del proceso de erosión.

Ahora bien el factor de cobertura del suelo C, contempla las diferencias de comportamiento del suelo frente al proceso de erosión en función de la cobertura vegetal; el factor C aminora el resultado que se obtiene como producto de multiplicar los factores $R * K * LS$ de la FUPS, esto como resultado de las características de la especie o especies vegetales, el estado del ecosistema en relación con los períodos de lluvia, las características de la materia orgánica acumulada sobre la superficie del suelo. (Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, 2002).

La tabla 6.5, muestra los valores que se obtienen para la cuenca del río Caohacán en función de la presencia de la vegetación existente.

La figura 6.3 muestra el tipo de vegetación que existe al interior de la cuenca del río Caohacán, en ella se presentan desde zonas urbanas hasta zonas de bosque mesofilo de montaña, en algunos casos no se puede asociar valores

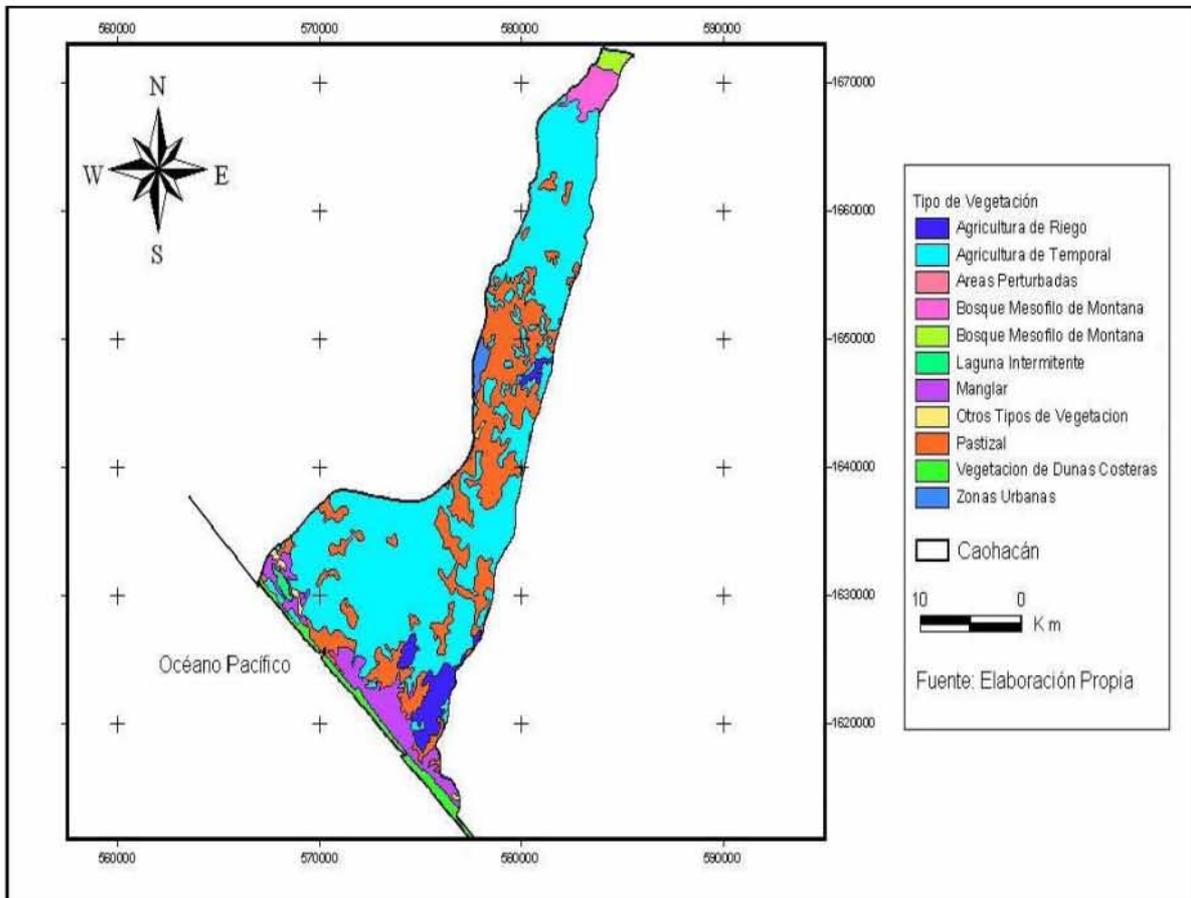
factor de cobertura (C) a algunos tipos de vegetación tal es el caso de las áreas consideradas como perturbadas y la vegetación de dunas costeras. El valor máximo de este factor corresponde a la agricultura de riego con 0.56 y el mínimo al área de laguna intermitente con un valor de 0.003.

Tabla 6.5. Resultados del Factor de cobertura del suelo C asociados al tipo de vegetación de la cuenca del río Caohacán.

Tipo de Vegetación	Factor de cobertura del suelo C
Agricultura de riego	0.40
Agricultura de temporal	0.56
Áreas perturbadas	0.9*
Bosque Mesofilo de Montaña	0.06
Bosque Mesofilo de Montaña Cerrado	0.06
Laguna Intermitente	0.003
Manglar	0.01
Otros tipos de vegetación hidrófila	0.001*
Pastizal	0.07
Vegetación de dunas costeras	?
Zonas Urbanas	1.0

**Valores estimados*

Figura 6.5. Tipo de vegetación para definir el factor C, en la cuenca del río Caohacán.



Factor de prácticas de conservación del suelo, P.-

Este factor, es considerado como una variable independiente en la FUPS, contempla prácticas de conservación del suelo tales como: cultivos en curvas de nivel, cultivos en terrazas. En el caso de la cuenca en estudio se considera que no se realiza alguna de éstas prácticas y por lo tanto éste factor toma el valor de $P = 1$. Esto es se asumió un valor del factor P igual a 1 al considerar que en las zonas agrícolas del área en estudio no se practican formas de conservación evaluadas por el mismo, este considerando lo asumen Barrios y Quiñónez (2000), para la cuenca que ellos estudiaron. Por ejemplo, Montes et al.(1999), asumen que los factores C y P de la FUPS pueden considerarse con valores unitarios y usar únicamente los factores $R * K * LS$.

Factor de longitud y grado de la pendiente, LS.-

El efecto de la topografía sobre la erosión está representado por los factores longitud (L) y grado de pendiente (S). La longitud L se define como la distancia desde el origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente al grado que ocurre el depósito, o bien hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un canal de salida bien definido. El grado de la erosión depende además de la pendiente, por lo que en relación a una parcela de 22.3 m de longitud, ambos factores se pueden unificar en uno solo a través de una ecuación adimensional. (Barrios et al. 1999; Montes et. al. 1999; Gracia, 1997).

Arellano (1994), indica que la topografía del área en estudio define las diferentes facetas de pendientes de la misma; es importante considerar éste factor ya que representa el gradiente hidráulico del escurrimiento superficial, lo que proporciona energía adicional a la gota de agua y su capacidad para desprender, en principio, y posteriormente acarrear las partículas del suelo.

Wishmeier y Smith (1978), mencionan que tanto la pendiente como la longitud de la misma, afectan o inciden en la tasa de erosión hídrica. Williams y Berdt (1977) indican que el factor LS de la FUPS es al que mayor importancia debe darse al calcularlo debido a que representa mejor la variación espacial de la erosión hídrica, esto quizás por debajo de los factores de manejo y cultivo existente en el área de estudio.

Las cuencas medias y altas de la Costa de Chiapas están caracterizadas por una topografía de laderas con pendientes fuertes y pronunciadas, lo que aumenta considerablemente el escurrimiento y el riesgo a la erosión. En las subcuencas medias y altas gran parte del terreno presenta pendientes entre 15°- 25° (27 – 47 %). Baumann (1999).

El mismo Baumann (1999), indica que la conjunción de factores como lluvias de alta intensidad, pendientes fuertes y una base granítica, aumentan también el riesgo de derrumbes y deslizamientos, ocurridos en la Costa de Chiapas en

septiembre de 1988, lo que ocasionó la enorme cantidad de sedimentos que llegaron a la planicie.

La ecuación que permite determinar éste factor (Gracia, 1997; Montes et al., 1999; McCool et al., 1987; Foster et al., 1977 y Barrios et al. 1999), es:

$$LS = (x / 22.13)^m (0.065 + 0.045 S + 0.0065 S^2)$$

Donde:

x = Longitud del tramo de pendiente S, en metros.

S = Pendiente en porcentaje (5, 10, 20 %)

m = exponente que depende del grado de pendiente del terreno.

El exponente m, en función de la pendiente del terreno asume los valores siguientes:

m = 0.5 si $S \geq 5 \%$

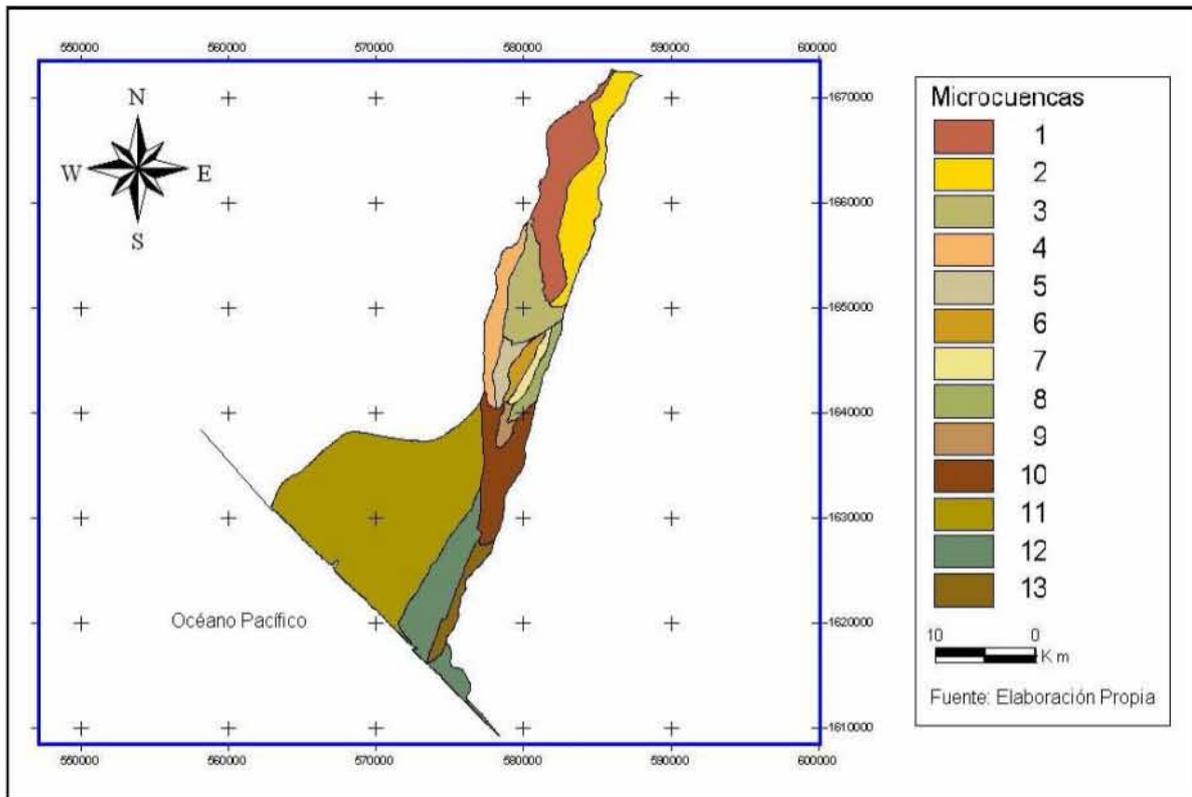
m = 0.4 si $5 > S > 3 \%$

m = 0.3 si $3 \geq S \geq 1 \%$

m = 0.2 si $S < 1 \%$

La cuenca se dividió en 13 microcuencas, definidas éstas por los tributarios del río Caohacán y en algunos casos definidos por él mismo. En la figura 6.3, se puede ver ésta división.

Figura 6.6. División en microcuencas de la cuenca del río Caohacán.



Esta clasificación se hizo con la finalidad de definir áreas homogéneas en lo que se refiere a los índices de erosividad, uso de suelo, vegetación y tipos de suelo. En la tabla 6.6, se integran todos los valores necesarios para el cálculo de la cantidad de material erosionado en toneladas por hectárea por año, es importante indicar que únicamente se consideraron nueve microcuencas las cuales se ubican por arriba de los 60 metros sobre el nivel del mar, considerando que las restantes son microcuencas donde buena parte de este material se deposita.

Tabla 6.6. Pérdida de suelo en ton/ha*año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Condiciones actuales.

R	LS	K	C	P	A (ton/ha/año)
Microcuenca 1					
120000	96.72787	0.026	0.06	1	18107.4579
130000	39.04116	0.015	0.56	1	42632.9515
100000	3.707785	0.03	0.56	1	6229.07895
Microcuenca 2					
120000	127.2037	0.026	0.06	1	23812.5364
120000	38.40838	0.02	0.56	1	51620.8632
100000	1.277199	0.015	0.56	1	1072.84709
Microcuenca 3					
70000	1.4913	0.0138	0.3925	1	565.43533
Microcuenca 4					
80000	1.499842427	0.0165	0.249	1	492.968209
Microcuenca 5					
40000	0.9096	0.013	0.215	1	101.696974
Microcuenca 6					
50000	0.713115336	0.013	0.276	1	127.932891
Microcuenca 7					
50000	0.324894368	0.013	0.3692	1	77.9681505
Microcuenca 8					
50000	0.904828591	0.013	0.369	1	217.023138
Microcuenca 9					
30000	0.25200854	0.013	0.1355	1	13.3173913

La tabla anterior permite ver que en las partes de cabecera (altas) de la cuenca (microcuenca 1 y 2) es en donde se presenta la mayor cantidad de pérdida de suelo, con valores que van de los 42,632.95 toneladas por hectárea por año en una sección de la microcuenca 1 y hasta valores de 51,620.86 en la microcuenca 2; presentándose valores mínimos de 13.317 ton/ha/año en la microcuenca 9. Es importante mencionar que en éstas todavía existen áreas de bosque mesófilo de montaña, pero se presentan las mayores pendientes del terreno además de presentar superficies considerables de agricultura de temporal, ocasionando los valores anteriores. Los valores encontrados son altamente superiores a los reportados en la bibliografía consultada, en otras regiones y en estimaciones realizadas para el estado de Chiapas. Por ejemplo, Arellano (1994) reporta para Chiapas en general una pérdida de suelo de 500 ton/ha/año, sin embargo las condiciones de la cuenca analizada (topografía accidentada, prácticas agrícolas inadecuadas y precipitación pluvial) propician que se pierda grandes cantidades de suelo.

Reynoso et al. (1998), encontró que en las cuencas del río Bado, Ancho y Novillero de la región del Soconusco, existe un 9.5 % de la superficie tiene valores de erosión moderados (20 – 80 ton/ha) y solo un 1.0 % mayores a 80 ton/ha; sin embargo es necesario indicar que el factor R se obtuvo según la propuesta de Figueroa, et al. (1991) para 56 estaciones meteorológicas que se ubican dentro y en la periferia del área de estudio. Por otro lado, Retureta et al. (1998), encontraron, en la subcuenca del río Atopa en el estado de Veracruz, pérdidas de suelo en áreas agrícolas de 16,925.50 ton/ha/año, en ganadería de 7,245.50 ton/ha/año y en la parte forestal con 123.72 ton/ha/año; esta zona presenta precipitaciones de 1676 mm hasta 2 000 mm, muy similares a las presentes en el área que aquí se estudia.

Montes, et al. (2001), reportan para una cuenca en el estado de Querétaro valores que van de 20 a 80 ton/ha/año; si bien las condiciones físicas y climáticas no son similares a la cuenca acá estudiada, esto permite ver que cada uno de los factores considerados en la ecuación son determinantes en mayor o menor grado del valor obtenido; sin embargo para este caso los que mayor influencia presentan son el índice de erosividad (R), el factor que integra la pendiente y la longitud del cauce considerada (LS), así como el factor de cobertura de suelo. La gran influencia de este último factor puede verse claramente en el escenario número dos en el que se suponen modificaciones en la cubierta vegetal del suelo.

6.2. Segundo escenario – Modificaciones vegetales en la cabecera de la cuenca.-

En este segundo escenario se proponen condiciones severas a las que en realidad está sometida la cuenca, es decir, que el área boscosa (valores de C igual a 0.06) se convierta en zona de agricultura de temporal (con valores de C igual a 0.56), sin prácticas de conservación de suelo, esto es valores de P iguales a 1. Además se considera que las zonas de pastizal (valores de C igual a 0.07) continúan bajo el mismo régimen sin alteraciones. Los resultados obtenidos bajo estas suposiciones se muestran en la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Pérdida de suelo en ton/ha/año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Modificaciones antropogénicas.

R	LS	K	C	P	A (ton/ha/año)
Microcuenca 1					
120000	96.72787	0.026	0.56	1	169002.9401
130000	39.04116	0.015	0.56	1	42632.9515
100000	3.707785	0.03	0.56	1	6229.07895
Microcuenca 2					
120000	127.2037	0.026	0.56	1	222250.34
120000	38.40838	0.02	0.56	1	51620.8632
100000	1.277199	0.015	0.56	1	1072.84709
Microcuenca 3					
70000	1.4913	0.0138	0.3925	1	565.43533
Microcuenca 4					
80000	1.499842427	0.0165	0.249	1	492.968209
Microcuenca 5					
40000	0.9096	0.013	0.215	1	101.696974
Microcuenca 6					
50000	0.713115336	0.013	0.276	1	127.932891
Microcuenca 7					
50000	0.324894368	0.013	0.3692	1	77.9681505
Microcuenca 8					
50000	0.904828591	0.013	0.369	1	217.023138
Microcuenca 9					
30000	0.25200854	0.013	0.1355	1	13.3173913

La tabla anterior permite ver lo dramático que resulta el escenario si se continúan las modificaciones en la cubierta vegetal de la parte alta de la cuenca, esto es, de continuar con las alteraciones de los bosques los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 240 %, lo cual es muy grave, considerando todos los problemas que conlleva la deforestación y la pérdida de suelo ocasionada por ésta. Puede observarse en la tabla 6.7, que modificando una sección de la microcuenca 1 y una sección de la microcuenca 2, es decir variando la cobertura vegetal de bosque mesófilo a agricultura de temporal, la pérdida de suelo en estas secciones pasa de 18 107 ton/ha/año para la microcuenca 1 y para la microcuenca 2 se incrementa de 23 812.53 ton/ha/año a 222 250.34 ton/ha/año; esto permite ver la importancia que representa la cobertura vegetal (que se puede decir que depende de las acciones antropogénicas) en la pérdida total del suelo en la cuenca.

Sin embargo, con acciones antropogénicas esta tendencia puede ser revertida e ir modificando (disminuyendo) los valores de pérdida de suelo, para lo cual se propone el tercer escenario.

6.3. Tercer escenario – Sin modificaciones vegetales en la cabecera de la cuenca y con prácticas de conservación de suelo.

En este escenario se plantea, que se detengan las acciones de deforestación y que en las partes altas de la cuenca en donde actualmente se realiza agricultura de temporal sin prácticas de conservación de suelo, se realicen éstas; además que las áreas de pastizal se mantengan y que en la parte media de la cuenca (zona de captación) en donde se realicen actividades agrícolas de temporal o de riego se realicen las citadas prácticas de conservación. Los resultados se observan en la tabla siguiente.

Tabla 6.8. Pérdida de suelo en ton/ha/año, en las microcuencas en las que se divide la cuenca del Río Caohacán. Con prácticas de conservación de suelo.

R	LS	K	C	P	A (ton/ha/año)
Microcuenca 1					
120000	96.72787	0.026	0.06	1	18107.4579
130000	39.04116	0.015	0.56	0.4	17053.1806
100000	3.707785	0.03	0.56	0.3	1868.72369
Microcuenca 2					
120000	127.2037	0.026	0.06	1	23812.5364
120000	38.40838	0.02	0.56	0.4	20648.3453
100000	1.277199	0.015	0.56	0.3	321.854127
Microcuenca 3					
70000	1.4913	0.0138	0.3925	0.3	169.630599
Microcuenca 4					
80000	1.499842427	0.0165	0.249	0.3	147.8904626
Microcuenca 5					
40000	0.9096	0.013	0.215	0.3	30.5090921
Microcuenca 6					
50000	0.713115336	0.013	0.276	0.3	38.3798674
Microcuenca 7					
50000	0.324894368	0.013	0.3692	0.3	23.3904452
Microcuenca 8					
50000	0.904828591	0.013	0.369	0.3	65.1069413
Microcuenca 9					
30000	0.25200854	0.013	0.1355	0.3	3.99521739

En la tabla anterior puede observarse como de modificarse la tendencia actual de deforestación y con prácticas agrícolas (cultivos en fajas, con valores de P igual a 0.4 o 0.3) en las zonas donde se realizan actividades agrícolas de temporal y de riego, la pérdida de suelo se ve ampliamente disminuida hasta valores del orden de las 82,291.0 toneladas de suelo por hectárea por año, con valores menores en un 43.3 % a los actuales; presentándose valores máximos de 23,812 .53 ton/ha/año hasta valores mínimos de 3.99 ton/ha/año. Esto da una idea precisa hacia donde deben orientarse los esfuerzos y las inversiones económicas de los órganos de gobierno; es importante indicar aquí que las soluciones de tipo técnico siempre deben ir acompañadas con soluciones de carácter social para que tengan impactos positivos. Es importante no ver los números en forma “fría” y considerar que la técnica por si sola solucionará estos graves problemas de pérdida de suelo. Sin duda que éste trabajo tiene como finalidad mostrar como con modificaciones técnicas en las prácticas agrícolas el impacto ocasionado por éstas puede ser disminuido, sin embargo aquí se considera necesario considerar variables que incluyan los aspectos sociales.

Erosión y aporte de sedimentos

Kiersch (2002), indica que los bosques son testigos de la erosión del suelo. Su protección se debe fundamentalmente a la vegetación presente en ellos, a los restos vegetales y al efecto estabilizador de la red de raíces. En fuertes pendientes, el efecto estabilizador neto de los árboles es generalmente positivo. La cubierta vegetal puede prevenir la aparición de deslizamientos de tierras (Bruijnzeel, 1990). Sin embargo, los grandes deslizamientos de tierras en zonas con pendientes elevadas no están influenciados de una manera apreciable por la cubierta vegetal. Estos grandes deslizamientos podrían constituir el mayor aporte de sedimentos, como en las montañas medias del Himalaya (Bruijnzeel y Bremmer, 1989).

La erosión por el impacto de la gota de lluvia se podría incrementar notablemente cuando se realiza la limpieza de los restos vegetales de la superficie del terreno (Bruijnzeel, 1990). El tamaño de las gotas que se forman

por la presencia de la cubierta vegetal varía enormemente entre las diferentes especies, resultando grandes diferencias en la erosión potencial por el impacto (Calder, 1998).

La deforestación podría incrementar la erosión. Por ejemplo, en Malasia, las corrientes procedentes de zonas forestales ya explotadas llevan de ocho a 17 veces más carga de sedimentos que antes de explotarlas (Falkenmark y Chapman, 1989). La pérdida real de suelo, sin embargo, depende en buena medida del uso que se le da a la tierra después de que los árboles han sido ya talados. La erosión superficial de praderas bien conservadas, en bosques sin una carga ganadera excesiva y en zonas con agricultura de conservación es de baja a moderada (Bruijnzeel, 1990).

La construcción de carreteras podría constituir una causa relevante de erosión durante las operaciones de explotación maderera. En los EE.UU. se estima que las carreteras forestales suponen el 90 por ciento de la erosión causada por las actividades de explotación maderera (Brooks et al., 1991; Bruijnzeel, 1990).

Los efectos de las medidas de control de la erosión sobre la carga de sedimentos serán percibidas más fácilmente allí donde se han aplicado. Existe una relación inversa entre el tamaño de la cuenca y la tasa de sedimentación. En cuencas de varios cientos de kilómetros cuadrados, las mejoras sólo se podrían apreciar después de un periodo considerable (décadas), debido a los efectos de almacenaje (Bruijnzeel, 1990).

El aporte de sedimentos a la cuenca baja no puede adscribirse de una forma sistemática a los cambios en las prácticas de uso de la tierra en la cuenca alta. Los impactos humanos sobre el aporte de sedimentos podrían ser substanciales en regiones con unas condiciones geológicas estables y tasas de erosión natural bajas. En regiones con tasas de precipitación altas, terrenos con fuertes pendientes y altas tasas de erosión natural, sin embargo, el impacto del uso de la tierra podría ser despreciable, como en la parte de cabecera de la cuenca del Caohacán. En la cuenca del Phewa Tal en Nepal, por ejemplo, se

ha calculado que sólo el seis por ciento de la cantidad total de sedimentos procede de la erosión superficial (Bruijnzeel, 1990).

Es necesario entonces considerar, como menciona Massobrio et al. (1998), que existen diferentes métodos de estimación de producción de sedimentos; uno de los más comunes se basa en multiplicar la estimación de erosión, obtenida mediante la FUPS (Wischmeier y Smith, 1978), por el SDR (sediment delivery ratio). Según Novotny (1980), uno de los inconvenientes en la aplicación de la FUPS como herramienta para la predicción de sedimentos producidos, se debe a que dicho modelo fue elaborado sobre la base de experiencias conducidas en pequeñas parcelas, resultando el cálculo de erosión proporcional a la energía de la lluvia, siendo mínimo el grado de atenuación ya que no son considerados aspectos relacionados con la reducción en la capacidad de transporte de la lámina de agua superficial, los cuales cobran importancia al trabajar en superficies mayores.

EL coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) es una estimación de la cantidad de suelo erosionado que alcanza los cuerpos de agua. El mismo puede ser estimado experimentalmente en el campo, asociado con el monitoreo de sedimentos. Si bien el SDR es una técnica fácil de aplicar (Sanders, et al., 1995), puede acarrear substanciales errores.

Las estimaciones globales sobre la erosión y el transporte de sedimentos en los grandes ríos del mundo presentan enormes discrepancias, debido a la dificultad de obtener valores fiables de concentración y descarga de sedimentos en muchos países, a la adopción de supuestos diferentes por los distintos investigadores y a los diferentes efectos de una erosión acelerada debida a actividades humanas (deforestación, malas prácticas agrícolas, construcción de carreteras, etc.). Milliman y Syvitski (1992) estiman que la carga mundial de sedimentos en los océanos en los años cincuentas del siglo XX fue de 20.000 millones de ton/año, de las que aproximadamente el 30 por ciento procede de ríos de Asia meridional (en particular los ríos Yangtze y Amarillo, de China). Es significativo que, en su opinión, casi el 50 por ciento del total mundial procede de la erosión asociada a los altos relieves en las islas de

Oceanía - fenómeno que no se ha valorado suficientemente en anteriores estimaciones de la producción mundial de sedimentos. Si bien la erosión en las islas montañosas y en las zonas altas de los ríos continentales es resultado de las influencias topográficas naturales, Milliman y Syvitski consideran que las influencias humanas en Oceanía y Asia meridional producen cargas de sedimentos desproporcionadamente elevadas en esas regiones.

El SDR se utiliza normalmente en los estudios sobre erosión y transporte para indicar hasta qué punto el suelo erosionado (sedimento) se almacena dentro de la cuenca. El SDR o CES, según Gracia (1997), se define así:

$$SDR = \frac{\textit{Producción de sedimentos cuantificada}}{\textit{Erosión bruta de la cuenca}}$$

donde la *producción* se determina a partir de la sedimentación de los embalses o de un centro de supervisión de los sedimentos, y la *erosión bruta* se determina utilizando técnicas de estimación como la ecuación universal de pérdida de suelo.

El SDR es siempre inferior a 1.0, lo que indica que el suelo que se erosiona no suele hacer grandes desplazamientos antes de quedar depositado. De hecho, es muy importante el almacenamiento de sedimentos en los surcos del suelo, en los márgenes de las fincas y al pie de las laderas. También se produce almacenamiento en los cauces de los ríos (deposición en el lecho del río o fuera de él, cuando se desborda), en las tierras húmedas y en los embalses y lagos. El SDR es muy variable, pero se trata de un concepto fundamental para comprender los procesos de erosión y sedimentación y la manera que en se producen en el tiempo y el espacio (Walling, 1983).

Entonces, el aporte de sedimentos, expresado normalmente en toneladas por unidad de superficie de la cuenca por año, es el volumen de sedimentos cuantificados en un determinado punto de la cuenca dividido por la superficie de ésta. Es siempre inferior a la erosión total debido a la acumulación de sedimentos durante el transporte, y es muy variable como consecuencia de las

dificultades de cuantificación, la variabilidad temporal de los procesos hidrológicos y los cambios en las prácticas de ordenación de las tierras de la cuenca de un año a otro.

En ese mismo sentido, Gracia (1997), resalta que existe una diferencia entre el cálculo de la erosión de suelos y el aporte de sedimentos. El primero corresponde a la cuantificación del material sólido que se pone en movimiento en un cierto período (tormenta, mes, año, etc.) como producto de la erosión hídrica. El segundo corresponde al material sólido real que aporta una cuenca en su salida (en un cierto período).

Los criterios empíricos para calcular el aporte de sedimentos (AS) más empleados, son citados por Kirkby (1984) y Gracia (1997), estos son:

- 1) Valores promedios del aporte de sedimentos para cuencas de diferentes tamaños, Gottschalk (1964). Estos se anotan en la tabla 6.9.

Tabla 6.9. Aporte de sedimentos según el área de la cuenca.

Tamaño de la Cuenca (km ²)	Aporte medio de sedimentos (AS) (m ³ /km ² /año)
< 25.9	1810
25.9 a 259.0	762
259.0 a 2 590.0	481
> 2 590.0	238

- 2) Criterio del USBR para valuar el aporte de sedimentos (AS). La ecuación propuesta es la siguiente:

$$AS = 1421.8 (Ac)^{-0.229}$$

En esta ecuación, AS es el aporte de sedimento, en m³/km²/año y Ac es el área de la cuenca en km².

Gracia (1997), indica otros criterios para evaluar el aporte de sedimentos de una cuenca, pero para este estudio únicamente se consideran los anotados anteriormente.

A continuación se aplican los criterios para determinar los valores de aporte de sedimentos en la cuenca del río Caohacán.

Tabla 6.10. Aporte de sedimentos (AS) según el área de las microcuencas en que se divide la cuenca del río Caohacán.

Número y tamaño de la microcuenca (km ²)		Aporte de sedimentos (AS) por microcuenca (m ³ /km ² /año)	
		Gottschalk (1964)	USBR
1	50.4	762	579.40
2	58.235	762	560.54
3	23.681	1810	688.81
4	35.14	762	629.28
5	10.11	1810	837.04
6	8.08	1810	881.13
7	6.53	1810	925.17
8	10.305	1810	833.39
9	4.76	1810	994.64

Tabla 6.11. Aporte de sedimentos (AS) según el área de las microcuencas en que se divide la cuenca del río Caohacán. En m³/año.

Número y tamaño de la microcuenca (km ²)		Aporte de Sedimentos por microcuenca (m ³ /año)	
Número	Tamaño	Gottschalk (1964)	USBR
1	50.4	38 404.80	29 201.76
2	58.235	44 375.07	32 643.04
3	23.681	42 862.61	16 311.70
4	35.14	26 776.68	22 112.89
5	10.11	18 299.10	8 462.47
6	8.08	14 624.80	7 119.53
7	6.53	11 819.30	6 041.36
8	10.305	18 652.05	8 588.08
9	4.76	8 615.60	4 734.48

El Coeficiente de Aporte de Sedimentos (SDR), es otra manera de determinar el aporte de sedimentos (AS); Maner (1962), citado por Ouyang D. et al. proponen la siguiente ecuación en función del área de la cuenca, subcuenca o microcuenca.

$$\log (\text{SDR}) = 1.7935 - 0.14191 \log (\text{A})$$

En esta ecuación A representa el área considerada en km² y SDR resulta en porcentaje anual.

En la tabla siguiente se presentan los valores de SDR, determinados por el modelo y el aporte de sedimentos (AS) a partir de la EUPS. Considerando una densidad aparente del material fino de 1.6 ton_m/m³, se determinó el aporte de sedimentos AS, a partir de los valores de erosión encontrados con la EUPS, en las condiciones actuales de la cuenca.

Tabla 6.12. Coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) y aporte de sedimentos (AS) según el área de las microcuencas en que se divide la cuenca del río Caohacán.

Número y tamaño de la microcuenca (km ²)		SDR (%) y AS (ton/ha/año) y AS (m ³ /año)		
Número	Tamaño	SDR (%)	AS (ton/ha/año)	AS (m ³ /año)
1	50.40	49.41	33 090.29	104 234 425.70
2	58.23	48.40	37 035.14	134 796 350.40
3	23.68	55.00	310.98	460 283.79
4	35.14	52.00	256.34	562 994.34
5	10.11	62.06	63.113	39 879.61
6	8.08	64.06	81.95	41 386.67
7	6.53	66.03	51.48	21 012.19
8	10.30	61.89	134.31	86 507.65
9	4.76	69.06	9.19	2736.10

En la tabla anterior se observa que los valores, en porcentaje, del coeficiente de aporte de sedimentos van desde 48.40 % para la microcuenca 2 hasta

valores de 69.06 % en la microcuenca 9. El aporte de sedimentos va desde 37 035.14 ton/ha/año en la microcuenca 2 hasta valores de 9.19 ton/ha/año en la microcuenca 9. Los valores de aporte de sedimentos, determinados mediante esta metodología, en m³/año son muy superiores a los estimados por los métodos de Gottschalk (1964) y el método propuesto por el USBR. Es importante tener presente que lo que aquí realmente interesa es el valor de erosión hídrica, el aporte de sedimentos finos es un valor que se requiere en caso de que se desee construir alguna obra de almacenamiento (presa) en el área de estudio, sin embargo es necesario indicar que la cuenca del río Caohacán no presenta las características físicas necesarias para la construcción de tal obra hidráulica.

Estos valores de sedimentos finos hay que tenerlos presentes, al igual que el arrastre de materiales gruesos que se determinan mediante modelos establecidos por la hidráulica fluvial, y que son los que finalmente causan la destrucción de las vías de comunicación (carreteras) y del daño a la población asentada en zonas de alto riesgo, para determinar los lineamientos y acciones que permitan disminuir los efectos y desastres asociados con el fenómeno de erosión.

VII.- LINEAMIENTOS PARA DISMINUIR LOS PROCESOS DE EROSIÓN EN LA CUENCA.

Antes de proporcionar los lineamientos que permitan una disminución de la erosión de suelo en la cuenca, es necesario considerar que los factores que inciden en ese proceso, se pueden agrupar de acuerdo a su origen en naturales y socioculturales.

a) Naturales

1) Topografía y tipo de suelo.

La zona en estudio presenta zonas con pendientes fuertes y pronunciadas, lo que aumenta el escurrimiento y la erosión hídrica. Por ejemplo en Japón se encontró que pendientes arriba de 20° (36 %) y debajo de 50° (120 %) son las amenazadas por deslizamientos y derrumbes; Baumann (1999). Lo anterior sumado a una fuerte meteorización de la roca madre forma una capa fácilmente desmoronable y susceptible a la erosión hídrica.

Es importante, además, tener presente que los suelos bajo bosques presentan un mayor contenido de materia orgánica, lo cual aumenta la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo; por ejemplo, Sombroek et al. (1993), indica que sustituyendo una selva tropical por cultivos anuales la cantidad de materia orgánica en el suelo disminuye de 20 a 50 % con las consecuencias que esto tiene en la fertilidad y retención de agua en el suelo y por lo tanto los efectos que se pueden presentar como la pérdida de suelo.

b) Socioculturales

Posiblemente es el factor condicionante, aunque en las fórmulas se toma en cuenta en forma periférica, que mayor peso tiene en el proceso de degradación del suelo. El crecimiento poblacional y la pobreza extrema (al interior o exterior de la cuenca) han incrementado la presión sobre los recursos naturales, provocando la pérdida de vegetación natural por el incremento de la frontera agrícola. Las actividades agrícolas son intensivas con un alto uso de

agroquímicos y como consecuencia de esto graves problemas de contaminación del agua y degradación del suelo, como corolario de esto la búsqueda de nuevas y mejores tierras para la producción intensiva y por lo tanto un impacto negativo en bosques y montañas. Tolba (1990) y Funes (1991), mencionan que es necesario tener una adecuada administración de los recursos hídricos para tener un desarrollo sostenido.

Es necesario tener presente que las variaciones, que se han dado en los últimos años, en la cubierta vegetal de la cuenca del Caohacán y en general de la región del Soconusco. Por ejemplo, la erosión en la zona de cafetales que está relacionada con la extensión de éstos y que se manejan sin árboles de sombra, o como menciona Richter (1986) estas áreas de cafetales están siendo afectadas por los procesos de erosión laminar, que no es claramente visible, pero que está afectando la fertilidad del suelo y todo lo que esto conlleva. Aquí es importante destacar la pérdida de fertilidad asociada a la pérdida de suelo y como menciona Tenberg (1998), esto es uno de los principales obstáculos para una agricultura sostenible. Baumann (1999), destaca que cualquier cambio de uso de suelo causa efectos cualitativos y cuantitativos en el régimen hídrico; Hagedorn (1996) presenta valores de intercepción en diferentes cultivos de café en comparación con el de la selva natural, la intercepción debe entenderse como la cantidad de agua que es directamente retenida y evaporada por la superficie de la vegetación y que no puede ser activa del proceso de erosión. Los valores presentados por éste autor indican que la selva presenta un 26.3 %, el café con sombra densa un 21.2 %, el café con sombra escasa un 13.9 % y el café sin sombra, que es como actualmente se está manejando la mayoría de los cafetales al interior de la cuenca, presenta un 11.7 % de intercepción.

Arellano (1994), citando a Anaya (1985, 1991) y Oldeman et al. (1990a), considera que las causales que acentúan la erosión hídrica en Chiapas son:

- a) La deforestación y remoción de la vegetación natural.
- b) El sobrepastoreo.
- c) Las actividades agrícolas.

El Gobierno del Estado de Chiapas (1990), considera que los causales de este fenómeno son:

- a) Tala irracional e incendios en bosques y selvas.
- b) Migración, inducida o espontánea, sobre selvas y bosques.
- c) Falta de planeación en los asentamientos humanos.
- d) El sistema de roza-tumba y quema.
- e) Ganadería extensiva.

Es necesario tener presente lo anterior, lo que permite establecer los posibles lineamientos para controlar dentro de los márgenes permisibles el fenómeno de la erosión. Básicamente estos son:

- 1) Reforestación en zonas dañadas y medidas contra incendios forestales. Esto permitirá tener un aumento de las áreas forestales y por lo tanto se logra la conservación de la diversidad biológica asociada a éstas. Se incrementa la fertilidad de los suelos. Los proyectos que se implementen deben ser amigables al ambiente y proporcionar recursos económicos a los agricultores, a través de la explotación sustentable de los bosques. Es importante realizar esta actividad en las zonas con pendientes pronunciadas, ya que en asociación con las lluvias abundantes ocasionan erosión hídrica, por lo que deberán realizarse labores de reforestación en áreas con alto potencial de producción, en áreas que requieran medidas de conservación de suelo y en áreas con cafetales en las que actualmente carecen de árboles de sombra.
- 2) Agricultura sostenible. Implantación de ésta en terrenos con buenas condiciones agrícolas, en conjunto con obras y prácticas agrícolas que permitan reducir la erosión. Quizás se puede comenzar con parcelas demostrativas, que en efecto muestren los beneficios que se obtienen al implantar este tipo de agricultura.

- a) Las obras contra la erosión pueden ir desde terrazas, canales de ladera, canales empastados. Bordos de retención de sedimentos finos y materiales gruesos (gaviones) o presas de azolves para el control y producción y movimiento de piedras grandes y materiales flotantes. Obras de laderas, en zonas con pendientes fuertes, lo que evitará deslizamientos de tierras y que terminan provocando daños a las viviendas y caminos.
- b) Las prácticas agrícolas pueden ir desde la implementación de cultivos en curvas de nivel, introducción de los llamados árboles de sombra, cercos vivos, rotación de cultivos, uso de residuos orgánicos.
- 3) Introducción de cultivos que permitan reducir el fenómeno de erosión. Se debe buscar la adaptabilidad climática de éstos; su posible comercialización y la generación de utilidades aún en superficies pequeñas; pocos problemas de plagas y enfermedades, en caso de que éstas se presenten deben buscarse mecanismos de control biológico, lo que permitirá reducir el impacto en el suelo y agua por el uso de agroquímicos; que no se requiera de una gran inversión en infraestructura.
- 4) Cultivo de café con prácticas agrícolas adecuadas.
- 5) Mediciones meteorológicas. En la cuenca únicamente existe una estación que mide la precipitación horaria y ésta se ubica en la parte baja (140 msnm), es entonces necesario establecer estaciones pluviográficas en la parte alta y media de la cuenca lo que permitirá conocer la intensidad de la lluvia en estas.

VIII. CONCLUSIONES

Los recursos hídricos de la cuenca del río Caohacán, están siendo impactados negativamente por las descargas de agua residual domésticas de las poblaciones que se desarrollan al interior de la misma.

La ciudad de Tapachula descarga sus residuos líquidos de origen doméstico sobre un arroyo tributario del río Caohacán, estos residuos contienen altos contenidos de contaminación biológica y bacteriológica, que afecta tanto a la vida acuática como a las poblaciones humanas que se desarrollan aguas abajo de esta ciudad, y que hacen uso del agua que circula por el citado río, para cubrir sus necesidades hídricas. Es necesario entonces implantar medidas de tratamiento del agua residual doméstica que se genera en la ciudad de Tapachula, así como en las pequeñas localidades que se desarrollan al interior de la cuenca; la suma de del agua residual generada por éstas proporciona un volumen considerable que termina contaminando las corrientes superficiales, es por lo tanto necesario impulsar sistemas de tratamiento de los residuales líquidos de estas comunidades

Todo parece indicar que la disponibilidad de agua para los habitantes de la cuenca del río Caohacán es muy alta, sin embargo, es necesario considerar que este concepto tiene que ver con la cantidad como con la calidad del recurso. En el aspecto de calidad el recurso está siendo impactado por las descargas de agua residual doméstica hacia los cuerpos de agua dulce, así como por la gran cantidad de agroquímicos que se usan en las zonas agrícolas de la cuenca y que son arrastrados con los sedimentos finos a través del proceso erosivo de la lluvia.

Se determinaron los valores del factor de erosividad del suelo en función de la precipitación media anual (calculada a partir de los datos de precipitación diaria medida en las estaciones termopluviométricas que se localizan al interior de la cuenca y en las cuencas que colindan con ésta). Se puede concluir que los valores de precipitación media anual son muy grandes en la

parte alta de la cuenca, esto influye para tener valores de erosividad muy altos en la zona de montaña del orden de los 130 000 MJ*mm/ha*h*año; la precipitación media anual disminuye en las zonas planas cercanas al área de costa, generándose valores de 20 000 MJ*mm/ha*h*año en esta zona.

Con estos valores y en las condiciones actuales de uso del suelo se tiene que los valores de erosión hídrica, determinados mediante la EUPS, van desde las 42,632.95 toneladas por hectárea por año en una sección de la microcuenca 1 y hasta valores de 51,620.86 en la microcuenca 2; presentándose valores mínimos de 13.317 ton/ha/año en la microcuenca 9. Los valores encontrados son altamente superiores a los reportados en la bibliografía consultada, en otras regiones y en estimaciones realizadas para el estado de Chiapas.

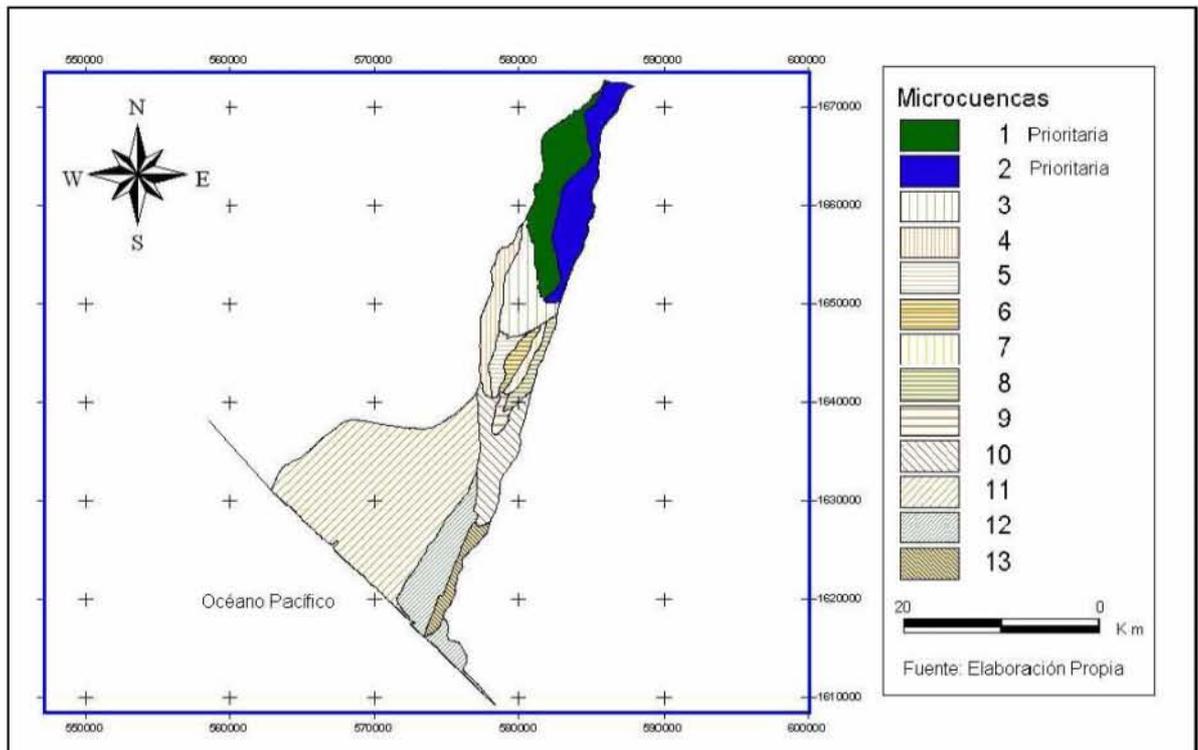
En las partes altas de la cuenca (microcuenca 1 y 2) todavía existen zonas de bosque mesófilo de montaña, pero se presentan las mayores pendientes del terreno además de presentar superficies considerables de agricultura de temporal.

Suponiendo que continuarán las condiciones de degradación de la cuenca, es decir que se aumentará el área agrícola de temporal, las condiciones que facilitan el fenómeno de erosión se incrementarían, ocasionando un aumento del aporte de sedimentos y de las consecuencias que esto trae consigo. De continuar con las alteraciones de los bosques los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 240 %, lo cual es muy grave; modificando una sección de la microcuenca 1 y una sección de la microcuenca 2; es decir, variando la cobertura vegetal de bosque mesófilo a agricultura de temporal, la pérdida de suelo en estas secciones pasa de 18 107 ton/ha/año para la microcuenca 1 y para la microcuenca 2 se incrementa de 23 812.53 ton/ha/año a 222 250.34 ton/ha/año; esto permite ver la importancia que representa la cobertura vegetal (que se puede decir que depende de las acciones antropogénicas) en la pérdida total del suelo en la cuenca.

Sin embargo, así como el ser humano puede impactar negativamente los recursos naturales, puede contribuir a su conservación mediante diversas acciones; como serían la incorporación de prácticas de conservación en las áreas agrícolas, se puede reducir el fenómeno de erosión y por lo tanto la pérdida de suelo fértil.

De modificarse la tendencia actual de deforestación y con prácticas agrícolas (cultivos en fajas, con valores de P igual a 0.4 o 0.3) en las zonas donde se realizan actividades agrícolas de temporal y de riego, la pérdida de suelo se ve ampliamente disminuida, con valores menores en un 43.3 % a los actuales; presentándose valores máximos de 23,812 .53 ton/ha/año hasta valores mínimos de 3.99 ton/ha/año.

Figura 8.1. Microcuencas prioritarias para el control de la erosión hídrica



Lo anterior da una idea precisa hacia donde deben orientarse los esfuerzos y las inversiones económicas de los órganos de gobierno; ya que las soluciones de tipo técnico siempre deben ir acompañadas con soluciones de carácter social para que tengan impactos positivos.

Las microcuencas a las que se les debe poner mayor atención a corto plazo son la 1 (Azul) y 2 (Verde), que son las que presentan la mayor erosión debido a las condiciones topográficas (pendientes fuertes) y a la presencia de prácticas agrícolas no amigables para el ambiente.

Es necesario conocer el aporte de sedimentos para establecer obras de almacenamiento de agua en la cuenca, sin embargo la cuenca del río Caohacán no presenta las características físicas (topográficas y geológicas) para construir vasos de almacenamiento; no obstante lo anterior, se determinó el aporte de sedimentos (AS) mediante tres métodos, encontrándose que estos valores están entre 48.40 % para la microcuenca 2, hasta valores de 69.06 % en la microcuenca 9, porcentajes referidos a los valores de erosión determinados mediante la EUPS. Entonces el aporte de sedimentos, considerando estos porcentajes, va desde 37,035.14 ton/ha/año en la microcuenca 2 hasta valores de 9.19 ton/ha/año en la microcuenca 9.

Se demuestra que las prácticas de control de erosión (capítulo 7) y de cobertura reducen de manera significativa las tasas de erosión de los suelos.

Se tiene un efecto marcado de la topografía en las tasas de erosión, teniendo esta una relación directa y proporcional entre la pendiente y la pérdida de suelo.

Las prácticas de control de erosión tienen un rol importante para evitar tasas de erosión altas, además debe acompañar o realizarse previas a las prácticas de laboreo. Las prácticas de control de erosión, son un complemento indispensable al realizarse labores agrícolas, puesto que garantizan la permanencia del suelo cuando éste se deja sin cobertura.

IX. Bibliografía

Agencia de Cooperación Internacional del Japón. 1999. ***El estudio de desarrollo integral de agricultura, ganadería y desarrollo rural de la región del Soconusco (Distrito de Desarrollo Rural No. 8, Tapachula) en Chiapas, Los Estados Unidos Mexicanos.*** Reporte Final. Tapachula, Chiapas. México.

Arellano M.J. 1999. ***El manejo de cuencas en Chiapas: Una estrategia para el desarrollo regional sustentable.*** En Memoria del IX Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas. ANEI. Culiacán, Sinaloa.

Arellano M. J. 1994. ***La degradación del suelo por erosión hídrica en Chiapas. Evaluación y principios tecnológicos para su control.*** Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo, México.

Arnoldus H.M. 1980. ***An approximation of rainfall factor in the universal soil loss equation.*** En Boot M. y Gabriels D., Assesment of erosion. Jonh Wiley y Sons.

Barrios A. G. y Quiñónez E. 2000. ***Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R)USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos.*** Revista Forestal Venezolana 44(1) 2000, 65-71.

Baumann J. 1999. ***Factores determinantes en el proceso hidrológico erosivo en las cuencas hidrográficas de la Costa de Chiapas.*** En Memoria del IX Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas. ANEI. Culiacán, Sinaloa.

Benjamin Kiersch. 2002. ***Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica.*** FAO. Roma, Italia.

Becerra M. A. 1999. **Escorrentía, Erosión y Conservación de Suelos**. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Bifani P. 1997. **Medio Ambiente y Desarrollo**. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.

Brooks, K.N., Ffolliott, P.F., Gregersen, H.M., & Thames, J.L. 1991. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames, Iowa: Iowa State University Press.

Bruijnzeel, L.A. 1990. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state-of-knowledge review**. Paris: UNESCO International Hydrological Programme.

Bruijnzeel, L.A., et al. 1989. **Highland-lowland interactions in the Ganges-Brahmaputra river basin: A review of published literature**. ICIMOD Occasional Paper, No.11.

Calder, I.R. 1998. **Water-resource and land use issues**. SWIM Paper 3. Colombo: IIMI.

Casillas G. J. 1998. **Propuesta metodológica para rehabilitar áreas de captación en las cuencas hidrográficas**. Primer Seminario Internacional del Uso Integral del Agua. Memorias Tomo1. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Comisión Nacional del Agua. 2001. **Programa Nacional Hidráulico 2001–2006**, México, D.F., <http://www.cna.gob.mx/portal/switch.asp?param=4016>

Comisión Nacional del Agua. 2000a. **El agua en México: retos y avances** http://sgp.cna.gob.mx/Planeacion/pdf/agua_en_mexico.pdf

Comisión Nacional del Agua. 2000b. **Compendio básico del agua en México**. http://sgp.cna.gob.mx/Planeacion/zip/compendio_2001.zip.

Comisión Nacional del Agua. 2000c. **Datos de la calidad del agua de la estación Río Texcuyupán Clave 00CI23AD0890001. Región Hidrológica No. 23**. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua. 1999. **Panorama actual del agua en México. Atención nacional a los componentes del capítulo 18 de la Agenda 21**. http://sgp.cna.gob.mx/Planeacion/paginas/pnud_1999.html.

Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. 2002. **Metodología para la evaluación de la erosión hídrica**. Anexo 6. pp 169 -187.

Cortés T. H. 1991. **Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados**. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.

Deinlein R. 1993. **Algunos ejemplos del desarrollo de los suelos en diferentes niveles altitudinales en el Soconusco**. En Investigaciones Ecogeográficas sobre la Región del Soconusco, Chiapas. CIES. México.

ECOSUR. 1999. **Agricultura integrada, ganadería y desarrollo rural de la región del Soconusco, Chiapas**, México. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México.

Esquinca C. et al. 1997. **Diagnóstico de las aguas residuales de las 30 localidades con mayor población en el Estado**. En Memorias Técnicas del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Simposio Agua Potable y Potabilización. Aguas Residuales, Tratamiento y Reuso. Tomo I. FEMISCA. Zacatecas, Zacatecas.

FAO.1997. **Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Riego y Drenaje No. 55.** Roma, Italia.

FAO. 1980. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.** UNESCO/PNUMA. Roma, Italia.

Falkenmark, M., y Chapman, T. (eds). 1989. **Comparative hydrology. An ecological approach to land and water resources,** Paris, Francia. UNESCO.

Ferro V., Giordano G. y Iovino M. 1991. **Isoerosivity and erosion risk map for Sicily.** Hydrological Sciences Journal. 36 (6) 549-564.

Foster G. R., Meyer L.D. y Onstand C.A. 1977. **A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates.** Transactions of ASAE. 20:683-687.

Funes S. 1991. **Antecedentes del programa Internacional sobre Agua y Desarrollo Agrícola Sostenido.** En Memorias del Taller Agua y Desarrollo Agrícola Sostenido. Ciudad Obregón, Sonora.

Gómez R. E., Galván F. A. y Morales L. 1997. **Influencia de la cuenca hidrológica en el aporte de sedimentos en las lagunas del sistema costero Chantuto-Panzacola,** Chiapas. Reporte para SEMARNAP, PRODERS-Región Costa de Chiapas. Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Iztapalapa. México.

Gracia S. J. 1997. **Pérdida de suelo en cuencas.** Capítulo 17 del Manual de Ingeniería de ríos. Instituto de Ingeniería. UNAM. México.

Hagedorn A. 1996. **Investigaciones sobre la erosión del suelo en la zona cafetalera del Soconusco/México**. Instituto de Geografía. Universidad Friedrich Alenxander. Alemania

Holeman N. 1968. **The sediment yield of major rivers of the world**. Water Resource Research. No. 4.

Hudson N. 1982. **Conservación de suelos**. Primera edición en Español. Editorial Reverte. Barcelona, España.

INEGI.1997. **Agenda estadística de Chiapas**. México, D.F.

INEGI. 1995. **Informe de la situación en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente**. México, D.F.

INEGI. 1994. **Estadísticas del medio ambiente**. México, D.F.

INEGI. 1990. **Carta edafológica D15-5 (Tapachula) y D15-2 (Huixtla)**. Escala 1:250 000.

Kiersch B. 2002. **Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica**. FAO. Roma, Italia.

Kirkby M. J. y Morgan R.P. 1984. **Erosión de suelos**. Editorial Noriega-Limusa. México.

Lal R. 1977, **Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility**. En Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. Greenland y Lal, Editores. John Wiley y Sons, Chichersters, west Sussex, Gran Bretaña.

Lal R. 1976. **Soil erosion on alfisol in western Nigeria, Effects of rainfall characteristics**. Geoderma. 19: 389-401.

López F. E. 1995. **Diagnóstico de los trabajos de conservación del suelo y el agua en el Distrito de Desarrollo Rural Tulancingo, Hidalgo**. Tesis Profesional. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Massobrio M.J., Castiglioni M.G., Chagas C.I., Santanatoglia O.J.1998. **Análisis de sensibilidad de un modelo predictivo distributivo de producción de sedimentos y nutrimentos asociados (AGNPS), en una microcuenca del arroyo del Tala, Argentina**. Revista Terra 16(4): 371-377.

<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/16/4/art371-377.pdf>

McCool D.K., Brown L.C., Foster G.R., Mutchler C.K. y Meyer L.D. 1987. **Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation**. Transactions of ASAE 30(5); 1387-1396

Millar C.E., Turk L.M. y Foth H.D. 1987. **Fundamentos de la Ciencia del Suelo**. Editorial CECSA. México.

Milliman J.D. y Syvitski. 1992. **Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountain rivers**. J. Geology. 100:525-544.

Montes M., Domínguez M. y Ventura E. 1998. **Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando SIG**.

Novotny, V. 1980. **Delivery of suspended sediment and pollutants from non-point sources during overland flow**. Water Res.Bull. 16: 1057-1065.

Oldeman L. R., Engelen V. W. y Pulles J.H. 1990. ***The extent of human induced soil degradation***. En Oldeman et al. World map of the status of human induced soil degradation: An explanatory note. University of Wageningen. Holanda.

Oldeman L.R., Hakkeling R. T. y Sombroek W.G. 1990a. ***World map of the status of human induced soil degradation: An explanatory note***. University of Wageningen. Holanda.

Oropeza M. J. 1998. ***Manejo de cuencas hidrográficas, una alternativa para la protección de los recursos naturales***. Primer Seminario Internacional del Uso Integral del Agua. Memorias Tomo1. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Ouyang D. y Bartholic J. ***Predicting Sediment Delivery Ratio in Saginaw bay Watershed***. Institute of Water Research, Michigan State University. East Lansing. <http://www.iwr.msu.edu/~ouyangda/sdr/sag-sdr.htm>

Poder Ejecutivo Estatal. 1990. ***Plan Estatal de Desarrollo 1989-1994***. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.

Renard K. G. et al. 1997. ***Predicting Soil Erosion by water: Aguide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)***. USDA, Agricultural Research Service, Agricultural Handbook Number 703. USA

Restrepo F. I. 1991. ***Naturaleza muerta: los plaguicidas en México. Edit. Océano. México***. D.F.

Retureta A. A., Ascanio G. M. ***Obtener y aplicar factores de la ecuación universal por uso del suelo en la subcuenca del río Atopa municipio de Coatepec, Veracruz, México***. En Memorias del 29° Congreso Nacional de la

Ciencia del Suelo: La Investigación Edafológica en México 1997 – 1998. División: Diagnóstico, Metodología y evaluación del recurso suelo, Disciplina: Génesis, Morfología y clasificación de suelos. Tapachula, Chiapas. México.

Reynoso D. F., Oropeza M.J., Ríos B. J. y Medina M.R. 1998. ***Erosión hídrica en dos cuencas de la Región Soconusco, Chiapas.*** En Memorias del 29° Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo: La Investigación Edafológica en México 1997 – 1998. División: Aprovechamiento del recurso suelo, Disciplina: Conservación del suelo. Tapachula, Chiapas. México.

Richter M. 1993. ***Investigación sobre la micro y mesoclimatología en la región del Soconusco.*** En Investigaciones Ecogeográficas sobre la Región del Soconusco, Chiapas. CIES. México.

Richter M. 1993a. ***Cambios Hidrológicos en la Zona Cafetalera del Soconusco.*** En Investigaciones Ecogeográficas sobre la Región del Soconusco, Chiapas. CIES. México.

Sánchez A. J. 1988. ***Efecto del sobrepastoreo en el arrastre de sedimentos sobre la cuenca del río Sonora.*** Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Sanders, J.H., D.D. Southgate y J.G. Lee. 1995. ***The economics of soil degradation: Technological change and policy alternatives.*** Technical Monograph No. 22. SMSS.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1977. ***Boletín Hidrológico de la Región No. 23, Costa de Chiapas.*** Jefatura de Irrigación y Control de Ríos – Dirección de Hidrología. México, D.F.

Seggern J. 1993. ***Algunas observaciones sobre la erosión del suelo en el Soconusco***. En Investigaciones Ecogeográficas sobre la Región del Soconusco, Chiapas. CIES. México.

SERNyP. 1996. ***Condiciones ecológico-ambientales, perspectivas y estrategias de desarrollo en la Región Hidrológica No. 23 y cabeceras municipales de la Costa de Chiapas***. En Programa de Desarrollo Sustentable Costa de Chiapas. SEMARNAP-INE.

Sombroek W. G., Nachtergaele F.O. y Hebel A. 1993. ***Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils***. AMBIO. 22, 417-426.

Tengberg. A., Stocking M. y Dechen S. 1998. ***Soil erosion and crop productivity research in South America***. Advances in Geocology. 31, 355-362.

Tolba M.K. 1990. ***Desarrollo hidráulico sostenido: oportunidades y limitaciones***. Ingeniería Hidráulica en México. Volumen V, No. 2, II época. Mayo/agosto, 59-62 pp.

Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. ***Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning***, Agric. Handbook No. 537. Washington DC. US. Department of Agriculture.

Milliman, J.D. y Syvitski. 1992. ***Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountain rivers***. *J. Geology* 100: 525-544.

Walling, D.E. 1983. ***The sediment delivery problem***. *J. Hydrol.* 65: 209-237.

Williams J.R. y Berndt H.D. 1977. ***Determining the universal soil loss equations length-slope factor for watershed***. En Soil Erosion: Prediction and Control. Soil Conservation Society of America. Ankey, Iowa.

Wischmeier W.H. 1984. ***The USLE: some reflections.*** Journal of Soil and Water Conservation. pp. 105 – 107

Wischmeier W. H. y Smith D.D. **1978. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning.*** U.S. Department of Agriculture. Agricultural Handbook No. 537.