

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**IDENTIFICACION DE AREAS CRITICAS CON BASE EN CRITERIOS
BIOFISICOS Y ANALISIS BASICO DE LA DEGRADACION ESPECIFICA Y
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RIO CHIXOY,
GUATEMALA.**

Tesis sometida a consideración de la Comisión del Programa
Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y
Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y
del Centro Agronómico Tropical de Investigación
y Enseñanza, para optar el grado de

MAGISTER SCIENTIAE

por

RUDY OSBERTO CABRERA CRUZ

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Departamento de Recursos Naturales Renovables
Turrialba, Costa Rica
1987

La tierra cae soñando con las estrellas
y duerme en sus montañas,
hoy cerros pelados de Ilóm.

Hombres de Maiz"
M.A. Asturias

DEDICATORIA

A mi esposa: Ma. de los Angeles
A mi madre : Lolita Cruz Valencia

A mis familiares y amigos

A Guatemala
Y a Costa Rica

Con profundo respeto
cívico

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A Enrique Blair, MSc. y Eduardo Seminario, PhD. consejeros principales en la fase final e inicial de la investigación respectivamente, infinitas gracias por sus valiosos aportes a la actual investigación.

A los miembros del Comité Asesor, Jorge Faustino, MSc.; Eric Richters, MSc.; Claudio Gutiérrez, MSc.; profesionales claves en el desarrollo y conclusión de este trabajo.

A Manuel Basterrechea, PhD. por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.

A Robert Komives, MSc. por su especial colaboración al inicio de este estudio.

A José Francisco Di Stefano, PhD. por su especial cuidado en la revisión del documento final.

A todos los amigos costarricenses por su hospitalidad y amistad brindadas.

A todos los compañeros latinoamericanos estudiantes del Programa de Posgrado UCR-CATIE.

A todo el personal del Proyecto Regional de Manejo de Cuencas-CATIE, sinceros agradecimientos.

A la Oficina Regional para Centro América y Panamá (ROCAP) de la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos (AID), por su apoyo económico y asistencia técnica concedidos durante los estudios de posgrado en Manejo de Cuencas.

Al Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y a la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), por su honesto respaldo y eficiente apoyo institucional.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y a la Universidad de Costa Rica (UCR), por la oportunidad concedida en la ampliación de mi formación profesional.

BIOGRAFIA

El autor nació en San Cristóbal Verapáz, Alta Verapáz, Guatemala, en el año de 1957.

Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Técnico de Agricultura, Bárcenas, Villa Nueva, en los años 1974-1976, donde obtuvo el título de Perito Agrónomo.

Ingresó a la Universidad de San Carlos de Guatemala en donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en el año de 1984.

En el año 1983 funge como jefe de distrito en la Unidad para Protección de Cuencas del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), hasta 1985.

En marzo de 1985 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado UCR-CATIE y obtiene en 1987 el grado de **Magister Scientiae** en Recursos Naturales Renovables, con especialidad en Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al grado de

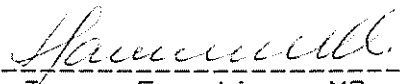
MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



Enrique Blair, MSc.

Consejero Principal



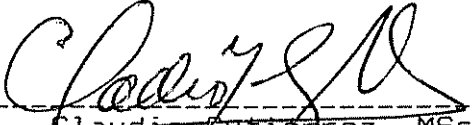
Jorge Faustino, MSc.

Miembro del Comité



Eric Richters, MSc.

Miembro del Comité



Claudio Gutierrez, MSc.

Miembro del Comité



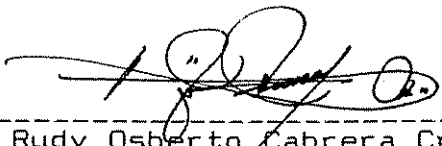
José Francisco Di Stefano, PhD.

Director del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, UCR-CATIE



Luis Estrada N., PhD.

Decano del Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica



Rudy Osberto Cabrera Cruz

Candidato

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	x
SUMMARY	xii
LISTA DE CUADROS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Contexto histórico del uso de la tierra en Guatemala	6
2.2 Actual problemática del uso de la tierra en Guatemala	9
2.3 El uso de la tierra y su relación con la erosión del suelo	13
2.3.1 El uso actual de la tierra y la capacidad de uso	13
2.3.2 La erosión del suelo como factor de clasi- ficación en la capacidad de uso de la tie- rra	16
2.4 Degradación específica de una cuenca hidrográfica	19
2.5 El transporte de sedimentos en una cuenca hidrográfica	22
3. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Area de estudio	26
3.2 Esquema metodológico propuesto	26
3.2.1 Caracterización biofísica básica para el estudio	26
3.2.2 Areas críticas identificadas con base en reconocimientos de campo	29
3.2.3 Identificación de áreas críticas mediante el análisis del uso de la tierra	30
3.2.4 Determinación de la degradación específica de la cuenca	31
3.2.5 Análisis del transporte de sedimentos en suspensión	31

	Página
3.3 Materiales y equipo	32
4. RESULTADOS Y DISCUSION	
4.1 Caracterización biofísica	33
4.1.1 Fisiografía	33
4.1.2 Geología	34
4.1.3 Morfometría	40
4.1.3.1 Area y perímetro de la cuenca	41
4.1.3.2 Distribución altitudinal y altura media .	41
4.1.3.3 Red de drenaje	46
4.1.4 Suelos	52
4.1.5 Climatología	55
4.1.5.1 Temperatura	55
4.1.5.2 Evapotranspiración potencial	57
4.1.5.3 Precipitación	59
4.1.6 Zonas de vida	64
4.1.7 Recursos hídricos superficiales	66
4.2 Areas biofísicamente críticas identificadas por medio de reconocimientos de campo	70
4.3 Identificación de áreas críticas mediante el análisis del uso de la tierra	73
4.3.1 Capacidad de uso de la tierra	73
4.3.2 Uso actual de la tierra y sus características	88
4.3.2.1 Uso actual	88
4.3.2.2 Problemática del uso de la tierra	95
4.4 Degradación específica en la cuenca superior del río Chixoy	99
4.5 Transporte de sedimentos en suspensión	103
4.6 Interacción entre factores analizados	110
4.6.1 Areas críticas	110
4.6.2 Degradación específica y transporte de sedimentos	113

	Página
5. CONCLUSIONES	118
6. RECOMENDACIONES	122
7. BIBLIOGRAFIA	125
8. ANEXOS	134
1A. Componentes de la metodología adaptada a escala 1:250.000 para determinar capacidad de uso de la tierra en la cuenca superior Chixoy, Guatemala.	136
2A. Ordenamiento de las prácticas de conserva- ción de suelos y aguas.	159
3A. Especificaciones del programa SEDIM.	171

CABRERA CRUZ, R.O. 1987. Identificación de áreas críticas con base en criterios biofísicos y análisis básico de la degradación específica y transporte de sedimentos en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 174 p.

RESUMEN

En Guatemala los recursos naturales han llegado, en ciertas áreas, a un alto grado de deterioro. En algunos casos, dentro de estas áreas se llevan a cabo grandes proyectos sin tomar en cuenta la situación actual (biofísica, socioeconómica, cultural, institucional) y el manejo que se debe proporcionar a la cuenca en el futuro, con el fin de disminuir los efectos negativos sobre ella.

El presente estudio se realizó en la cuenca alta del río Chixoy, Guatemala. Los objetivos fueron: 1) identificar áreas biofísicamente críticas, de origen antrópico y natural, a) mediante reconocimientos de campo, y b) mediante la determinación de la capacidad de uso de la tierra; y 2) determinar la degradación específica y su relación con el transporte de sedimentos en suspensión. La hipótesis planteada fue: la degradación específica representa la potencialidad de ocurrencia de la erosión en la cuenca, por lo tanto esta debe estar relacionada con la carga de sedimentos en suspensión aguas abajo.

La caracterización biofísica de la cuenca (2.271 km²) considera la fisiografía, geología, morfometría, suelos, climatología, zonas de vida y recursos hídricos superficiales.

Las áreas críticas identificadas fueron aquellas con un alto potencial de aporte de sedimentos aguas abajo. Las causas antrópicas que generan áreas críticas son: la deforestación, el mal manejo forestal, las prácticas silviculturales inadecuadas, las prácticas inadecuadas de cultivo, el sobrepastoreo, el mal drenaje de caminos, los deslizamientos en carreteras, y la erosión severa y muy severa. Como causas naturales se identifican: los deslizamientos, las avalanchas, la inestabilidad de taludes naturales (laderas), la dinámica geomorfológica fluvial y las fallas geológicas activas.

Otro tipo de áreas críticas antrópicas son aquellas cuya condición en la cuenca significan sobreusos de la tierra. Al respecto, fue necesario adaptar una metodología de capacidad de uso de la tierra de acuerdo a sus características climáticas, topográficas y edáficas para realizar luego su comparación con el uso actual de la tierra. En estas condiciones, la problemática a nivel biofísico del uso de la tierra resultó cubrir el 17,81% del área total de la cuenca.

Para tener una estimación del efecto de la degradación específica en la cuenca, este se analizó con base en el criterio de F. Fournier, en nueve estaciones meteorológicas distribuidas dentro y cercanas a la cuenca y con un período de registros de diez años. Los valores medios variaron de 900 a 2.300 ton/km²/año. Los valores de degradación específica se representaron por medio de isolíneas. Para definir la potencialidad de la erosión en la cuenca se consideró las características edáficas (profundidad efectiva, susceptibilidad a la erosión y textura), y el relieve de la cuenca.

El análisis del transporte de sedimentos en suspensión consideró las variables caudal líquido (Q_L) en m³/seg y caudal sólido (Q_B) en ton/día. Mediante el programa SEDIM se correlacionaron estas dos variables y se generaron las descargas totales para 15 años de registros. La descarga específica promedio fue de 463,8 ton/km²/año y la descarga total 1,05.10⁴ ton/año. Las ecuaciones de descarga de sedimentos en suspensión obtenidas fueron: a) para la época lluviosa $Q_B = (0,703725) (Q_L)^{2,164722}$, y b) para la época seca $Q_B = (0,230317) (Q_L)^{2,113375}$.

Las principales conclusiones y recomendaciones son: 1) La metodología para identificar áreas críticas antrópicas en sobreuso en combinación con los reconocimientos de campo, resultó ser adecuada y eficiente para la cuenca, pero ésta debe ser validada antes de transferirse a la práctica. 2) Los principales conflictos de usos de la tierra se refieren a la eliminación del bosque para su conversión a cultivos en limpio y pastizales. 3) La aplicación del coeficiente de Fournier para determinar la degradación específica no fue satisfactoria ni representativa para la cuenca. 4) Todas las áreas críticas identificadas en la cuenca se deben dedicar exclusivamente a protección. 5) La descarga de sedimentos en suspensión se visualiza como un problema para el Proyecto Hidroeléctrico Pueblo Viejo-Quixal, y podría ser aún más crítico al integrar la carga de sedimentos de fondo.

Palabras claves: cuenca, uso de la tierra, áreas críticas, degradación específica, transporte de sedimentos.

CABRERA CRUZ, R.O. 1987. Identification of critical areas based on biophysic concepts and the basic analysis of the specific degradation and the sediment transport at high watershed of the Chixoy river, Guatemala. Thesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 174 p.

SUMMARY

In some places of Guatemala natural resources have reached a high level of destruction. Sometimes large projects are conducted without taking in to account the present situation (biophysics, socioeconomic, cultural and institutional aspects) and the handling that must be given to the watershed in the future to avoid negative effects.

The present study was done in the high watershed of the Chixoy river in Guatemala. Its purposes were: 1) to identify critical areas of human or natural activities by field checking, and by the determination of the potential of the soil; 2) to determine the specific degradation of the soil and its relation with sediment transport in suspension. The stated hypothesis was: the specific degradation represent the occurrence of erosion potential; therefore, the erosion must be in connection with the sediment in suspension downstream.

The biophysical characterization of the watershed (2.271 km²) include physiography, geology, morphometry, soils, climatology, life zones and the hydric superficial resources.

The identified critical areas were those with a high potential of downstream sediment spreading. The critical human activities were: deforestation, poor forest management, insufficient silvicultural practices, inadequate cropping, bad road drainages, landslides on the roads and severe and very severe erosion. From natural origin were identified: landslides, slopes instability, fluvial geomorphological dynamics and the geological active failures.

Another critical areas with human activities were those with soil overuse. A methodology on land use capacity, according to climate, topography and soils was adapted to compare potential with actual use of soil. In such condition the biophysic problem of soil use covered 17,81% of the whole watershed area.

In order to estimate the effect of specific degradation on the watershed, a method based on F. Fournier work was used in nine meteorological stations within and nearby the watershed, with a registration period of ten years. The results were 900-2.300 ton/km²/year. The measure of the specific degradation effects were stated by isolines. To define the potential of erosion in the watershed, the edaphic characteristics (effective deep, erosion susceptibility, texture), and the watershed physiography were considered.

The analysis of sediment transport in suspension included liquid volume (Q_L) in m³/sec and solid volume (Q_S) in ton/day as variables. The program SEDIM was used to correlate both variables, and to calculate total flow from 15 years records. The mean specific flow was 463,8 ton/km²/year and the total flow was $1,05 \times 10^6$ ton/year. The flow equation of sediment in suspension was: a) for rainy season $Q_S = (0,703725) * (Q_L)$ (e.164722), and b) for dry season $Q_S = (0,230317) * (Q_L)$ (e.113375).

Conclusions and recomendations: 1) The methodology for critical areas identification with human activities of overuse in combination with field inspection was adequate and efficient for the watershed, but it has to be validated before transferred. 2) The main problem in soil use is deforestation for land conversion to crops and pastures. 3) The specific degradation as determined by Fournier method was unsastisfatory and not representative for the watershed. 4) All the identified critical areas of the watershed must be protected. 5) The flow of sediment in suspension is viewed as a the problem for the Proyecto Hidroeléctrico Pueblo Viejo-Quixal, and would be even more critical with the inclusion of botton sediment flow.

Keywords: watershed, land use, critical areas, specific degradation, sediment transport.

LISTA DE CUADROS

En el texto	Página
1. Aptitud agrícola de la tierra según su productividad, expresado como pérdida de suelo en ton/ha/año.	16
2. Clasificación de la degradación específica definida por F. Fournier.	22
3. Distribución de los materiales geológicos en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	37
4. Distribución de áreas comprendidas según ámbitos de altura, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	42
5. Distribución de áreas bajo y sobre isohipsas, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	45
6. Tiempo de concentración (Tc) de los principales ríos en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	50
7. Resumen de las características morfométricas de la cuenca superior y cuenca media del río Chixoy, Guatemala.	51
8. Distribución de áreas según serie de suelos, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	53
9. Estratificación térmica altitudinal, Programa de Estudios Integrados de Areas Rurales, Guatemala.	57
10. Distribución de la precipitación media mensual en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala. ..	62
11. Distribución del índice de erosividad de las lluvias en distintas estaciones pluviográficas de influencia en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	63
12. Distribución de las zonas de vida en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	66

13.	Ecuaciones de descarga de caudales para ciertos períodos de registro, estación Chisiguán, cuenca superior del río Chixoy.	69
14.	Distribución de las categorías de pendientes determinadas en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	76
15.	Características de las unidades de suelos identificadas en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	77
16.	Distribución de la capacidad de uso de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, según la Dirección de Recursos Naturales Renovables, (Guatemala 1982i).	86
17.	Capacidad de uso de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, según la Dirección de Recursos Naturales Renovables, (Guatemala, 1981c).	88
18.	Tamaño de finca y concentración de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	90
19.	Distribución del uso actual de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	93
20.	Descarga total anual (ton/año) y mensual (ton/mes) de sedimentos en suspensión y descarga específica (ton/km ² /año) en la estación Chisiguán, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	109
21.	Niveles de sobreuso de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	112

En el anexo

1A.	Caudales medios mensuales en m ³ /seg en la estación hidrométrica Chisiguán, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	135
2A.	Requerimientos agronómicos, óptimos para cultivos adaptables en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	137

3A.	Categorías de pendientes utilizadas en varias metodologías de capacidad de uso de la tierra y su aplicación en varios países.	141
4A.	Susceptibilidad a la erosión con base en la textura y profundidad del suelo.	146
5A.	Clasificación del suelo por su apreciación textural.	147
6A.	Registros de precipitación mensual (mm) según el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Guatemala, 1987) y valores de degradación específica (ton/km ² /año) en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala. ..	161
7A.	Ecuaciones utilizadas para la extensión de registros pluviométricos en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	167
8A.	Registros de caudales líquidos en m ³ /seg y caudales sólidos en suspensión en ton/día, determinados por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) (Guatemala, 1986b), estación Chisiguán, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	169
9A.	Descripción de los campos del registro para operar el programa SEDIM.	174

LISTA DE FIGURAS

En el texto	Página
1. Localización de la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	27
2. Esquema del proceso metodológico propuesto.	28
3. Mapa geológico, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	38
4. Histograma de frecuencias, con áreas comprendidas en ámbitos de altura, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	43
5. Curva hipsométrica semirelativa, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	44
6. Curva hipsométrica relativa, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	44
7. Red de drenajes, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	47
8. Perfil longitudinal de los principales ríos en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	49
9. Mapa de suelos, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	54
10. Mapa de la red hidrometeorológica en la región que comprende a la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	56
11. Mapa de isotermas, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	58
12. Mapa de isoyetas, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	60
13. Histograma de distribución mensual de la precipitación en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	62

	Página
14. Mapa de zonas de vida, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	65
15. Caudales medios mensuales en m ³ /seg durante 15 años de registros en la estación Chisiguán, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	68
16. Escurrimiento total anual en m ³ x 10 ⁶ , durante 15 años de registros en la estación Chisiguán, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	68
17. Mapa de áreas críticas identificadas en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	71
18. Mapa de pendientes, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	75
19. Matriz para determinar capacidad de uso de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	79
20. Distribución de las clases de capacidad de uso identificadas en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	81
21. Mapa de capacidad de uso de la tierra, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	82
22. Mapa de capacidad de uso de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, según la Dirección de Recursos Naturales Renovables, (Guatemala, 1982i).	87
23. Mapa de capacidad de uso de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, según la Dirección de Recursos Naturales Renovables, (Guatemala (1981c).	89
24. Mapa de uso actual de la tierra, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	94
25. Problemática del uso de la tierra en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	96
26. Mapa de la problemática del uso de la tierra, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	97

	Página
27. Mapa de isolíneas de degradación específica en ton/km ² /año, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	102
28. Relación del caudal sólido en suspensión para cinco muestras en función de una [$Q_{ss} = f(Q_{s1})$]. ..	105
29. Dispersión de los registros y curvas de descarga de sedimentos en suspensión en función del caudal líquido, para las épocas seca y lluviosa, estación Chisiguán, cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	107
30. Relación entre la degradación específica y el caudal sólido en suspensión en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	115

En el anexo

1A. Período de registros de las estaciones meteorológicas consideradas en el cálculo de la degradación específica en la cuenca superior del río Chixoy, Guatemala.	166
2A. Nomograma para determinar la degradación específica (ton/km ² /año).	168