



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
ESCUELA DE POSGRADO**

**Evaluación del impacto del uso ganadero y del cultivo de  
granos básicos en el suelo y agua  
en la subcuenca Mopán-Chiquibul,  
Petén, Guatemala**

Por

Elián Jacobo Cotto Guzmán

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de  
*Magister Scientiae* en  
Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Turrialba, Costa Rica,

2012

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL  
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

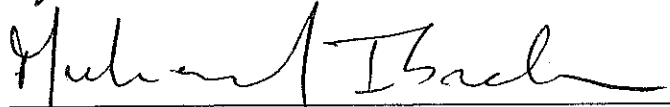
**FIRMANTES:**



---

Andreas Nieuwenhuyse, Ph.D.

**Co-Director de tesis**



---

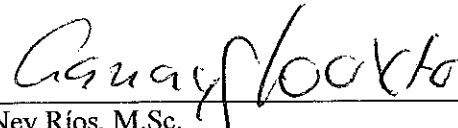
Muhammad Ibrahim, Ph.D.

**Co-Director de tesis**

---

Sergio Velásquez, M.Sc.

**Miembro Comité Consejero**



---


José Ney Ríos, M.Sc.

**Miembro Comité Consejero**

---

Jorge Cruz, M.Sc.

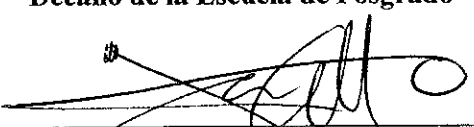
**Miembro Comité Consejero**



---

Miley González, Ph.D.

**Decano de la Escuela de Posgrado**



---

Elián Jacobo Epaminondas Cotto Guzmán

**Candidato**

## **DEDICATORIA**

Dedico mis esfuerzos académicos y trabajo de investigación a los más jóvenes en mi hogar (Tety, Fer, Malu y Fercita) deseando que pueda tener la oportunidad y capacidad de transmitirles mis conocimientos y experiencias para su aplicación.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP) en especial a PhD Isabel Gutierrez por otorgarme la beca para realizar mis estudios en CATIE.

Al PhD. Andreas Nieuwenhuys por tu sus consejos, observaciones, aportes y correcciones en el desarrollo de mi investigación.

Al Phd. Muhammad Ibrahim por su apoyo, consejos y compartir su conocimiento en mi desarrollo académico en CATIE y de mi investigación.

Al M.Sc. Ney Rios, M.Sc. Jorge Cruz, M.Sc. Sergio Velasquez por su apoyo en mi investigación.

A mis padres y demás familia por su apoyo incondicional.

A mis compañeros y amigos en CATIE por su apoyo.

## CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>II</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
1.1. Objetivos del estudio .....	15
1.1.1. General .....	15
1.1.2. Específicos.....	15
1.1.3. Preguntas orientadoras .....	15
<b>2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>17</b>
2.1. El proceso de degradación del agua y suelo .....	17
2.2. Tipos de degradación del suelo .....	17
2.3. Degradación por erosión hídrica.....	18
2.4. Reconociendo signos de erosión y degradación del suelo .....	18
2.5. Los indicadores de procesos ecológicos .....	19
2.6. Plaguicidas.....	19
2.7. Tipos de plaguicidas químicos.....	20
2.8. Protección de cauces de agua .....	21
2.9. Áreas protegidas en Guatemala .....	21
2.10. Categorías de manejo .....	21
2.11. Planes maestros y operativos.....	21
2.12. Reserva de la Biósfera .....	22

2.13.	Hidrología en paisajes cársticos .....	22
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
1.1.	Ubicación de la zona de estudio .....	24
1.2.	Capital natural en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	24
1.3.	Capital humano en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	27
1.4.	Capital social en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	28
1.5.	Capital político en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	28
1.6.	Capital productivo y financiero en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	29
1.7.	Infraestructura pública en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	29
1.8.	Procedimientos metodológicos .....	29
1.8.1.	Definición de las unidades de muestreo .....	29
1.8.2.	Caracterización general del uso de la tierra con fines agropecuarios a nivel de parcela .....	30
1.8.3.	Indicadores de degradación del suelo por erosión hídrica .....	33
1.8.3.1.	Presencia de macroporos en 20 cm de profundidad .....	35
1.8.3.2.	Textura al tacto .....	36
1.8.3.3.	Estabilidad del suelo superficial .....	36
1.8.3.4.	Carbono orgánico .....	36
1.8.4.	Indicadores para evaluar el riesgo de contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas.....	36
1.8.5.	Presencia de erosión en las orillas de las fuentes de agua.....	38
1.8.6.	Información sobre la aplicación de plaguicidas y fertilizantes .....	39
1.8.7.	Toxicidad de plaguicidas para mamíferos, organismos acuáticos y distancia de aplicación a las fuentes de agua .....	39
1.8.8.	Análisis de resultados.....	39
1.8.9.	Clasificación de usos de la tierra a nivel de subcuenca .....	39
1.8.10.	Definición de las tendencias de uso de la tierra (subcuenca) .....	40
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>

4.1.	Características generales de las fincas, el manejo del maíz y pasturas de la subcuenca Mopán-Chiquibul. ....	41
4.1.1.	Información general de las fincas .....	41
4.1.2.	Información general de las parcelas y potreros estudiados .....	45
4.2.	La afectación por erosión hídrica de parcelas de maíz y potreros en la subcuenca Mopán-Chiquibul. ....	50
4.3.	Relaciones entre variables .....	57
4.3.1.	Análisis multivariado.....	57
4.3.2.	Diferencias entre contenidos de macroporos y de carbono orgánico en los primeros 20 cm del suelo .....	61
4.4.	Evaluar el riesgo potencial de contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas de parcelas bajo uso agrícola o ganadero en la subcuenca Mopán-Chiquibul.	63
4.4.1.	Riesgo potencial de contaminación del agua por sedimentos.....	63
4.4.2.	Riesgo potencial por contaminación del agua con fertilizantes .....	65
4.4.3.	Riesgo potencial por contaminación del agua con plaguicidas .....	66
4.5.	Identificar posibles tendencias en el uso de la tierra en la subcuenca Mopán-Chiquibul. ....	71
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
5.1.	Conclusiones.....	79
5.2.	Recomendaciones.....	80
<b>6.</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>94</b>

## RESUMEN

En la subcuenca Mopán-Chiquibul al sur del departamento de Petén, Guatemala los usos de suelo predominantes son la agricultura y ganadería. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de estos sistemas productivos sobre los suelos y las fuentes de agua de esta subcuenca.

Se realizó la caracterización de los principales sistemas productivos en cinco comunidades de la subcuenca. Además, se tomaron datos en 38 parcelas de maíz y pasturas para evaluar la degradación del suelo. Así también, se realizaron observaciones y entrevistas para evaluar el riesgo potencial a la contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas. Por último, identificar tendencias del uso de la tierra en los últimos 10 años (2000-2010), con el uso de imágenes LANDSAT procesadas mediante el SIG.

Los sistemas productivos predominantes son granos básicos con énfasis en maíz (*Zea mays*) y la ganadería extensiva con pasturas mejoradas (*Brachiaria brizantha*). La afectación del suelo por erosión hídrica se observó en la mayoría de las parcelas y pasturas y la cual aumenta con la pendiente del terreno. En pasturas también la cantidad de senderos del ganado y su afectación por erosión aumentan con la pendiente del terreno.

Por otra parte, la estabilidad del suelo superficial (4 cm) mostró una reducción en texturas gruesas y pendientes quebrados y la compactación del suelo superficial por el ganado se focaliza en sitios puntuales como lugares de abastecimiento de agua o bien sombra de árboles.

La cantidad de bioporos en los primeros 20 cm del suelo fue mayor en pasturas que en parcelas de maíz, indicando una mayor actividad biológica, mientras la cantidad de poros estructurales fue mayor en parcelas de maíz, posiblemente debido a una mayor labranza en maíz. No se detectó ninguna diferencia por topografía. La cantidad de carbono orgánico en los primeros 20 cm de suelo no mostró diferencia significativa respecto a los usos de la tierra o topografía.

El riesgo potencial de contaminación del agua por sedimentos debido a la erosión de los cauces es importante por la producción de maíz hasta orillas de fuentes y el prácticamente libre acceso del ganado, situación que se agrava por la reducida cobertura de las orillas con vegetación natural (bosque).

Varios de los insecticidas usados en el cultivo de maíz tienen una alta toxicidad para organismos acuáticos y una moderada toxicidad para mamíferos. Los herbicidas usados en maíz y pasturas generalmente tienen una moderada toxicidad para organismos acuáticos y una baja toxicidad para mamíferos. Cuando se combinan esta información con datos sobre la movilidad de plaguicidas en el suelo y el tiempo durante el cual permanece activo se concluye que en la subcuenca los ingredientes activos de Metamidofos, Metil paration y Lambdacialotrina (en insecticidas) y Paracuat y 2,4 Acido Diclorofenoxiacético (en herbicidas) constituyen el peligro potencial más importante para contaminar las fuentes de agua y causar daños a organismos acuáticos o mamíferos.

El uso agropecuario de la tierra en la subcuenca Mopán-Chiquibul aumentó de 35.5% en 2000 a 41.9 % en 2006 y 42.3% en 2010 en zonas con pendientes menores al 10%, en caso de tierras onduladas estos porcentajes son 14.2% en 2000 a 16.5% en 2006 y 16.5% en 2010. Finalmente, para tierras quebradas, se aumentó de 5.6% en 2000, a 6.4 en 2006 y 6.4% en 2010. Si estas tendencias de cambio se mantienen, el riesgo que la degradación de la tierra por erosión hídrica en la subcuenca se acelere es reducido. Caso contrario, si en el futuro el relativamente alto porcentaje de tierras quebradas bajo bosque se reduce por mayor conversión a usos agropecuarios, es de esperar que la erosión hídrica en la subcuenca aumente.

## ABSTRACT

Agricultural land use in the Mopán-Chiquibul watershed at the southern part of Petén, Guatemala, is dominated by basic grain and livestock production. The present investigation evaluates the impact of these uses on soil degradation and water pollution in the watershed.

Main land uses were characterized in five communities in the watershed. Field data were collected in 38 maize fields and pasture to evaluate the soil degradation. Field observations were made and farmer interviews were held to evaluate the potential risk of water pollution by sediments, fertilizers and pesticides. Furthermore, land use changes were evaluated during the last 10 years (2000-2010), using LANDSAT images.

Dominating production systems are the basic grain production with maize (*Zea mays*) and extensive pasture for livestock dominated by *Brachiaria brizantha* grass. The majority of both maize and pasture plots were affected by laminar erosion whose intensity increases with increasing slope. Also, in pastures the number of livestock trails and its affectation by erosion increases with increasing slope.

On the other hand, stability of the upper 4 cm of the soil was reduced in more sandy soils as well as on steeper slopes while soil compaction by livestock grazing is limited to certain spots such as under trees used for shading or around water supply sites.

The amount of macropores originated by biological activity in the upper 20 cm of the soil was higher in pastures than in maize parcels, indication a higher biological activity. On the other hand, the amount of macropores that originated from soil structure was higher in maize plots, probably related to tillage activities. No differences were detected in soils under different topographies. The organic carbon content of the upper 20 cm of the soil did not show differences between land uses or topography.

The potential risk of water pollution by sediments eroded from river banks is high due to the practice to grow maize up to the river banks and the practically free access of livestock to water sources. The limited protection of river bank by natural forest vegetation enhances this risk.

Several of the insecticides used in maize production are highly toxic to aquatic organisms and moderate toxic to mammals. The herbicides used maize cultivation and routine pasture management are moderately toxic to aquatic organisms and slightly toxic to mammals. When combining this information with data of mobilization of the active ingredients in soils and the active half life, it is concluded that in the studied watershed the active ingredients Metamydofos, Metylparathion and Lambdacyalotrina (in insecticides) and Paracuat and 2,4 Diclorofenoxyacetico Acid (in herbicides) present the potential risk to pollute water sources and affect aquatic organisms or mammals.

Agricultural and pasture land use in the Mopán-Chiquibul watershed increased in areas with slopes less than 10% from 35.5% in the year 2000 to 41.9% in 2006 and 42.3% in 2010. For undulating areas, these percentages are 14.2% in 2000, 16.5% in 2006 and 16.5% in 2010. While on slopes steeper than 30%, these land uses occupied 5.6% in the year 2000, 6.4% in 2006 and 6.4% in 2010. If these tendencies persist in coming years, the risk of accelerated land degradation by water erosion in the study area is reduced. However, if in the future the relatively high percentage of steeper areas that currently is under forest is converted to agricultural land use or pasture; it is likely that erosion increases.



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Diferentes usos de la tierra a considerar a nivel de parcela .....	30
Cuadro 2 Rangos de pendiente en las parcelas .....	30
Cuadro 3 Datos generales levantados de cada parcela o potrero de medición .....	31
Cuadro 4 Indicadores relacionados con la degradación del suelo .....	33
Cuadro 5 Escala de valoración para indicadores relacionados con la degradación del suelo .....	35
Cuadro 6 Indicadores relacionados con el riesgo a la contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas.....	36
Cuadro 7 Escala de valoración para indicadores de riesgo a la contaminación de fuentes de agua por sedimentos.....	37
Cuadro 8 Escala de valoración para indicadores de riesgo a la contaminación de fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.) por sedimentos.....	38
Cuadro 9 Escala de valoración para indicadores de riesgo a la contaminación del agua por fertilizantes y plaguicidas.....	38
Cuadro 10 Segmentos de ríos y reservorios de agua en relación directa a parcelas y potreros ....	39
Cuadro 11 Usos de la tierra a nivel de subcuenca.....	40
Cuadro 12 Información general de fincas y propietarios entrevistados .....	41
Cuadro 13 Distribución de diferentes coberturas de uso en las fincas de muestreo (promedio) ....	41
Cuadro 14 Mano de obra de las fincas .....	41
Cuadro 15 Algunos factores a considerar en la administración de las fincas .....	42
Cuadro 16 Razones que mencionan los productores para mantener o no una presencia de cobertura boscosa.....	42
Cuadro 17 Usos de la tierra presentes hace 5, 10 y 20 años en las fincas, según productores entrevistados (propietarios) .....	42
Cuadro 18 Usos de la tierra en los últimos 5, 10 y 20 años en las fincas de vecinos de la zona, según la percepción de los productores entrevistados .....	43
Cuadro 19 Usos de la tierra hace 5, 10 y 20 años en la comunidad en general, según la percepción de productores entrevistados .....	43
Cuadro 20 Percepción de los productores entrevistados sobre la presencia de erosión del suelo y contaminación del agua en sus parcelas.....	44
Cuadro 21 Características generales de la producción ganadera (datos de los meses de junio y julio del 2011).....	44
Cuadro 22 Características generales en la dinámica de alimentación del ganado.....	44
Cuadro 23 Número de parcelas muestreadas en función de rango de pendiente y uso de la tierra	45

Cuadro 24 Análisis químicos de los primeros 20 cm del suelo (análisis realizados en el laboratorio de suelos del CATIE) .....	45
Cuadro 25 Años de posesión del mismo propietario y tiempo de estar bajo el mismo uso de la tierra .....	48
Cuadro 26 Cobertura de suelo y cobertura arbórea en las parcelas muestreadas de junio a agosto 2011 .....	49
Cuadro 27 Presencia de movimientos en masa del suelo (casos, n=38).....	50
Cuadro 28 Presencia de erosión en cárcavas y/o surcos (casos, n=38).....	51
Cuadro 29 Presencia de erosión laminar.....	52
Cuadro 30 Presencia de erosión en caminos de acceso (casos, n = 38).....	53
Cuadro 31 Distribución de la textura al tacto del suelo .....	53
Cuadro 32 Estabilidad del suelo superficial .....	54
Cuadro 33 Presencia de superficie impermeable del suelo .....	54
Cuadro 34 Presencia de senderos de ganado.....	55
Cuadro 35 Erosión observada en los senderos de ganado .....	55
Cuadro 36 Degradación de senderos de ganado, considerando presencia y erosión observada ..	55
Cuadro 37 Compactación extrema del suelo por tránsito de ganado.....	56
Cuadro 38 Significancia de indicadores en pasturas utilizando tablas de contingencia .....	57
Cuadro 39 Significancia de variables utilizando tablas de contingencia.....	59
Cuadro 40 Prueba de ANAVA para macroporos.....	61
Cuadro 41 Prueba de ANAVA para bioporos y poros estructurales en el suelo .....	61
Cuadro 42 Cantidad de bioporos (en%) y poros estructurales en parcelas de granos básicos y pasturas .....	62
Cuadro 43 Prueba de ANAVA para los datos en macroporos dividido en bioporos y poros estructurales y datos de carbono orgánica en el suelo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Cuadro 44 Indicadores de riesgo de contaminación del agua por sedimentos en segmentos de ríos y quebradas .....	63
Cuadro 45 Indicadores de riesgo de contaminación del agua por sedimentos en fuentes de agua artificiales .....	63
Cuadro 46 Características generales de la aplicación de fertilizantes en maíz ( <i>Zea mays</i> ) .....	66
Cuadro 47 Indicadores de riesgo de la contaminación del agua por fertilizantes nitrogenados en maíz ( <i>Zea mays</i> ) de “maíz de la 1era” .....	66
Cuadro 48 Plaguicidas usados por los productores de maíz y productores ganaderos en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	67
Cuadro 49 Toxicidad de plaguicidas usados en la subcuenca para mamíferos .....	68

Cuadro 50 Toxicidad de plaguicidas usados en al subcuenca Mopán-Chiquibul para organismos acuáticos.....	69
Cuadro 51 Movilidad de los plaguicidas en el suelo usados en la subcuenca Mopán-Chiquibul....	70
Cuadro 52 Indicadores de riesgo potencial de contaminación de fuentes de agua por las prácticas de manejo en la aplicación de plaguicidas, específicamente por la disposición de desechos y el lavado de equipo.....	71
Cuadro 53 Usos de la tierra en 2000, 2006 y 2010.....	71
Cuadro 54 Dinámica usos de la tierra considerando el 2000, 2006 y 2010.....	72
Cuadro 55 Dinámica usos de la tierra en relación a pendientes del terreno .....	77

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la subcuenca Mopán-Chiquibul al Sur de la cuenca del río Mopán, Petén .	24
Figura 2 Climadiagrama 1990-2010 estación meteorológica, Flores-Aeropuerto Mundo Maya .....	25
Figura 3 Esquema de parcela y parcela temporal para el muestreo en las fincas.....	32
Figura 4 Distribución espacial de los sitios de muestreo en la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	46
Figura 5 Distribución espacial de los sitios de muestreo en la parte media de la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	47
Figura 6 Relieve general de los sitios de muestreo de la subcuenca Mopán-Chiquibul .....	48
Figura 7 Ejemplo de una distribución de coberturas, a) área plana de maíz limpia para la siembra, b) remanentes de cobertura ribereña y c) pastura plana con árboles dispersos .....	50
Figura 8 Parcelas con maíz ( <i>Zea mays</i> ) y topografía plana con cárcavas leves: a) Por desbordamiento de río cercano, b) Por manejo inadecuado de las orillas del drenaje natural del terreno.....	52
Figura 9 (a) Pastura en topografía plana con degradación leve de senderos (b) Pastura en topografía ondulada con degradación leve de senderos (c) Pastura en topografía quebrada con degradación severa de senderos .....	56
Figura 10 Compactación de suelo en sitio de sombra utilizado por el ganado.....	57
Figura 11 Dendrograma de agrupación de categorías uso de la tierra y topografía en función de valores de indicadores.....	58
Figura 12 Plano de análisis de correspondencias entre categorías y conglomerados .....	59
Figura 13 Plano de correspondencias entre topografía y los valores de indicadores de pasturas.	60
Figura 14 Acceso directo del ganado a fuentes de agua .....	65
Figura 15 Uso de la tierra subcuenca Mopán-Chiquibul 2000, Petén, Guatemala .....	73
Figura 16 Uso de la tierra subcuenca Mopán-Chiquibul 2006, Petén, Guatemala .....	74

Figura 17 Uso de la tierra subcuenca Mopán-Chiquibul 2010, Petén, Guatemala .....	75
Figura 18 Áreas protegidas y usos de la tierra 2010, Petén, Guatemala .....	76
Figura 19 Distribución de pendientes de la subcuenca Mopán-Chiquibul, Petén, Guatemala.....	78

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Descriptores para evaluar la presencia de movimientos en masa, erosión en cárcavas, erosión en surcos y erosión laminar. Tomados del trabajo de Nieuwenhuysse y Aguilar 2010 .....	94
Anexo 2 Descriptores para evaluar la presencia y estabilidad de erosión por senderos y caminos de acceso a parcelas .....	95
Anexo 3 Descriptores para evaluar la presencia de compactación extrema en el suelo, con base en Cosgrove et al. 2001, Pellant et al. 2005, Herrick et al. 2009, Nieuwenhuysse y Aguilar 2010. ....	97
Anexo 4 Descriptores para evaluar superficie impermeable del suelo .....	97
Anexo 5 Tabla de referencia para evaluar la estabilidad del suelo superficial, tomado de Pellant et al. 2005, Herrick et al. 2009.....	98
Anexo 6 Descriptores para evaluar la contaminación de agua por sedimentos, con base en Herrick et al. 2009, Jimenez 2010, Nieuwenhuysse y Aguilar 2010. ....	98
Anexo 7 Descriptores para evaluar la contaminación del agua por fertilizantes, considerando Ng Kee Kwong et al. 2002, Spruill et al. 2002, Hook 2003, Oren et al. 2004, Airaksinen et al. 2007, Mayer et al. 2007, Ghiberto et al. 2009 y EPA 2011 .....	101
Anexo 8 Descriptores para evaluar la contaminación del agua por plaguicidas, considerando EPA 2004, WHO 2009, WHO y FAO 2010, NPIC 2011, OMS 2011, Wood 2011, IPCS 2011, IPM 2011, CIPAC 2011 y FAO 2011 .....	102
Anexo 9 Plaguicidas utilizados por parte de los productores muestreados de abril a julio .....	103
Anexo 10 Características específicas de ingredientes activos en plaguicidas .....	105
Anexo 11 Características de presencia ambiental de ingredientes activos en plaguicidas .....	106
Anexo 12 Comportamiento de ingredientes activos en suelo y agua.....	107
Anexo 13 Macroporos, bioporos y poros estructurales de los primeros 20 cm del suelo en las parcelas estudiadas (n = 38) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Anexo 14 Carbono orgánico en los primeros 20 cm del suelo de las parcelas estudiadas (n = 38) .....	63
Anexo 15 Supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para variables continuas analizadas por ANAVA.....	109
Anexo 16 Entrevista estructurada para obtener información general, variables biofísicas y socioeconómicas en fincas de los productores.....	113

## LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

SIG: Sistema de Información Geográfica  
CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
MAP: Programa Agroambiental Mesoamericano  
MESOTERRA: proyecto de Manejo Sostenible de la Tierra para América Central  
ONU: Organización de Naciones Unidas  
UTM: Universal Transverse Mercator  
GPS: Sistema de Posicionamiento Global.  
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación  
IARNA: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de Guatemala  
MAGA: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala  
MGICH: Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas  
OTN-CATIE: Oficina Técnica Nacional del CATIE  
ECAs: Escuelas de Campo para Agricultores  
CUDEP: Centro Universitario del Petén, Guatemala  
USAC: Universidad de San Carlos de Guatemala  
NRCS: National Resources Conservation Service  
MANMUNISURP: Mancomunidad del Sur de Petén, Guatemala  
COCODE: Comité Comunitario de Desarrollo, Guatemala  
INAB: Instituto Nacional de Bosques, Guatemala  
SEGEPLAN: Secretaria General de Planificación Estratégica, Guatemala  
CONAP: Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala  
IDAEH: Instituto de Antropología e Historia, Guatemala  
MARN: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala  
GPS: Global Positioning System  
USGS: United State Geological Survey  
INE: Instituto Nacional de Estadística, Guatemala  
CEMEC: Centro de Monitoreo y Evaluación del CONAP, Petén, Guatemala  
Kg: Kilogramo  
Km: Kilómetro  
m: Metro  
cmol: Centímetro  
cm: Centímetro  
qq: Quintales

\$. Dólar americano

Q: Quetzal, moneda de Guatemala

OMS: Organización Mundial de la Salud

WHO: World Health Organization

INSIVUMEH: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala

## 1. INTRODUCCIÓN

Se estima que 1500 millones de personas en el mundo dependen directamente de tierras en proceso de degradación (FAO 2008). Para Guatemala, en las últimas décadas es notorio el incremento de la superficie de tierras usadas para pastos y cultivos en detrimento de áreas con coberturas de bosque (IARNA 2006). En caso de usar tierras con limitaciones, se puede generar el sobre uso de la tierra y afectar su capacidad productiva, deteriorar la estabilidad ambiental (especialmente el ciclo hidrológico local), y aumentar el riesgo de derrumbes y azolvamientos de dimensiones graves (IARNA 2006).

En relación al recurso agua, en el territorio guatemalteco confluye suficiente agua para satisfacer la demanda de toda la población, no obstante, existen serias limitaciones para satisfacerla en los sitios de consumo en el momento oportuno y con la calidad mínima requerida.

La situación respecto a los usos de la tierra y su impacto sobre el recurso hídrico y edáfico en el departamento del Petén mantiene una tendencia al deterioro de estos recursos. Esta situación está estrechamente vinculada con el proceso de colonización de Petén en las últimas décadas (MAP 2009). Se estima que 40% del área destinada a la actividad agropecuaria tiene un cierto nivel de degradación y las causas principales son el sobreuso de la tierra, incendios forestales y sobrepastoreo (MAP 2009).

En la parte sur de la cuenca del río Mopán en Petén se localiza la subcuenca Mopán-Chiquibul donde drenan los ríos con el mismo nombre. La producción predominante en la subcuenca es la agricultura y ganadería, pero los niveles de productividad son considerados bajos. En la subcuenca, se ha reportado una reducción en la disponibilidad de recursos arbóreos para leña y construcción y se señala una disminución en la disponibilidad de fuentes de agua y el deterioro en la calidad para muchas de las fuentes de agua (Pezo, 2009).

Sin embargo, hasta la fecha no se ha hecho un esfuerzo para medir indicadores específicos de la degradación del suelo y contaminación del agua como los que están relacionados con la erosión hídrica del suelo y la contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas.

Por lo tanto, el presente estudio pretende conocer el estado actual de estos procesos en los usos agropecuarios dominantes de la subcuenca Mopán-Chiquibul y además identificar tendencias en la expansión de estas actividades. El estudio busca brindar un marco referencial para los actores de la gestión territorial en la subcuenca y generar herramientas prácticas de aplicación en la toma de decisiones para el manejo de sistemas agropecuarios.

La presente investigación se enmarca en los objetivos del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP) y el proyecto Manejo Sostenible de Tierras para América Central (MESOTERRA), que tienen como objetivo que organizaciones locales, nacionales y regionales tengan las herramientas, el conocimiento y la capacidad para implementar innovaciones tecnológicas, políticas y programas para el desarrollo y promoción de un manejo sostenible de la tierra que mejora los medios de vida rural (MAP 2009 y MESOTERRA 2010).

## **1.1. Objetivos del estudio**

### **1.1.1. General**

Evaluar el riesgo potencial de los sistemas agropecuarios de la subcuenca Mopán-Chiquibul donde se produce erosión por procesos hídricos y contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas.

### **1.1.2. Específicos**

- A.** Describir las condiciones de manejo de los sistemas granos básicos y pasturas de la subcuenca Mopán-Chiquibul.
- B.** Evaluar el riesgo potencial de los sistemas granos básicos y pasturas de la subcuenca Mopán-Chiquibul de producir degradación del suelo por erosión hídrica.
- C.** Evaluar el riesgo potencial de los sistemas granos básicos y pasturas de la subcuenca Mopán-Chiquibul de contaminar el agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas
- D.** Identificar posibles tendencias en el uso de la tierra y posible relación con la degradación de los recursos suelo y agua en la subcuenca Mopán-Chiquibul.

### **1.1.3. Preguntas orientadoras**

- A.1.** ¿Qué características en la distribución de los usos de la tierra en granos básicos y pastura presentan las fincas?
- A.2.** ¿Cuál es la forma de administración de los sistemas productivos en las fincas?
- A.3.** ¿Qué percepción tienen los productores con respecto al manejo de sus sistemas productivos y su impacto en el ambiente?
- B.1.** ¿Qué características in situ son las más perceptibles, vinculadas a posibles riesgos de impacto por degradación del suelo con la erosión hídrica?
- B.2.** ¿Qué nivel de riesgo potencial presentan los sistemas agropecuarios para la degradación del suelo por erosión hídrica?
- B.3.** ¿Qué variables de manejo se identifican relevantes al riesgo potencial por erosión hídrica del suelo?
- C.1.** ¿Qué características in situ son las más perceptibles, vinculadas a riesgos potenciales de contaminación del agua con sedimentos, fertilizantes y plaguicidas?
- C.2.** ¿Qué nivel de riesgo potencial presentan los sistemas agropecuarios para la contaminación del agua causada por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas?
- C.3.** ¿Qué variables de manejo se identifican relevantes al riesgo de impacto sobre la contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas?
- D.1.** ¿Cuál ha sido la tendencia en el uso de la tierra en los últimos 10 años en la subcuenca?



**D.2.** ¿Cuál es la cantidad y distribución de las áreas con mayor riesgo a la erosión hídrica de suelos?

**D.3.** ¿Cuál es la cantidad y distribución de las áreas con mayor riesgo a los efectos negativos sobre el recurso hídrico?

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. El proceso de degradación del agua y suelo

En condiciones naturales, sin el impacto de las actividades humanas, el suelo es usualmente cubierto con vegetación y el agua mantiene condiciones apropiadas en cantidad y calidad para el ecosistema. Las hojas y ramas mantienen una capa superficial de materia orgánica en descomposición, mantiene macro y micro organismo y que brinda protección. Mientras las raíces arriba y abajo de la superficie penetran el suelo entrelazándose entre ellas. Se tiene un horizonte (A), que puede tener un color oscuro por su riqueza en materia orgánica, siendo el suministrador principal de nutrientes para las plantas, y un desarrollo bueno y estable que permite la absorción y almacenamiento de buenas cantidades de lluvia (FAO 1983, Busu et al. 2008, Matin et al. 2008).

Si la cobertura vegetal es removida, para cultivar, o por sobrepastoreo o incendios, cambios en el suelo son evidentes. La magnitud del cambio depende de la temperatura, topografía, lluvia, tipo de suelo y el manejo. En la ausencia de materia orgánica, la estructura del suelo y su fertilidad se deteriora. Considerando que la cobertura forestal es en la cual menos impactos en la degradación del suelo y contaminación del agua se espera (Chouliaras et al. s.f., Marinow et al.2005, De Paz et al. 2005, De Souza Netto et al. 2008, y Zhang et al. 2010). En suelos descubiertos la lluvia golpea la superficie y separa las partículas de suelo, lavando corriente abajo las partículas más finas, creando pequeñas grietas o aberturas en el suelo (Marinow et al.2005, De Paz et al. 2005 y De Souza Netto et al. 2008).

En estos procesos de degradación que ocurren en un tiempo corto comparativamente con la formación del suelo la capa de suelo arable se vuelve corácea o endurecida, con alta proporción de arena y rocas, y los poros del horizonte B están bloqueados. Debido al impedimento de drenaje en el horizonte B, y el suelo fértil es cada vez más delgado, la capa arable se satura con mayor facilidad, en esta condición la separación de partículas y su transporte es cada vez más fácil, así también, la escorrentía superficial es mayor. Más agua de escorrentía tiene mayor potencial de arrastrar el suelo el cual ahora tiene menos cohesión (Ward et al. 2000, Wezel y Bender 2004, Beyene et al. 2006, Solomon et al. 2007 y Chizana et al. 2007).

Por tanto, la profundidad de suelo se reduce cada vez más rápido y fácil, primero el suelo superficial es degradado y removido y después las otras capas de suelo, hasta llegar a los horizontes bajos cubiertos con un poco de subsuelo y una alta proporción es arena y rocas. Este tipo de suelos degradados no tienen estructura, sin materia orgánica, baja infiltración, baja capacidad de almacenamiento de agua y baja fertilidad. Naturalmente tienen poca capacidad de producción de biomasa. Las partículas de suelo (arena, limo y arcilla) son lavadas corriente abajo y depositadas en las áreas bajas, depresiones y corrientes de ríos, causando problemas de drenaje (FAO 1983, Busu et al. 2008, Matin et al. 2008, Aburas et al. s.f.).

### 2.2. Tipos de degradación del suelo

Diferentes fuerzas degradantes, sean éstas naturales e inducidas, generan los siguientes tipos de degradación del suelo:

- ✓ Degradación por erosión hídrica
- ✓ Degradación por erosión eólica
- ✓ Degradación química, por salinización, sodificación o acidificación
- ✓ Degradación física, por induración, laterización o compactación
- ✓ Degradación biológica, por mineralización y translocación

En esta investigación se focaliza la atención al primer tipo de degradación.

### **2.3. Degradación por erosión hídrica**

Considerando la erosión laminar como una remoción uniforme de suelo sobre toda la superficie del terreno y que no es usualmente notable. La erosión en canales es generalmente el siguiente paso después de la erosión laminar. Donde exista una concentración de agua, los canales con algunos centímetros de profundidad se forman. Las anteriores erosiones no son perceptibles suficientemente cuando los terrenos son cultivados frecuentemente, por tanto, no se advierte la existencia de daños por erosión. La erosión en cárcavas se refiere a canales más anchos y profundos que los anteriores que son suficientemente grandes como para no poder ser corregidos con prácticas agrícolas normales (FAO 1983, Iñiguez y Tejada 1993, Marinov 2005, Chizana et al. 2007, Nieuwenhuys y Aguilar 2010).

La erosión hídrica se puede considerar en dos partes; primero la separación de las partículas de suelo, y segundo su transporte o remoción por la escorrentía. Los factores físicos de mayor control para la erosión hídrica son cinco.

- a. Precipitación pluvial
- b. Vegetación o cobertura del suelo
- c. Topografía
- d. Tipo de suelo
- e. Orientación y aspecto de la pendiente

### **2.4. Reconociendo signos de erosión y degradación del suelo**

Usualmente no se reconoce este fenómeno, por ser parte cotidiana de agricultores. Una vez señalados los signos el reconocimiento del estado de las tierras es más fácil (FAO 1983, Magisoni 2004, Marinov et al. 2005, Busu et al. 2008, Perugini et al. 2009, Nieuwenhuys y Aguilar 2010).

#### **Los signos para una erosión muy reciente**

- ✓ En terrenos de cultivos, especialmente después de cosechar, y en pastos, matorrales y bosque, pequeños almacenamientos de suelo se pueden observar en contra la pendiente en forma lineal o bien en pequeños obstáculos de plantas o raíces.
- ✓ En terrenos de cultivos, el lavado de suelo, exposición de raíces en el extremo superior de los surcos después de tormentas, deposición de limo y arena en el extremo inferior de terrenos, perpendicular a caminos, a lo largo de drenajes y surcos.
- ✓ Canales y surcos en sentido de la pendiente. A cierta distancia de cima uno o más de estos surcos pueden unirse y formar cárcavas de 20 a 40 cm de ancho, en las cuales todo o parte del suelo arable ha sido removido. Muchas toneladas de suelo puede ser lavado de los terrenos de esta forma durante una tormenta, pero la evidencia puede ser ocultada en algunas semanas cubierta por el cultivo, y existe remoción para el próximo cultivo.
- ✓ En pastos es necesario observar más de cerca por evidencia, pero depende de la pendiente y de la densidad de cobertura del pasto. Signos de canales y lavado superficial pueden ser observados en la parte superior de la colina. El inicio de cárcavas puede ser observado a dos tercios pendiente abajo del terreno. Parches de depósitos recientes de arena y limo pueden ocurrir en el pasto cercano al pie de la pendiente o bien donde la pendiente cambia a menor gradiente.
- ✓ Agua turbia en los drenajes, riachuelos y ríos son un seguro signo de daño reciente.
- ✓ Signos de erosión eólica en un terreno cultivado se presenta en parches de suelo endurecido donde la pérdida de material ha sido por corrientes de viento, también en pequeñas cantidades de polvo y arena en surcos y depresiones. En sitios la raíz de plantas está expuesta y en otras pequeñas plantas están casi enterradas. Grupos de plantas muertas y pequeños arbustos están apilados en obstáculos y adentro de agujeros.

## **Evidencia de erosión de largo plazo y degradación**

- ✓ Muchas rocas en la superficie del suelo (cierta profundidad de suelo ha sido lavada pero las rocas son remanentes); una capa delgada de suelo con rocas en la superficie y pequeña vegetación sobrevive entre rocas; colinas de roca desnuda y terrazas erosionadas abajo.
- ✓ Cambios en la textura y estructura. Un suelo degradado tiene una estructura pobre, poca cantidad de materia orgánica (por tanto color más claro), textura más gruesa. Son más arenosos (pérdida de partículas finas) o más compactos e impermeables (pérdida de suelo superficial) o ambos casos. Cuando no se cultiva este terreno, parece baldío y duro.
- ✓ Acumulación de suelo en pequeños drenajes y valles. Esto es visible por una apreciable reducción de la pendiente, diferentes colores de suelo, diferente cobertura vegetal y mayor contenido de humedad.
- ✓ Sobre las pendientes hay una acumulación de suelo en árboles sobre la ladera, adyacentes a los troncos, y pérdida de suelo en la parte baja. Si la pérdida de suelo ha sido severa las raíces de los árboles pueden estar total o parcialmente expuestas.
- ✓ Poca cobertura vegetal usualmente indica más o menos degradación o suelo erosionado, por tanto, la causa inmediata puede ser sobrepastoreo, fuego, o incluso sequías.
- ✓ Terrazas de banco o bien gradas entre un sitio y otro, particularmente si el límite de la parcela coincide con el límite del terreno, es también una señal que la erosión ha estado ocurriendo por largo tiempo.
- ✓ Las inundaciones más frecuentes y severas son un signo de deforestación y erosión en la zona de captación de las quebradas y ríos.
- ✓ Signos de erosión eólica en un periodo largo muestran acumulación de arena y escombros en obstáculos, detrás de arbustos y sobre el pasto o hierva. También a causa del viento se forman depresiones circulares o barridos en los árboles, arbustos y rocas o en pastura extensiva, pequeñas dunas, polvo en la atmosfera y la expansión de zonas áridas y desiertos.

Por tanto, es importante considerar indicadores o puntos de referencia para evaluar la dinámica en los procesos de degradación del suelo y contaminación del agua.

### **2.5. Los indicadores de procesos ecológicos**

Los procesos ecológicos son difíciles de observar o medir en campo debido a su complejidad. Los indicadores son componentes de un sistema cuyas características son usadas como índices de un atributo que es muy difícil, inconveniente o costoso de medir (Pellant et al.2005).

Las mediciones cuantitativas deben de hacerse cuando se necesita evaluar documentalmente la comparación entre otras localidades, o cuando los datos del monitoreo son requeridos para determinar la tendencia del mismo proceso en evaluación. Los indicadores cuantitativos pueden estar correlacionados con indicadores cualitativos, pero en algunos casos no existe equivalencia de los indicadores cuantitativos. Siendo que algunas propiedades de los ecosistemas se muestran mejor con lo cualitativo que con lo cuantitativo (Pellant et al. 2005).

Entre Pellant et al. 2005 y Herrick et al. 2005 concuerdan en la idea de la mejor opción en un sistema de monitoreo es la selección de indicadores cuantitativos que mejor se ajustan a los atributos, en lugar de buscar la equivalencia entre indicadores cuantitativos y cualitativos.

### **2.6. Plaguicidas**

Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias que se fabrican para prevenir, destruir, repeler y mitigar cualquier plaga. Lo cual es aplicable para los insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas, roenticidas y cualquier otra sustancia utilizada para el control de plagas (EPA 2011).

Los cuales son ampliamente utilizados en los sistemas agropecuarios y por tanto es necesario en esta investigación evaluar su uso e impactos.

## 2.7. Tipos de plaguicidas químicos

**Organofosfatos:** estos afectan el sistema nervioso de organismos vivos. Por lo general son insecticidas. Usualmente no son persistentes en el ambiente.

**Organoclorados:** pesticidas persistentes en el ambiente y gran acumulación en tejidos. Entre los que se puede mencionar al DDT, aldrin, clordano, dieldrín, endrin, heptacloro, HCH, lindano, toxafeno, etc.

**Carbamatos:** afectan el sistema nervioso de organismos vivos. Se consideran una alternativa de los organofosforados y organoclorados. Tienen nula acumulación en tejidos. Por lo general, más utilizados en interiores de casas.

**Piretroides:** de fabricación sintética a partir del descubrimiento de la piretrina, como sustancia toxica natural que se presenta en los crisantemos. Afectan el sistema nervioso y usualmente son insecticidas. Entre los que se pueden mencionar la aletrina, cipermetrina, permetrina, resmetrina, tetrametrina, etc.

Existen investigaciones que reportan daños de plaguicidas, como materiales sintéticos, para la salud humana en infantes y adultos con muerte fetal, malformaciones al nacimiento, disminución de tallas en niños, nacimientos prematuros, comportamientos neurológicos, fisiológicos y físicos anormales, sutil déficit neurológico, cáncer, asma, enfermedades respiratorias y envenenamientos agudos. (Crommentuijn et al. 1999, Phillips et al. 2008, Wigle et al. 2007 y Wigle et al. 2008).

El riesgo potencial de toxicidad de plaguicidas para organismos acuáticos es importante su consideración y categorización debido a impactos negativos sobre procesos fisiológicos de los organismos, alteraciones en el equilibrio de ecosistemas y la bioacumulación de residuos de potencial daño para depredadores y el ser humano (Sánchez-Bayo et al. 2001, Margni et al. 2001, Gowland et al. 2002 y Mahboob et al. 2009).

Teniendo en cuenta investigaciones para plaguicidas, en las cuales la vida media en suelo y agua, sus efectos en ecosistemas y su fijación en suelo dependen del contenido de materia orgánica, pH, actividad de microorganismos, humedad relativa, precipitación pluvial, exposición de luz, concentraciones del plaguicida, formulaciones y método de aplicación. Lo cual debe tomarse en cuenta al momento de establecer mediciones más exactas (Castilho et al. 1999, Singh y Kumar 1999, Sánchez-Bayo et al. 2002, Oliver et al. 2003, Liyanage et al. 2005, Sobiha et al. 2005, Rocha et al. 2006 y Simal-Gándara et al. 2007).

Específicamente para algunos plaguicidas tales como, Atrazina se reporta extremada movilidad, incluso Barbash et al. 2001 y Spalding et al. 2003 reporta la contaminación de agua subterránea y sedimentos en escorrentía con residuos de Atrazina después de su aplicación durante años como herbicida. Seguido Lapwoth y Goody 2005 reporta contaminación de acuíferos con Atrazina en correlación con periodos de ascensos en los niveles del acuífero.

Leendertse et al. 2001 con 15 plaguicidas en Europa reporta para el Glifosato (organofosforado) valores de riesgo bajo o cercano a lo moderado evaluando ocho indicadores. Teniendo en cuenta que los indicadores reportan valores acumulados o con calculo aritméticos para obtener el riesgo total de diferentes variables.

Stenrod et al. 2007 presenta niveles de riesgo para lixiviación de plaguicidas en suelos de textura arenosa y arcillosa. Teniendo tres niveles de riesgo, bajo, medio y alto. El Glifosato se encuentra en el nivel medio, la Cipermetrina (piretroide) en nivel bajo y Metsulfuron metilo en nivel medio a bajo. De forma general con menor cantidad de información de plaguicidas, variables ambientales y

registros de datos probablemente se sobredimensiona el riesgo potencial de contaminación por plaguicidas.

Gan et al. 2005 investigo el riesgo del transporte de piretroides, como Deltametrina, Cipermetrina y Lambdacialotrina (consultar anexos) que tienen una movilidad significativa por arrastre en sedimentos de la escorrentía, debido a su fijación a las partículas de suelo y su afinidad con partículas finas como las arcillas. Lo cual es de alta importancia por la contaminación a fuentes de agua donde estos piretroides tienen de alta a extremada peligrosidad para organismos acuáticos.

## **2.8. Protección de cauces de agua**

La vegetación en las orillas de cauces de ríos o quebradas, mantienen estabilidad en el suelo y reducen la erosión, así también, sirven como barrera protectora de sedimentos y agroquímicos que pueden ser arrastrados por escorrentía en los terrenos.

Teniendo en cuenta que estas coberturas vegetales además de proteger y conservar el suelo y agua mantiene una estrecha relación en sus funciones ecológicas con animales benéficos (Shirley 2004 y Hood y Bayley 2009 ) o animales perjudiciales para las actividades productivas en agricultura (Deschenes et al. 2002) pero incluso las funciones ecológicas de la vegetación en fuentes de agua pueden persistir independientemente de los tipos de especies vegetales presentes (Dukes et al. 2002). Considerando que la efectividad de estas coberturas vegetales en fuentes de agua están en función de la estructura, arreglo y actividades fisiológicas como la evapotranspiración (Boothroyd et al. 2004, Nachabe et al 2005 y Nagler et al 2007).

## **2.9. Áreas protegidas en Guatemala**

Son aquellas áreas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores. De tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal manera de mantener opciones de desarrollo sostenible (Decreto 4-89, Ley de áreas protegidas).

### **2.10. Categorías de manejo**

Las áreas protegidas para su óptima administración y manejo se clasifican en: parques nacionales, biotopos, reservas de la biosfera, reservas de uso múltiple, reservas forestales, reservas biológicas, manantiales, reservas de recursos, monumentos naturales, monumentos culturales, rutas y vías escénicas, parques marinos, parques regionales, parques históricos, refugios de vida silvestre, áreas naturales recreativas, reservas naturales privadas y otras que se establezcan en el futuro con fines similares, las cuales integran el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), creado dentro de la misma ley (Decreto 4-89, Ley de áreas protegidas).

### **2.11. Planes maestros y operativos**

El manejo de cada una de las áreas protegidas del SIGAP, está definido por su respectivo plan maestro, el cual se divide con mayor detalle a planes operativos anuales, los cuales se elaboran por el ente ejecutor del área, o la persona individual o jurídica que la administra. Todos los planes maestros y operativos deben ser registrados, aprobados y supervisados por la Secretaria Ejecutiva del CONAP para verificar que se cumple con los propósitos de conservación de la ley. En caso contrario, el CONAP ejecuta acciones legales pertinentes. (Decreto 4-89, Ley de áreas protegidas).

## **2.12. Reserva de la Biósfera**

Entre las categorías de manejo de áreas protegidas en Guatemala se incluye como la VI categoría la reserva de la biósfera, que se caracterizan por ser áreas de importancia mundial en términos de sus recursos naturales y culturales. Son lo suficientemente extensas para constituir unidades de conservación eficaces que permitan la coexistencia armoniosa de diferentes modalidades de conservación, uso y aprovechamientos, sostenible de los recursos.

Con los objetivos de manejo de dar oportunidad a diferentes modalidades de utilización de la tierra y demás recursos naturales tanto el uso y aprovechamiento sostenible de recursos naturales del área con énfasis en las actividades tradicionales y actividades humanas estables, como la conservación de núcleos de conservación más estricta (Acuerdo gubernativo 759-90, Reglamento de ley de áreas protegidas).

Esta categoría contiene terrenos con diferentes tipos de ecosistemas y uso humano, para lo cual orienta su manejo a través de las siguiente zonificación:

### **a) Zona natural o núcleo**

Tiene como objetivos: la preservación del ambiente natural, conservación de la diversidad biológica y de los sitios arqueológicos, investigaciones científicas, educación conservacionista y turismo ecológico y cultural muy restringido y controlado. En estas áreas es prohibido cazar, capturar y realizar cualquier acto que disturbe o lesione la vida o integridad de la fauna silvestre. Además no se permitirán asentamientos humanos, excepto los que sean necesarios para la investigación y administración del área (Acuerdo gubernativo 759-90, Reglamento de ley de áreas protegidas).

### **b) Zonas modificables**

En estas áreas se permite la modificación del ambiente natural solo para propósitos científicos o educativos. Solo se permite la infraestructura mínima que facilite la protección, la investigación y la educación ambiental (Acuerdo gubernativo 759-90, Reglamento de ley de áreas protegidas).

### **c) Zonas de uso múltiple o sostenible, de recuperación y cultural:**

Los objetivos primordiales de estas áreas son el amortiguamiento de las áreas núcleo, el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, sin afectar negativa y permanentemente sus diversos ecosistemas. Mientras no se apruebe el Plan Maestro, no se podrán desarrollar actividades de uso y extracción de recursos, salvo el aprovechamiento tradicional efectuado por la población autóctona (Acuerdo gubernativo 759-90, Reglamento de ley de áreas protegidas).

### **d) Zona de amortiguamiento**

Toda área protegida, tiene su respectiva zona de amortiguamiento, en la cual evitarán actividades que la afecten negativamente. La delimitación y extensión de esta zona, así como las actividades que se podrán efectuar en ella, se establecen de acuerdo con las características particulares de cada área y se describen en el Plan Maestro (Acuerdo gubernativo 759-90, Reglamento de ley de áreas protegidas).

## **2.13. Hidrología en paisajes cársticos**

Donde es característico que se presente drenaje superficial de tipo subparalelo y es escaso (MAGA 2001). Debido a la rápida disolución de las rocas carbonatadas las corrientes superficiales generan puntos influentes como corrientes subterráneas.

En observaciones realizadas por 18 años en una cuenca de Austria, se identificaron los sistemas de flujo en un ambiente cárstico. Donde se resaltan dos sistemas de flujo conectados en paralelo: a) el acuífero de fisuras y poros y b) canales cársticos. El acuífero de fisuras y poros es de alta capacidad de almacenamiento y contiene agua móvil en las fisuras con agua estancada en la matriz de poros. El agua entra a este sistema desde la superficie y fluye a través de los canales de drenaje cárstico que se consideran como un sistema de flujo separado (Maloszewski et al. 2001).

La capacidad de almacenamiento de los canales cársticos es muy baja, pero toda el agua fluye a través de estos canales hasta alcanzar los manantiales o nacimientos de agua donde se descarga el sistema completo. Los canales están conectados con sumideros, que introducen directamente agua desde la superficie al sistema, lo cual representa el 17.5% del total del flujo del sistema completo (Maloszewski et al. 2001).

El flujo de agua, tiene un corto tiempo de tránsito desde su ingreso hasta llegar a los manantiales (aproximadamente un mes), como marco referencial de la amenaza potencial para la calidad del agua en los manantiales en el caso de contaminación superficial en la cuenca (Maloszewski et al. 2001).

El yeso a pesar que es una roca sedimentaria de baja carstificación con el uso de trazadores en sumideros de agua subterránea mostro velocidades de flujo similares a los acuíferos de alta carstificación. Donde los resultados sugieren un flujo de agua subterránea a través de una compleja combinación de pequeños conductos, diámetro de 10 a 1000 mm, y frecuentes fisuras laterales con aperturas de 1 a 50 mm (Maurice et al. 2006).

La evidencia de conectividad entre los conductos y las fisuras sugiere que en áreas con yeso con rápido flujo subterráneo, las fisuras conectadas a sumideros pueden estar conectadas a la red de conductos cársticos, por tanto, existe un bajo potencial de atenuar la contaminación del agua (Maurice et al. 2006).

En un sistema cárstico en Rumania se presentan diferentes cuevas formadas por la constante acción química del agua sobre la roca calcárea. Donde se presentan flujos superficiales que se introducen en la superficie para desaparecer y luego de nueve metros resurgir en algún manantial o bien formar alguna catarata (Sabo 2011).

De forma general en la modelación de un sistema hidrológico en un ambiente cárstico en la cuenca del río Krathis de Grecia. Se considera para el flujo de manantiales o nacimientos la existencia de un elevado (rápido) y bajo (lento) reservorios que representan las dos formaciones cársticas de la zona de estudio. Donde el 42% de la corriente del río se estima proveniente de los manantiales o nacimientos del sistema cárstico (Nikolaidis y Tzoraki 2007).

Las comunidades de la subcuenca Mopán-Chiquibul utilizan diversas fuentes de agua. En algunos casos utilizan el agua de los ríos Mopán y Chiquibul o sus afluentes. En otras se capta agua de nacimientos para su distribución a usuarios en las comunidades. Adicionalmente, varias fincas poseen reservorios (aguadas) para almacenar agua de lluvia o bien de nacimientos, mayormente para el consumo del ganado. El agua de ríos presenta algunos indicios de contaminación por lavado de ropa, ingreso de animales y depósito de basura (Pezo, 2009).



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1.1. Ubicación de la zona de estudio

La cuenca del río Mopán, ubicada en la vertiente del Mar Caribe, es una cuenca binacional entre el departamento de Petén en Guatemala y el distrito de El Cayo en Belice con una extensión aproximada de 8 645 km<sup>2</sup>. En la parte sur se localiza el área de estudio, en territorio guatemalteco. La subcuenca del río Mopán y el río Chiquibul tienen una extensión total de aproximadamente 2 015 km<sup>2</sup> y se ubican entre las coordenadas 89° 25' 05" N, 89° 09' 11" N y 16° 30' 43" W, 17° 03' 50" W respectivamente. Las subcuenca se localiza en los municipios de Dolores y Melchor de Mencos, Petén (figura 1).

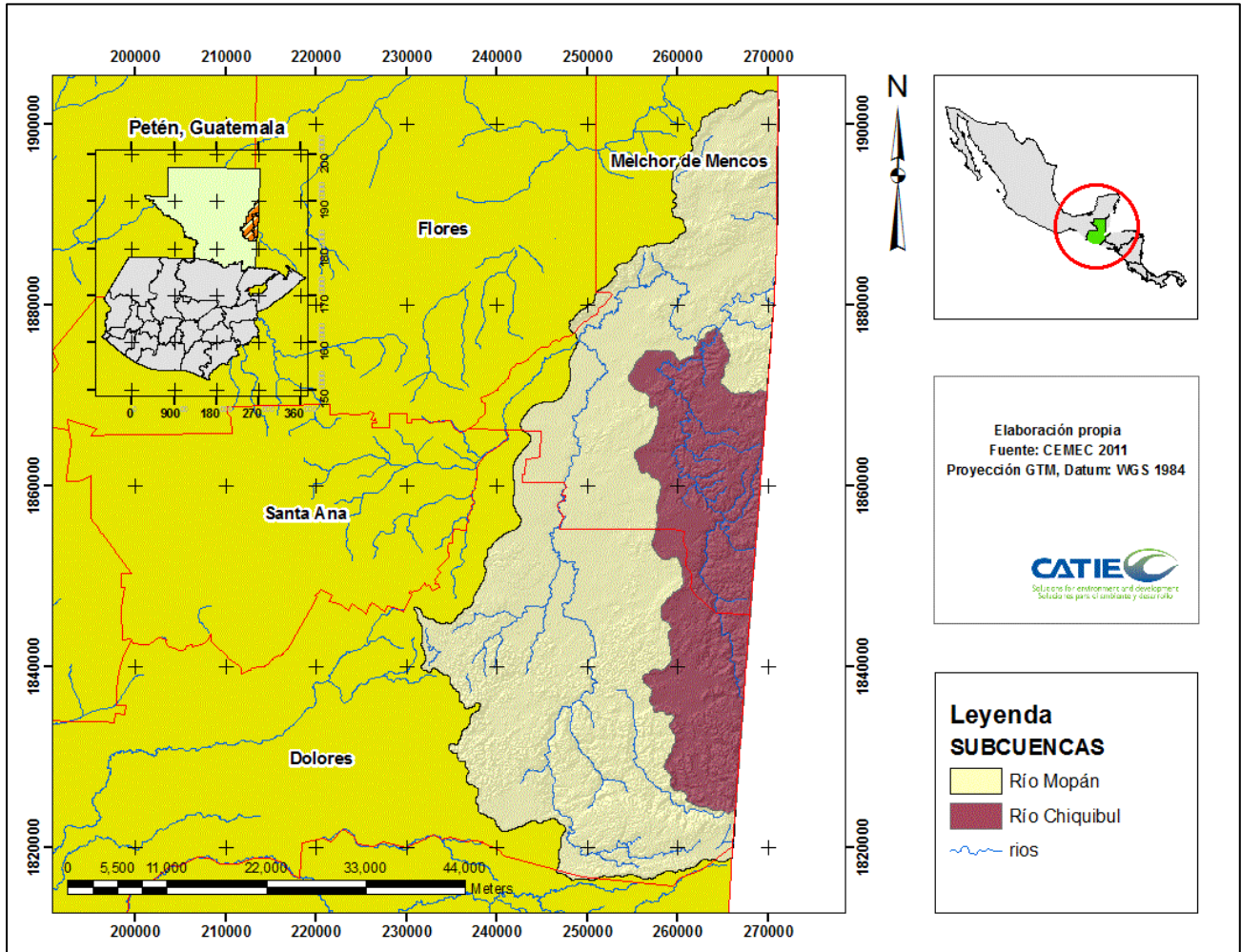


Figura 1 Ubicación de la subcuenca Mopán-Chiquibul al Sur de la cuenca del río Mopán, Petén

A continuación se describen las características generales de la zona de estudio, basado en el enfoque de capitales.

#### 1.2. Capital natural en la subcuenca Mopán-Chiquibul

##### Clima

La época lluviosa en la subcuenca comprende de junio a noviembre y la época seca de diciembre a mayo. La altitud promedio de la subcuenca oscila entre los 100 msnm a los 1000 msnm.

(CONAP 2010 e INSIVUMEH 2011). La estación meteorológica más cercana a la subcuenca es Flores (Aeropuerto Mundo Maya) ubicada a una distancia de 20 km de las comunidades en la parte baja (al Norte) y 100 km de distancia de las comunidades de la parte alta (al Sur) de la subcuenca, a una altitud de 130 msnm, y reporta para el periodo de 1990-2010 una temperatura promedio de 26.5 °C, temperatura máxima de 32.5 °C, temperatura mínima de 20.6 °C y precipitación pluvial anual de 1 745 mm (INSIVUMEH 2011, ver figura 2).

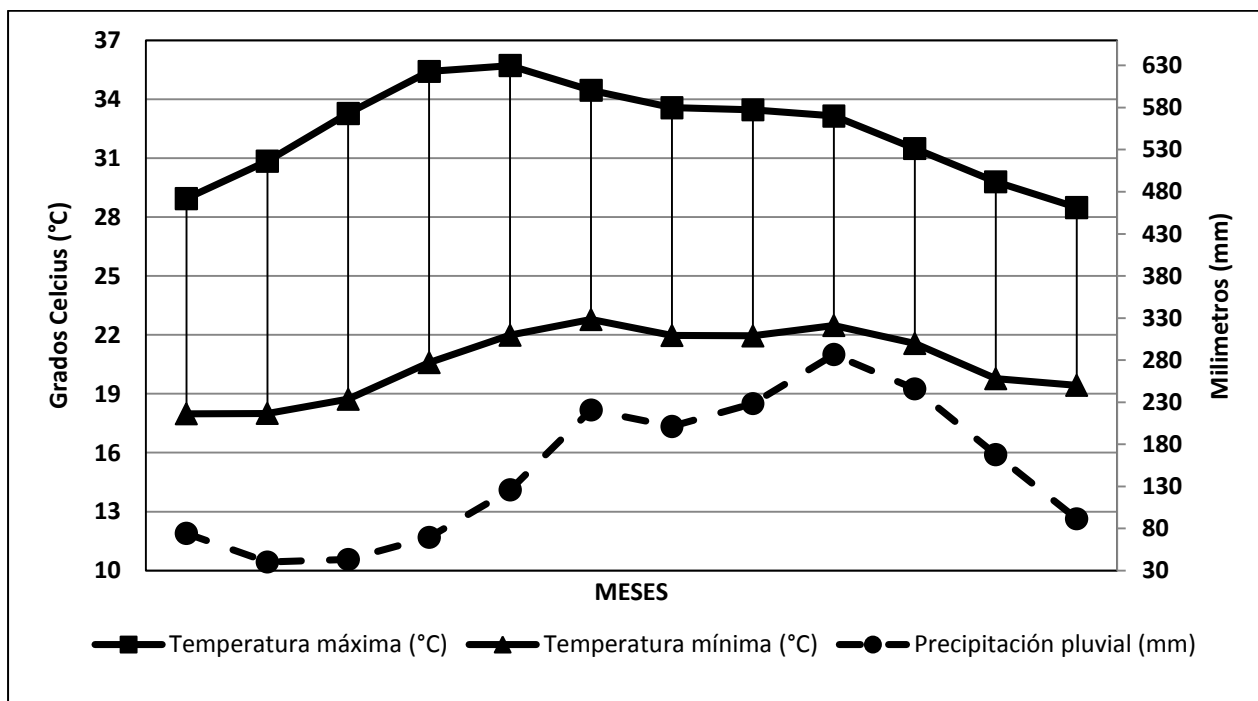


Figura 2 Climadiagrama 1990-2010 estación meteorológica, Flores-Aeropuerto Mundo Maya

La condición climática la zona permite realizar dos producciones de maíz, una sembrada en abril-junio iniciando la estación lluviosa y que es cosechada en agosto-octubre y la otra es sembrada en octubre-noviembre y cosechada en enero-febrero en la estación seca. Refiriéndose popularmente a la producción inicial como “maíz de la 1era” y a la siguiente como “maíz de la 2da” (INE 2001, SESAN et al. 2009 y MFEWS y USAID 2010). En esta investigación la recopilación de datos se realizó desde mayo a agosto, por tanto, es información referente a la producción del “maíz de la 1era”.

**Zonas de vida**

Se presentan dos zonas de vida en la subcuenca Mopán-Chiquibul, el bosque muy húmedo subtropical cálido y el bosque húmedo subtropical cálido (De la Cruz 1982 y MAGA 2001).

**Geología y fisiografía**

En forma general, la geología y fisiografía de la subcuenca Mopán-Chiquibul se divide en tres partes de Norte a Sur (MAGA 2001).

En la parte Norte, se presenta el gran paisaje de colinas cársticas<sup>1</sup> Naranjo, Tikal, Kinal extendiéndose desde Paso Caballos, Flores hasta adentrarse en Belice, al Norte del lago de Petén

<sup>1</sup> Con el nombre de cárstico se conoce a una forma de relieve originado por meteorización química de determinadas rocas que contienen mucho carbonato de calcio, como la caliza, dolomía, aljez, etc., compuestas por minerales solubles en agua. Los principales relieves cársticos se desarrollan,

Itzá hasta la frontera con México y Belice. Su edad geológica es del Terciario inferior y presenta rocas de origen sedimentario que pertenecen principalmente a la formación Santa Amelia, siendo sedimentos marinos de plataforma levantada, compuesta por dolomías, arcillas, evaporitas y brechas calcáreas, representativos del grupo Petén. La geomorfología del paisaje actual se debe al levantamiento del arco La Libertad, que provocó en la parte Norte la formación de una franja cóncava hacia el norte y áreas que quedaron encerradas, que se convirtieron en lagos y lagunas. De forma general se resaltan las características cársticas y el drenaje superficial es pobre y escaso.

Ubicados al centro de la subcuenca se presenta el gran paisaje de planicie aluvial del río Mopán. Su edad geológica es del Cuaternario y presenta depósitos aluviales, compuestos de sedimentos carbonatados que han sido erosionados, transportados y depositados por los ríos. El drenaje es superficialmente pobre y de tipo subparalelo.

Al sur de la subcuenca se presenta el gran paisaje de montañas Machaquilá Yaltutú, principalmente al Norte de Poptun. Su edad geológica es del Terciario y presenta rocas de carbonatos, constituido por calizas, dolomías y margas con origen geomorfológico por el levantamiento de los terrenos carbonatados y su posterior erosión que ha traído la disolución de calizas por efectos químicos del agua de lluvia.

### **Áreas protegidas**

En la subcuenca se ubican parte de las áreas protegidas del sur de Petén entre las cuales se encuentra la Reserva de Biósfera Montañas Mayas-Chiquibul que en la subcuenca ocupa 445 km<sup>2</sup> con su zona núcleo y su zona de amortiguamiento 474 km<sup>2</sup>. Otra área protegida en la subcuenca es la Reserva de Biósfera Maya (RBM) con su área de usos múltiples de 202 km<sup>2</sup> y su zona de amortiguamiento con 283 km<sup>2</sup>. Estas áreas incluyen remanentes protegidos de los ecosistemas que existieron antes del proceso de colonización del departamento de Petén (MAP 2009 y MAGA 2001). Los restantes 611 km<sup>2</sup> de la subcuenca es área que se encuentra fuera de áreas protegidas.

Existen regulaciones<sup>2</sup> para el manejo de estas áreas protegidas y otras áreas de bosque, pero no existen mecanismos eficientes de control para evitar el uso inapropiado de los recursos naturales en dichas áreas (Pezo, 2009). Siendo las zonas de amortiguamiento donde existen menos restricción para la producción agrícola y ganadera.

Los objetivos de manejo en la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biósfera Montañas Mayas-Chiquibul son el minimizar las presiones hacia lo interno del área protegida, contribuir mediante la realización de actividades productivas y económicas a elevar el nivel de vida de sus habitantes, favorecer el desarrollo de actividades productivas y económicas encaminadas al aseguramiento y fomento empresarial e industrial, permitir la conservación de los recursos naturales mediante el desarrollo de actividades agropecuarias y agroforestales y dar certeza jurídica sobre la tenencia y uso de la tierra (CONAP 2004).

El objetivo de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM) es aliviar la presión sobre la RBM mediante la estabilización de usos apropiados de las tierras y los recursos naturales en el área adyacente a la zona núcleo y a la zona de usos múltiples, así como en función de los elementos de conservación. En esta zona se orientará a las comunidades vecinas a través de programas de educación ambiental y extensión rural, hacia formas de uso sostenible de las

---

principalmente, sobre calizas y dolomías, ya que son las más abundantes (de este tipo) en la naturaleza, aunque también los encontramos en series masivas de evaporitas (yeso, sal gema).

<sup>2</sup> Ley de áreas protegidas, Decreto legislativo 4-89; Reglamento de ley de áreas protegidas, Acuerdo gubernativo 759-90.

tierras que no dependen de la explotación de los recursos naturales de la RBM y con ello, permitir su conservación (CONAP 2001).

### **1.3. Capital humano en la subcuenca Mopán-Chiquibul**

La población de Poptun es de 35 663 habitantes, de Dolores es de 32 404 habitantes y de Melchor de Mencos 18 872. El 75% de la población del municipio de Dolores se encuentra en el área rural, el 59.5% en área rural de Poptun y 45.4% en área rural de Melchor de Mencos. Los grupos étnicos que se encuentran presentes en los municipios de Petén para la subcuenca Mopán-Chiquibul son los Mayas: Quekchí, Mopán, Quiché y Ch'ortí, y Ladinos como el grupo mestizo con españoles (SEGEPLAN 2011).

Las actividades que realizan son la población indígena el cultivo de granos básicos, venta de mano de obra, artesanías y comercio. Pero los Ladinos se dedican principalmente a la actividad ganadera, venta de mano de obra y comercio (INE, 2001). Actualmente los grupos religiosos son los católicos y evangélicos (MAP, 2009 y MAGA, 2001). La población indígena (Quekchí, Mopán, Quiché y Ch'orti) conforma el 35.9% de los habitantes de Poptun, 14.8% en el caso de Dolores y 3.1% para Melchor de Mencos (MAP, 2009).

El porcentaje de pobreza en Poptún es 74%, en Dolores es de 56% y Melchor de Mencos de 40%. A nivel departamental (Petén) el nivel de pobreza es de 55% (SEGEPLAN 2011). De forma general en Guatemala a la población indígena se le ha marginado el acceso de educación, salud y tenencia de la tierra lo cual se vincula con efectos de pobreza. En la subcuenca, el municipio más poblado, con mayor porcentaje de población indígena y mayor índice de pobreza es Poptun. El porcentaje de pobreza extrema en Poptún es de 19.6%, Melchor de Mencos 8.2% y Dolores 6.8%. A nivel departamental (Petén) el nivel de pobreza extrema es 16%. (INE 2001).

El nivel de índice de desarrollo humano (IDH) es menor al 0.5 en todos los municipios. Con excepciones como Dolores de 0.567, en Melchor de Mencos 0.649 y en Poptun 0.638. La población se caracteriza por altos índices de crecimiento, bajo nivel educativo con tasas de analfabetismo superiores al 60% (MAP, 2009).

### **Migración**

En 1960 las políticas de Estado incentivaron la colonización del Petén, provocando movimientos de inmigrantes Ladinos provenientes del oriente y costa sur de Guatemala, los Mayas de la región norte y noreste del país y una ausencia relativa de inmigrantes del altiplano occidental (INE, 2001)

La población de Petén creció de 25,000 en 1960 a casi 550,000 en el año 2,000 (INE 2001). Cifras de crecimiento poblacional muy alto de 1970 con 50,000 habitantes a 1990 con 300,000 habitantes y reduciendo esta tendencia el periodo de 1990 a 2002 con 351,000. El 60% del crecimiento poblacional ha ocurrido al sur de Petén y el restante 40% al norte (SEGEPLAN 2011).

Las tasas de migración pueden estar bajando levemente desde 1995/1996. Sin embargo, la desaceleración ha coincidido con el incremento de "invasiones" de áreas protegidas. La buena noticia es que relativamente poca gente está invadiendo áreas núcleo de la Reserva de la Biósfera Maya. La mala noticia es que los invasores vienen desde dentro de Petén, por lo cual una disminución de la migración hacia Petén no significará necesariamente una desaceleración de las invasiones (INE 2001).

Con alto porcentaje de campesinos sin tierra y la creciente concentración de la tierra en Petén se acentúan las migraciones humanas y la expansión de la frontera agrícola y pecuaria. La movilización frecuente tanto inmigrantes como Peteneros, sugiere que la fertilidad de su tierra se

está agotando lo cual también fomenta la migración hacia áreas protegidas (INE 2001 y SEGEPLAN 2011).

Aún sin más inmigración, las altas tasas de crecimiento demográfico, la juventud de la población y el alto porcentaje de personas que dependen de la agricultura sugieren que para el futuro, los campesinos tendrán que subdividir su tierra para proveer a sus hijos lo suficiente para sobrevivir. De lo contrario, éstos tendrán que abandonar Petén o invadir las áreas protegidas, salvo el caso por supuesto, de cambios radicales en la estructura económica de Petén (INE 2001).

En general, los Peteneros son significativamente mejor educados y por lo tanto tienen mejor acceso a trabajos no agrícolas que los inmigrantes Ladinos, los cuales a su vez están un poco mejor educados que los inmigrantes Mayas (indígenas). Las personas con más educación que trabajan fuera de la agricultura tienden a residir en los asentamientos más urbanizados de Petén (INE 2001).

La migración poblacional hacia Petén se concentra en el Norte, Nororiente y Suroriente del departamento siendo en estas dos últimas zonas donde se localizan los límites de la subcuenca Mopán-Chiquibul, considerando la densidad población de la subcuenca en categoría media (INE 2001). Los municipios del sur de Petén (es decir, San Luis, Sayaxche, Poptún y Dolores) fueron más populares como destinos primarios hacia Petén que como destinos secundarios desde el interior del departamento, lugares donde fue promovida la colonización en 1970 (INE 2001 y SEGEPLAN 2011).

#### **1.4. Capital social en la subcuenca Mopán-Chiquibul**

Las formas predominantes de organización a nivel comunitario en Guatemala son los COCODEs (Comités Comunitarios de Desarrollo), comités (ej. agua, festividades, avícola), asociaciones (ej. mujeres, ganaderos, vecinos) y en menor medida cooperativas orientadas principalmente al mejoramiento comunitario.

Los COCODEs legal y técnicamente no están diseñados para ejecutar y administrar proyectos de generación de empleo e ingresos a escala comercial y en forma sostenible. Únicamente existen para promover, facilitar y apoyar la organización y participación efectiva de la comunidad y sus organizaciones.

Existen 30 proyectos y organizaciones relacionados a producción agropecuaria, desarrollo rural y manejo de recursos naturales presentes en esta región (MAP, 2009).

#### **1.5. Capital político en la subcuenca Mopán-Chiquibul**

Las organizaciones de gobierno como el MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) que formula y gestiona proyectos productivos, el INAB (Instituto Nacional de Bosques) y la MANMUNISURP tienen una tendencia a debilitarse por falta de recursos y de personal. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación) está cada vez más fuerte y CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) se está fortaleciendo porque su presupuesto se incrementó y por lo tanto su presencia en el área también. En el municipio de Dolores está la presencia del IDAEH (Instituto de Antropología e Historia) que tiene a su cargo los sitios arqueológicos y cuenta con un museo regional en el municipio (MAP, 2009).

Los municipios de Dolores, Melchor de Mencos y Poptún forman parte de la mancomunidad de municipalidades MANMUNISURP (Mancomunidad del Sur de Petén) que tiene una estructura administrativa, que integra proyectos e instituciones para formular y ejecutar propuestas en desarrollo rural y manejo de recursos naturales (MAP, 2009).

## **1.6. Capital productivo y financiero en la subcuenca Mopán-Chiquibul**

El ingreso familiar es derivado de actividades agropecuarias y en parte por actividades secundarias (venta mano de obra entre comunitarios, venta de alimentos preparados y servicio comunicación telefónica) y venta de productos silvestres. Una pequeña parte proviene del trabajo asalariado. La actividad económica en la subcuenca está basada en la producción agropecuaria, rubro que ocupa el 65% de las tierras. Los cultivos anuales más importantes son el maíz y frijol (MAP, 2009, Pezo, 2009 e INE, 2001).

El cultivo del maíz, el cual es la base de la dieta y el principal producto agrícola que Petén exporta al resto de Guatemala (le sigue el frijol y la pepitoria). Los otros productos importantes son el ganado, el petróleo, la madera, el xiate y el turismo (INE 2001).

El total de hato de ganado bovino para Petén se estima de 315,800 cabezas, de los cual del municipio de Dolores corresponden 66,000 (21%), Poptun corresponden 15,700 cabezas (5%) y Melchor de Mencon 23,500 cabezas (7%) (SEGEPLAN 2011).

La población de los municipios de Poptun y Dolores se dedica a cultivos de granos básicos y actividades extractivas de xiate (*Chamaedorea spp.*) para la subsistencia. El estrato medio de la población se dedica a ofertar su fuerza de trabajo a instituciones, a la ganadería extensiva (Melchor de Mencos y Dolores) y al comercio. El estrato con mayores ingresos se dedica a la compraventa de la tierra (MAP, 2009, Pezo, 2009 e INE, 2001).

## **1.7. Infraestructura pública en la subcuenca Mopán-Chiquibul**

De la infraestructura pública, el servicio de educación es el que tiene 70% de presencia en el territorio, seguido por los caminos rurales que en su mayoría sólo se pueden transitar con vehículos de doble tracción. El 91% de las comunidades no tienen un puesto de salud y su población es atendida en otros pueblos. Además, en su mayoría tienen promotores de salud que atienden enfermedades menores (ej. diarreas, mareos, fiebres, vómitos, heridas superficiales) y “comadronas” (atienden los partos) (MAP, 2009 y MAGA, 2001).

En la subcuenca se presentan cuatro centros urbanos (Dolores, Poptun, Melchor de Mencos y Santa Ana) de mayor importancia, por ser cabeceras municipales y tienen una cobertura del 95% de su poblaciones con servicios de electricidad, telecomunicaciones, accesibilidad permanente y agua potable. En comparación a comunidades más lejanas a estos centros el servicio de electricidad es inexistente, las telecomunicaciones para el 2011 se realizan mayormente por celulares, el transporte público está sujeto a dos veces por día, las carreteras recientemente (2010) han tenido mantenimiento municipal y el agua es entubada de nacimientos en los terrenos de cada comunidad.

## **1.8. Procedimientos metodológicos**

### **1.8.1. Definición de las unidades de muestreo**

En las subcuencas del río Mopán y río Chiquibul se trabajó en la parte alta, media y baja, específicamente en las comunidades de Valle La Esmeralda, Los Limones, Xaan, La Nueva Unión y El Cruzadero.

En época seca se realizó recorridos de campo para identificar fincas de muestreo y productores, con lo cual se definieron dos usos del suelo predominantes del área, ver cuadro 1. Además, se aprovecharon los recorridos de campo para ajustar la metodología. Luego, en la época lluviosa (de junio a agosto), se visitaron las fincas y parcelas seleccionadas para realizar entrevistas con las familias propietarias y para realizar las observaciones de campo de suelo y aguas.

Cuadro 1 Diferentes usos de la tierra a considerar a nivel de parcela

Tipo de uso de la tierra a nivel de subcuenca	Tipo de uso de la tierra a nivel de parcela	Generalidades	Características de manejo
Agricultura anual	<b>Granos básicos</b>	Cultivos de subsistencia, tales como maíz, frijol, hortalizas u otros cultivos de ciclo anual. Con mayor frecuencia el maíz ( <i>Zea mays</i> ).	Sembrados en dependencia de la humedad presente en el suelo y haciendo uso de plaguicidas y herbicidas.
Sistemas pecuarios	<b>Pastos mejorados</b>	Áreas habilitadas para el pastoreo animal, con la presencia de gramíneas de mayor productividad que las naturales. Con mayor frecuencia se encuentra la especie <i>Brachiaria brizantha</i> .	Manejando la carga animal en función a conocimientos empíricos de la producción de pastos y haciendo uso de herbicidas.
Bosque	Bosque	Dominancia de especies leñosas en al menos el 70% del área total considerada.	Se realiza extracción selectiva de madera y leña.

Fuente: adaptado de MAGA 2006, Pezo 2009, MESOTERRA 2010 y UVG et al 2011.

En total, se seleccionaron 21 fincas y en estas fincas, 38 parcelas de muestreo. Solamente se seleccionaron parcelas con condiciones biofísicas y de manejo similar, es decir, homogéneas. Se buscó parcelas con una superficie mínima de 2 hectáreas en producción ganadera con pasto mejorado y parcelas para producción agrícola con una superficie mínima de 1 hectárea. Además, se tomó en cuenta la pendiente de la parcela o potrero al momento de la selección, distinguiendo tres tipos de pendiente como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2 Rangos de pendiente en las parcelas

Clasificación	Rango % de pendiente	Generalidades
Plana	0 a 10%	La probabilidad en sistemas agropecuarios de presentarse erosión hídrica es baja.
Ondulada	11% a 30%	Existe cierta probabilidad en sistemas agropecuarios de presentarse erosión hídrica.
Quebrada	>30%	La probabilidad en sistemas agropecuarios de presentarse erosión hídrica es alta.

### 1.8.2. Caracterización general del uso de la tierra con fines agropecuarios a nivel de parcela

Después de seleccionar las unidades de muestreo, se realizó la recolección de datos generales de cada parcela, como se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3 Datos generales levantados de cada parcela o potrero de medición

<b>Granos básicos (<i>Zea mays</i>)</b>	Nombre del propietario	<b>Pasto mejorado (<i>Brachiaria brizantha</i>)</b>	Nombre del propietario
	Ubicación en la subcuenca		Ubicación en la subcuenca
	Coordenadas UTM		Coordenadas UTM
	Altura en msnm		Altura en msnm
	Pendiente en %		Pendiente en %
	Rumbo de la pendiente		Rumbo de la pendiente
	Topografía		Topografía
	Semillas por postura		Tiempo de uso actual en años
	Distanciamiento de siembra en metros		Tiempo de ser propietario en años
	Edad del cultivo en meses		Cobertura vegetal del pasto en %
	Altura del cultivo en centímetros		Cobertura vegetal de otras plantas en %
	Tiempo de uso actual en años		Suelo desnudo en %
	Tiempo de ser propietario en años		Cobertura arbórea en %
	Cobertura vegetal del cultivo en %		Código de identificación
	Cobertura vegetal de otras plantas en %		
Suelo desnudo en %			
Cobertura arbórea en %			
Código de identificación			

Para la obtención de los porcentajes de cobertura del suelo, se delimitó una parcela temporal de una hectárea, pero con una forma variable (Ver figura 3). En dicha parcela con el uso de un marco metálico de 50 cm x 50 cm se realizaron 60 observaciones aleatorias para obtener los datos promedio de cobertura del suelo.

Para la medición de la cobertura arbórea, se realizó la medición del diámetro de copas al 10% de los individuos presentes y obtener un promedio, para posteriormente con el conteo total de individuos en el sitio, se obtuvo un total de cobertura de copas de árboles y con ello el porcentaje de cobertura arbórea en relación al área total de la parcela o potrero.

Mediante dialogo semiestructurado (Geilfus 2005) con el productor se obtuvo información relacionado con prácticas de manejo de cultivo, como son distanciamiento usado en la siembra, fechas de siembra y cosecha, condiciones climáticas que relaciona el productor con su actividad agrícola, aplicación de fertilizantes o abonos, uso de plaguicidas, labranza de terrenos y combinaciones con otros cultivos en la producción (Casey y Paolisso 1996). En la medida posible, se corroboró esta información con observaciones de campo.



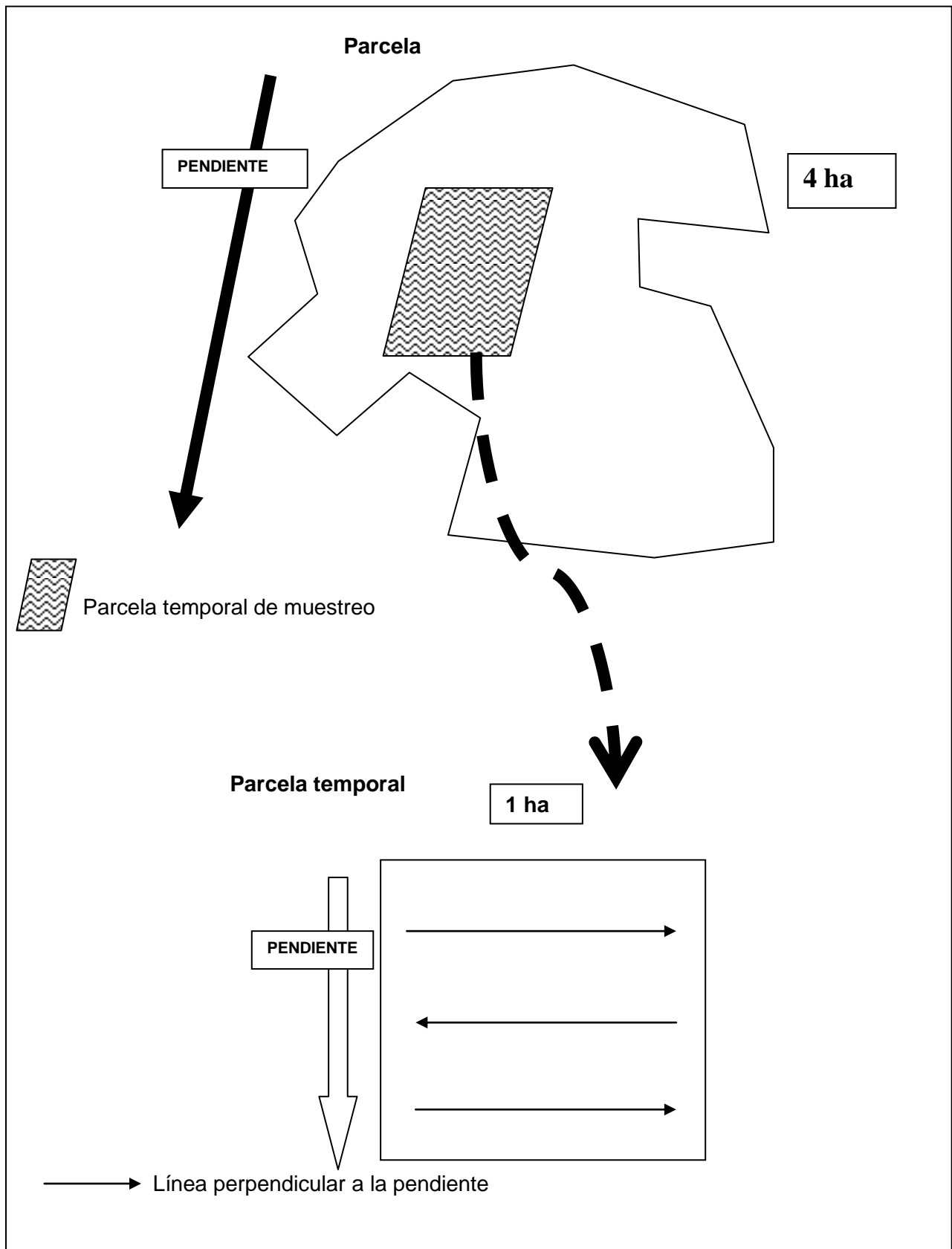


Figura 3 Esquema de parcela y parcela temporal para el muestreo en las fincas

### 1.8.3. Indicadores de degradación del suelo por erosión hídrica

Se utilizaron 11 variables relacionadas con degradación del suelo, para tener indicadores categóricos de valoración, indicadores cuantitativos y elementos de utilidad en la descripción y discusión de resultados (ver cuadro 4).

Cuadro 4 Indicadores relacionados con la degradación del suelo

Indicador	Generalidad	Datos tomados en:
Presencia de erosión en forma de movimientos en masa	Como deslizamientos y derrumbes. Principales factores causantes geología y clima. Es posible que plantas con raíces superficiales favorezcan la ocurrencia de estos movimientos.	Granos básicos y pastura
Presencia de erosión en cárcavas (zanjones) y/o surcos	Presente cuando el agua de escorrentía se concentra y forma cárcavas o surcos.	Granos básicos y pastura
Presencia y estabilidad de los senderos del ganado en parcelas	Presencia de senderos en las parcelas por el tránsito constante del ganado. La inestabilidad en los senderos se manifiesta con erosión laminar, poca cobertura vegetal, huellas de resbalones y pequeños movimientos en masa.	Pastura
Presencia de erosión en caminos de acceso	Debido al tránsito continuo de animales, maquinaria o personas en los caminos de acceso a las parcelas se presentan evidencias de erosión del suelo.	Granos básicos y pastura
Presencia de compactación extrema del suelo	La porosidad se reduce de tal manera que la aeración del suelo se vuelve insuficiente. Los macroporos superficiales se obstruyen y se reduce la infiltración de lluvia.	Pastura
Presencia de superficie impermeable del suelo	Por condiciones particulares de manejo puede existir una obstrucción de la porosidad que imposibilita la	Granos básicos y pastura

	infiltración y muestra una costra o lámina impermeable.	
Presencia de erosión laminar	Arrastre de suelo causado por el impacto de gotas de agua en la superficie del suelo. El agua no se infiltra y fluye encima de la superficie del suelo como capa muy delgada de agua y que arrastra partículas del suelo. Después de haber ocurrido escorrentía superficial en los suelos frecuentemente se observa un patrón de flujo o marca del recorrido.	Granos básicos y pastura
Presencia de macroporos en 20 cm profundidad	Macroporos con diámetro mínimo de 2 mm, mejoran la aireación y circulación de agua en el suelo. Al haber menos macroporos, hay menos infiltración, más escorrentía y riesgo a la erosión hídrica.	Granos básicos y pastura
Textura al tacto	La proporción de arcilla, limo y arena del suelo influye en la cohesión entre partículas y agregados y por lo tanto con la susceptibilidad del suelo a sufrir erosión.	Granos básicos y pastura
Estabilidad de los agregados del suelo en la capa superficial del suelo	Relacionado con el desarrollo de la estructura del suelo y su resistencia a la erosión. También refleja la cohesión por materia orgánica y efectos de la textura.	Granos básicos y pastura
Carbono orgánico	El carbono orgánico en el suelo permite una mayor cohesión de las partículas lo que le brinda una mayor estabilidad y resistencia a la erosión. Además de mejorar otras características físicas y químicas del suelo.	Granos básicos y pastura

Para cada sitio de muestreo se realizó observaciones respecto a la erosión hídrica del suelo sobre la base del trabajo realizado por Cosgrove et al. 2001, Pellant et al. 2005, Busu et al. 2008, Herrick et al. 2009, Nieuwenhuys y Aguilar 2010,

De las 11 variables descritas ocho de ellas se midieron sobre la base de una escala de valoración como se presenta en el cuadro 5, y las otras tres sin necesidad de escala.

Cuadro 5 Escala de valoración para indicadores relacionados con la degradación del suelo

1	2	3	4	5
<b>Presencia de movimientos en masa</b>				
Movimientos muy severos	Movimientos severos	Movimientos moderados	Movimientos reducidos	Sin movimientos
<b>Presencia de erosión en cárcavas y/o surcos</b>				
Cárcavas muy severas	Cárcavas severas	Cárcavas focalizadas	Cárcavas leves	Sin cárcavas
<b>Presencia de erosión en caminos de acceso</b>				
Caminos severamente erosionados	Caminos erosionados	Caminos erosionados moderadamente	Caminos con baja erosión	Caminos con erosión leve
<b>Presencia de erosión laminar</b>				
Erosión laminar muy severa	Erosión laminar severa	Erosión laminar focalizada	Erosión laminar leve	Sin erosión laminar
<b>Presencia de superficie impermeable del suelo</b>				
Severa superficie impermeable	Moderada superficie impermeable	Poca superficie impermeable	Muy poca superficie impermeable	Sin superficie impermeable
<b>Estabilidad del suelo superficial</b>				
Ninguna estabilidad	Muy poca estabilidad	Poca estabilidad	Moderada estabilidad	Alta estabilidad
<b>Presencia y estabilidad erosión de senderos del ganado</b>				
Senderos degradación muy severa	Senderos degradación severa	Senderos con degradación moderada	Senderos con degradación leve	Sin senderos degradados
<b>Compactación extrema en el suelo</b>				
Compactación muy severa	Compactación severa	Compactación moderada	Compactación leve	Sin compactación

Los indicadores y los criterios para la clasificación de las escalas se describen en detalle en los anexos 1 al 6. La forma de realizar observaciones en los demás indicadores se detalla a continuación.

### 1.8.3.1. Presencia de macroporos en 20 cm de profundidad

En cada parcela imaginaria de una hectárea se excavaron cinco microcalicatas de 30 cm x 30 cm x 30 cm donde en una de las caras expuestas, haciendo uso de un acetato transparente con una cuadrícula de 10 cm x 10 cm, se realizó la medición de macroporos (en %), obteniendo el total con la sumatoria de los porcentajes ocupados por macroporos de causa biológica y por efecto de la estructura del suelo. El valor final para cada parcela se obtuvo promediando las observaciones de las cinco microcalicatas.

### 1.8.3.2. Textura al tacto

En las microcalicatas se determinó la textura del suelo al tacto. Reportando como la textura representativa para la parcela, la textura que con más frecuencia se presentó en las cinco microcalicatas muestreadas.

### 1.8.3.3. Estabilidad del suelo superficial

En la parcela temporal de 1 ha, se tomaron muestras de los 4 cm superficiales del suelo en cada una de las cinco microcalicatas. Las cinco muestras se mezclaron para obtener una sola muestra compuesta por parcela. Con base en las metodologías de Pellant et al. (2005) y Herrick et al. (2009), se realizó una prueba de estabilidad de suelo a 18 repeticiones de cada muestra, con lo cual se obtuvo la categoría de clasificación con referencia al cuadro 6 y las descripciones del anexo 5.

### 1.8.3.4. Carbono orgánico

En la parcela temporal de 1 ha, se tomaron muestras de los 20cm superficiales del suelo en cada una de las cinco microcalicatas. Las cinco muestras se mezclaron para obtener una sola muestra compuesta por parcela, de aproximadamente 500 gr de suelo. Esta muestra se secó al aire en la sombra por 48 horas. Posteriormente se obtuvieron 100 gr de suelo, se identificaron y trasladaron para el laboratorio de análisis de suelo del CATIE y obtener el contenido de carbono orgánico.

### 1.8.4. Indicadores para evaluar el riesgo de contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas

En las parcelas y potreros seleccionados también se evaluó una serie de indicadores de riesgo de contaminación en cauces de agua. En algunas parcelas no hubo fuentes superficiales de agua, de manera que no todos los indicadores se usaron.

Los indicadores se basaron en el trabajo realizado por Reus et al. 2001, Stenrod et al. 2007, Herrick et al. 2009, Jimenez 2010 y Nieuwenhuyse y Aguilar 2010. Se asignaron categorías según las descripciones presentes en anexo 7. En forma resumida se presentan en el cuadro 6 los indicadores de riesgo que fueron evaluados.

Cuadro 6 Indicadores relacionados con el riesgo a la contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas

Indicador	Generalidad	Datos tomado en:
Presencia de erosión en las orillas de ríos, quebradas o riachuelos y fuentes de agua artificiales.	El agua que corre puede generar erosión lateral en las orillas. Remoción de vegetación en las orillas de los cauces puede debilitar la estabilidad. Transito constante de animales o personas en orillas producen erosión. Desmoronamientos en las orillas.	Granos básicos y pastura, pero solamente donde haya aguas superficiales.
Acceso de los animales	El acceso libre de animales a fuentes	Granos básicos y pastura,

domésticos a las fuentes naturales de agua y fuentes de agua artificiales.	de agua implica un mayor riesgo de contaminación por sedimentos y residuos orgánicos (excrementos).	pero solamente donde haya aguas superficiales.
Presencia de vegetación nativa en las orillas de fuentes naturales de agua y fuentes de agua artificiales.	La presencia de bosques ayuda a limitar la erosión de las orillas en las fuentes de agua. Así también, en diferentes condiciones ambientales ciertas especies vegetales no leñosas pueden ejercer la función protectora de los cauces u orillas.	Granos básicos y pastura, pero solamente donde haya aguas superficiales.
Potencial de contaminación por fertilizantes	Los fertilizantes que se utilizan en la producción agropecuaria pueden contaminar el agua si se utiliza en exceso.	Granos básicos y pastura.
Potencial de contaminación por plaguicidas.	En función de factores ambientales y características de los plaguicidas, presentan diferente potencial de contaminación o impactos negativos en el agua.	Granos básicos y pastura.

Considerando estos indicadores de riesgo, se presenta el cuadro 7, 8 y 9 los cuales presentan las escalas de valoración utilizadas para categorizar cada indicador.

Cuadro 7 Escala de valoración para indicadores de riesgo a la contaminación de fuentes de agua por sedimentos

1	2	3	4	5
<b>Presencia de erosión en cauces y orillas de ríos, quebradas o riachuelos</b>				
Erosión severa	Erosión notable	Erosión baja	Erosión muy baja	Sin erosión
<b>Presencia de vegetación nativa en orillas de fuentes naturales de agua</b>				
Vegetación muy escasa	Vegetación escasa	Vegetación fragmentada	Vegetación moderada	Vegetación adecuada
<b>Acceso del ganado a las fuentes naturales de agua</b>				
Acceso muy dañino	Acceso dañino	Acceso poco dañino	Acceso con poco control	Acceso controlado

Cuadro 8 Escala de valoración para indicadores de riesgo a la contaminación de fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.) por sedimentos

1	2	3	4	5
<b>Presencia de erosión en orillas de fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>				
Erosión severa	Erosión notable	Erosión baja	Erosión muy baja	Sin erosión
<b>Presencia de vegetación nativa en las orillas de fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>				
Vegetación muy escasa	Vegetación escasa	Vegetación insuficiente	Vegetación moderada	Vegetación adecuada
<b>Acceso del ganado a las fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>				
Acceso muy dañino	Acceso dañino	Acceso poco dañino	Acceso con poco control	Acceso adecuado

Cuadro 9 Escala de valoración para indicadores de riesgo a la contaminación del agua por fertilizantes y plaguicidas

1	2	3	4	5
<b>Lixiviación y arrastre de fertilizantes hacia fuentes de agua</b>				
Muy alta contaminación agua	Alta contaminación agua	Media contaminación agua	Baja contaminación agua	Sin contaminar agua
<b>Distancia de aplicación de fertilizantes a fuentes de agua</b>				
Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo
<b>Toxicidad de plaguicidas para mamíferos</b>				
Extremadamente peligroso	Alta peligrosidad	Moderada peligrosidad	Leve peligrosidad	Sin significativa peligrosidad
<b>Toxicidad de plaguicidas para organismos acuáticos</b>				
Extremadamente peligroso	Alta peligrosidad	Moderada peligrosidad	Leve peligrosidad	Sin significativa peligrosidad
<b>Movilidad del plaguicida en el suelo</b>				
Extremada movilidad	Alta movilidad	Moderada movilidad	Leve movilidad	Sin significativa movilidad
<b>Distancia de plaguicidas a las fuentes de agua</b>				
Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo

Con las escalas de valoración anteriores se realizaron las observaciones para cada indicador y sitio de muestreo. Mayores detalles se describen en anexos 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

#### 1.8.5. Presencia de erosión en las orillas de las fuentes de agua

En caso presente, se revisó ambos lados de algún cauce o reservorio de agua para observar la presencia de erosión, considerando ambos lados del cauce como independientes (ver cuadro 10) y utilizando la escala de valoración que se presenta en el cuadro 7 y 8.

Cuadro 10 Segmentos de ríos y reservorios de agua en relación directa a parcelas y potreros

Uso de la tierra	No. (cauces naturales) segmentos ríos	Longitud acumulada (m)	Longitud promedio (m)	No. sitios (modificados) reservorios agua
Granos básicos	5	510	102	2
Pastura	11	2 520	229	16
<b>TOTAL</b>	16	3 030		18

#### 1.8.6. Información sobre la aplicación de plaguicidas y fertilizantes

En las entrevistas semiestructuradas realizadas a productores se les preguntó con respecto a la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en su producción agrícola y/o ganadera, a saber, la distancia de aplicación a fuentes de agua, la cantidad y tipo de plaguicidas, frecuencia de uso y objetivos de uso. Esta información se contrastó con observaciones en los terrenos respecto a residuos presentes, basura y distancia de cultivos a la fuente de agua.

#### 1.8.7. Toxicidad de plaguicidas para mamíferos, organismos acuáticos y distancia de aplicación a las fuentes de agua

Se buscó información en la literatura respecto a ingredientes activos de los plaguicidas y se categorizó el riesgo potencial de contaminación con base en las escalas de valoración diseñadas (cuadro 10). Mayores detalles sobre la toxicidad se presentan en los anexos 9,10 y 11.

#### 1.8.8. Análisis de resultados

En relación a degradación del suelo por erosión hídrica, se tabuló los datos en hojas electrónicas de Excel, para posteriormente realizar el análisis estadístico en InfoStat. Se usaron estadísticas descriptivas para todas las variables obtenidas y, se utilizó para variables categóricas tablas de contingencia, análisis de conglomerados y análisis de correspondencia. Se realizó para las variables cuantitativas y continuas un análisis de varianzas y comparaciones de medias con el método de Fisher. Considerando como la distinción de los grupos el uso de la tierra y el porcentaje de pendiente. Para una mayor claridad del análisis en la discusión de resultados.

Para la contaminación de agua por sedimentos se tabuló los datos en Excel y después se analizó con InfoStat para la obtención de estadísticas descriptivas y análisis de correspondencia. Respecto a contaminación de agua por fertilizantes y plaguicidas, se tabuló los datos categóricos en fertilizantes para obtener tendencias de frecuencia. En plaguicidas se resumió información específica (anexo 9, 10, 11 y 12) en cuadros, evaluando con las escalas de valoración categórica diseñadas y se realizó estadística descriptiva para tener elementos de referencia en riesgos potenciales de contaminación de agua y tendencias presentes.

#### 1.8.9. Clasificación de usos de la tierra a nivel de subcuenca

Se obtuvo información sobre el uso de la tierra de imágenes de satélite LANDSAT (con un detalle del tamaño de pixel de 30 m x 30 m) interpretadas por el Centro de monitoreo y evaluación del CONAP (conocido con su siglas como CEMEC). Una descripción general de los usos diferenciados se presenta en el cuadro 11.



Cuadro 11 Usos de la tierra a nivel de subcuenca

<b>Tipo de uso de la tierra</b>	<b>Generalidades</b>
Agropecuarios	Sistemas de producción donde se presenta producción agrícola y/o producción ganadera en una misma unidad de mapeo.
Bosque <sup>3</sup>	Unidad de mapeo donde se presenta sin distinción especies leñosas de coníferas, latifoliadas o mixto.
Humedales	Área generalmente plana inundable que por su composición, estructura y funciones se caracteriza entre acuático y terrestre.
Agua	Unidad de mapeo como cuerpo de agua estancada o en movimiento.

#### 1.8.10. Definición de las tendencias de uso de la tierra (subcuenca)

Se apoyó al equipo CEMEC en el análisis de imágenes LANDSAT para 2010. Así también, del CEMEC se obtuvo la información respecto al uso de la tierra en 2000, 2006 y 2010 y generalidades de la subcuenca. Se realizó la estimación de cambios en el uso de la tierra entre los diferentes años, para lo cual fue necesario el análisis de capas ráster o grid y realizar cálculos aritméticos, en el programa ArcGis, luego el análisis de matrices resultantes en Excel.

Así también, considerando la distribución de la pendiente del terreno en la subcuenca, se procedió a la combinación de capas de uso de la tierra y pendiente para calcular los cambios en el uso de la tierra por clase de pendiente, usando los programas ArcGis y Excel.

---

<sup>3</sup> En el análisis espacial se definió como bosque a la superficie cubierta por árboles con un mínimo de cobertura de copa del 30%-40% formando una masa continua de un mínimo de 0.54 hectáreas (6 píxeles) con un ancho mínimo de 60 metros (UVG 2011).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características generales de las fincas, el manejo del maíz y pasturas de la subcuenca Mopán-Chiquibul.

#### 4.1.1. Información general de las fincas

Se recopiló información descriptiva de 38 parcelas bajo uso agrícola (granos básicos) y ganadero (pastura), ubicadas en 21 fincas de comunidades en el área sur de Petén, Guatemala. De los 21 productores entrevistados propietarios de fincas, se obtuvo la información siguiente.

Cuadro 12 Información general de fincas y propietarios entrevistados

n <sup>a</sup>	¿De cuantas fincas es propietario?	¿Vive dentro o fuera de la finca?	Área promedio de finca (Mz) <sup>b</sup>	Área mínima de fincas (Mz) <sup>b</sup>	Área máxima de fincas (Mz) <sup>b</sup>
21	13 con una	12 dentro	41	4	128
	8 con dos	9 fuera			

a = número de observaciones, b = superficie en manzana equivalente a 7,000m<sup>2</sup>,

La información referente a la distribución de coberturas de uso en las 21 fincas se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 13 Distribución de diferentes coberturas de uso en las fincas de muestreo (promedio)

n <sup>a</sup>	Área de maíz (Mz) <sup>b</sup>	Área de bosque natural (Mz) <sup>b</sup>	Área de bosque plantado (Mz) <sup>b</sup>	Área de pasto natural (Mz) <sup>b</sup>	Área de pasto mejorado (Mz) <sup>b</sup>
21	5.4	8.5	6.0	27.3	32.1
n <sup>a</sup>	18	12	3	3	16

a = número de casos, b = superficie en manzana equivalente a 7,000m<sup>2</sup>,

En el cuadro 13 se muestra la cobertura promedio de diferentes usos de la tierra en las 21 fincas muestreadas. Aunque ninguna finca tiene todos los usos, se observa que pastos y maíz son los usos más comunes. La mayor extensión tiene pasto mejorado (sobre todo *Brachiaria brizantha*) y la menor el maíz (*Zea mays*).

En el control y administración de la producción agrícola y ganadera se deseaba conocer si los productores mantienen un control con libros o libretas respecto al manejo. De lo cual solamente 3 de los 21 productores llevan registros del manejo de los granos básicos y 3 de los 20 productores ganaderos llevan registros del manejo del ganado.

Otra característica de interés es el control en los costos e ingresos de la producción, donde 18 productores agrícolas no llevan registros y 3 si, en la ganadería 13 no llevan el registro y 7 si. Sin embargo, es probable que en la zona mucho menos productores lleven registros, pues de los productores entrevistados 4 de ellos son incentivados económicamente por el proyecto CATIE-MESOTERRA para mantener registros del manejo y flujos de caja.

Cuadro 14 Mano de obra de las fincas

Tipo de mano de obra en ganadería			Tipo de mano de obra en granos básicos		
CONTRATADA (temporal)	FAMILIAR	CONTRATADA (permanente)	CONTRATADA (temporal)	FAMILIAR	CONTRATADA (permanente)
6	8	2	11	6	1

Cuadro 15 Algunos factores a considerar en la administración de las fincas

¿Cómo se toman las decisiones administrativas en su finca?		¿Usted recibe asistencia técnica de alguna institución?	
INDIVIDUAL	FAMILIAR	NO	SI
12	9	12	9

Como se observa en el cuadro 14, tanto en la actividad ganadera como para el cultivo de granos básicos se utiliza mano de obra pagada, temporal o permanentemente. Como se indica en el cuadro 15, los productores entrevistados tienen una ligera inclinación a tomar las decisiones administrativas en forma individual, mientras con respecto a asistencia técnica responden con mayor frecuencia que si la reciben.

Se preguntó las razones por las cuales los productores mantienen o no una cobertura forestal en sus fincas. De los 21 productores entrevistados 10 de ellos mencionaron dos respuestas y 11 de ellos una respuesta, que se resumen en el cuadro 16.

Cuadro 16 Razones que mencionan los productores para mantener o no una presencia de cobertura boscosa

n	¿Tiene bosque?	RESPUESTA
9	No	Aumenté el área de agricultura y/o pastura
10	Si	Recibo beneficios de mi bosque (leña y/o madera)
9	No	Compré la finca sin bosque
2	Si	Recibí un incentivo monetario o físico para mantener mi bosque
1	No	El bosque protege fuentes de agua en mi finca

Observando el cuadro 16, las respuestas tienen mayor frecuencia y tendencia a recibir beneficio del bosque con leña y/o madera.

Además, se preguntó a los productores aclarar los cambios en el uso de la tierra en los últimos 20 años en sus propias fincas, en las fincas de sus vecinos y en la comunidad en general, ver cuadros 17, 18 y 19.

A lo cual los 21 productores respondieron con base a sus recuerdos o conocimiento respecto a usos dominantes en las fincas, considerando granos básicos, pastura, guamil, bosque y sus combinaciones.

Cuadro 17 Usos de la tierra presentes hace 5, 10 y 20 años en las fincas, según productores entrevistados (propietarios)

Uso de la tierra	Uso presente hace 5 años	Uso presente hace 10 años	Uso presente hace 20 años
Granos básicos	6	7	4
Pastura	8	4	0
Pastura y granos básicos	7	6	3
Pastura y guamil	0	4	0
Granos básicos y guamil	0	0	0
Guamil <sup>b</sup>	0	0	0
Guamil y bosque	0	0	7
Bosque	0	0	7

a = número de observaciones (productores), b = el guamil se considera como un bosque secundario en proceso sucesional con al menos 3 años de edad.

En las fincas de propietarios hace 5 o 10 años dominaban granos básicos y pastura. Sin embargo, hace 20 años se menciona que dominaba guamil y bosque.

Cuadro 18 Usos de la tierra en los últimos 5, 10 y 20 años en las fincas de vecinos de la zona, según la percepción de los productores entrevistados

Uso de la tierra	Uso presente hace 5 años	Uso presente hace 10 años	Uso presente hace 20 años
<b>Granos básicos</b>	5	5	4
<b>Pastura</b>	6	5	1
<b>Pastura y granos básicos</b>	4	1	1
<b>Pastura y guamil</b>	1	2	0
<b>Granos básicos y guamil</b>	3	2	2
<b>Guamil<sup>b</sup></b>	1	3	3
<b>Guamil y bosque</b>	0	0	1
<b>Bosque</b>	1	3	9

a = número de observaciones (productores), b = el guamil se considera como un bosque secundario en proceso sucesional con al menos 3 años de edad.

Productores entrevistados mencionan para las fincas de sus vecinos granos básicos y pasturas principalmente con alguna presencia de guamil y bosque hace 5 años. Hace 10 años, se repite la dominancia de granos básicos y pastura pero con un aumento en la presencia de guamil y bosque para indicar que finalmente el guamil y bosque era el uso dominante hace 20 años.

Cuadro 19 Usos de la tierra hace 5, 10 y 20 años en la comunidad en general, según la percepción de productores entrevistados

Uso de la tierra	Uso presente hace 5 años	Uso presente hace 10 años	Uso presente hace 20 años
<b>Granos básicos</b>	11	12	7
<b>Pastura</b>	5	2	0
<b>Pastura y granos básicos</b>	5	5	1
<b>Pastura y guamil</b>	0	0	0
<b>Granos básicos y guamil</b>	0	0	2
<b>Guamil<sup>b</sup></b>	0	0	0
<b>Guamil y bosque</b>	0	0	0
<b>Bosque</b>	0	2	11

a = número de observaciones (productores), b = el guamil se considera como un bosque secundario en proceso sucesional con al menos 3 años de edad.

Productores entrevistados mencionan que en sus comunidades granos básicos y pasturas ha sido el uso predominante con muy poco bosque hace 5 y 10 años, mientras hace 20 años mencionan que hubo principalmente bosque con presencia de granos básicos y algunos indicios de pastura.

La percepción de los productores converge en una presencia evidente que hace 20 años hubo mucho más bosque que actualmente y que la producción agrícola y ganadera ha aumentado su presencia al menos en la última década. Esta percepción es consecuente con información reportada en INE (2001) donde en los 60, Petén estuvo escasamente poblado y casi 90% era superficie boscosa. Entre 1965 y 2000, más del 50% de los bosques han sido convertidos en tierras para cultivos y pastos.

Sin embargo, el cuadro 17 contrasta con cuadro 13 y 16, donde (tal como se observó en campo) se indica que una parte de los productores entrevistados todavía tiene cierta cantidad de su

terreno con bosque. El cual no fue considerado por ellos como un uso dominante en sus fincas o de alta importancia.

De forma general se les solicitó a los productores indicar su percepción sobre la presencia de erosión del suelo y contaminación del agua en sus parcelas. Las respuestas se presentan en cuadro 20.

Cuadro 20 Percepción de los productores entrevistados sobre la presencia de erosión del suelo y contaminación del agua en sus parcelas

	Erosión suelo por agricultura		Erosión suelo por ganadería		¿Le perjudica?	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
<b>n</b>	6	15	9	7	12	9
	Contaminación del agua por agricultura		Contaminación del agua por ganadería		¿Le perjudica?	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
<b>n</b>	5	16	4	12	4	17

n = número de observaciones (productores)

Los entrevistados respondieron percibir una mayor erosión del suelo por la ganadería y lo cual les perjudica. En caso de la contaminación del agua, existe una mayor tendencia de no vincularla con la agricultura o ganadería y no se percibe que la contaminación les perjudica. Sin embargo, se resalta que productores en la parte baja de la subcuenca, en comunidad El Cruzadero donde la corriente del río atraviesa el centro de viviendas y servicios, expresaron que “el río Mopán atraviesa la comunidad y después pasa por sus fincas contaminado con basura”.

Para los sistemas ganaderos se presentan algunas características generales en el cuadro 21 y cuadro 22.

Cuadro 21 Características generales de la producción ganadera (datos de los meses de junio y julio del 2011)

Total productores ganaderos	Cantidad animales en pastoreo (productores)			¿Utiliza más de una finca para el pastoreo de su hato?		¿En época seca y lluviosa el manejo del pastoreo en su potrero como lo realiza? (productores)	
	1 a 15 <sup>a</sup>	16 a 30 <sup>a</sup>	Más de 30 <sup>a</sup>	SI	NO	IGUAL	DIFERENTE
16	5	3	8	8	8	6	10

\* Rango de la cantidad de animales

Cuadro 22 Características generales en la dinámica de alimentación del ganado

¿Utiliza pasto de corte para la alimentación del ganado?		¿Utiliza otros suplementos alimenticios adicionales al pastoreo?		Días de uso de potreros			Días de descanso de potreros		
SI	NO	SI	NO	P	Min	Max	P	Min	Max
6	10	14	2	13	2	35	22	4	45

P = promedio, Min = mínimo, Max = máximo

Los productores entrevistados tienden a usar poco los pastos de corte y si utilizan más otros suplementos alimenticios (concentrados, melaza y restos de cosechas) para el ganado. Los días de uso y descanso varían ampliamente.

Los agricultores de forma general aprovechan el contenido de humedad del suelo para la producción del maíz, siendo que ningún agricultor utiliza algún sistema de riego. La siembra se realiza con un espaciamiento entre surcos de 0.90 m a 1.00 m y el espaciamiento entre plantas de 0.40 m a 0.50 m. Utilizando de dos a tres semillas por postura. Únicamente dos agricultores (comunidad Los Limones) utilizan frijol abono (*Mucuna spp*) entre los surcos del maíz. El resto de agricultores en el estudio no mantienen cobertura vegetal entre surcos o bien siembran otras especies comerciales con demanda en mercados locales.

#### 4.1.2. Información general de las parcelas y potreros estudiados

La recopilación de datos en las 38 parcelas se realizó en dos diferentes usos del suelo y tres diferentes rangos de pendiente, ver cuadro 23 y figura 4. Las parcelas se distribuyeron en cinco comunidades y en la parte alta, media y baja de la subcuenca Mopán-Chiquibul y su altitud oscila entre los 460 msnm a los 160 msnm.

Cuadro 23 Número de parcelas muestreadas en función de rango de pendiente y uso de la tierra

Uso de la Tierra	Topografía	Rango Pendiente (%)	Pendiente (%)			Total
			Promedio	Mínimo	Máximo	
Granos básicos	Plana	0 a 10	4	2	8	12
	Ondulada	11 a 30	22	18	27	3
	Quebrada	> 30	40	36	44	2
Pastura	Plana	0 a 10	5	3	8	12
	Ondulada	11 a 30	20	18	22	5
	Quebrada	> 30	40	38	42	4

De dos de las parcelas se tomaron muestras de los primeros 20 cm del suelo para tener alguna información respecto al pH y la disponibilidad de nutrientes (ver cuadro 24 y anexo 13). Los resultados indican suelos bastante típicos para Petén, pues el alto pH y el alto contenidos de Ca y Mg claramente indican que los suelos se han desarrollado en roca sedimentaria derivados de la meteorización de roca caliza. Por otra parte, K tiene una disponibilidad media y P baja, lo cual se ha encontrado en otros suelos de Petén (Nieuwenhuys 2006).

Cuadro 24 Análisis químicos de los primeros 20 cm del suelo (análisis realizados en el laboratorio de suelos del CATIE)

No	Código	Ubicación subcuenca	pH	Acidez (cmol(+)/l)	Ca (cmol(+)/l)	Mg (cmol(+)/l)	K (cmol(+)/l)	P (mg/l)
1	EC-TMC-ON-A-6	Parte media	7.44	0.05	62.52	3.78	0.34	2.6
2	LL-FJM-Q-A-5	Parte alta	7.22	0.05	31.76	19.22	0.12	1.7

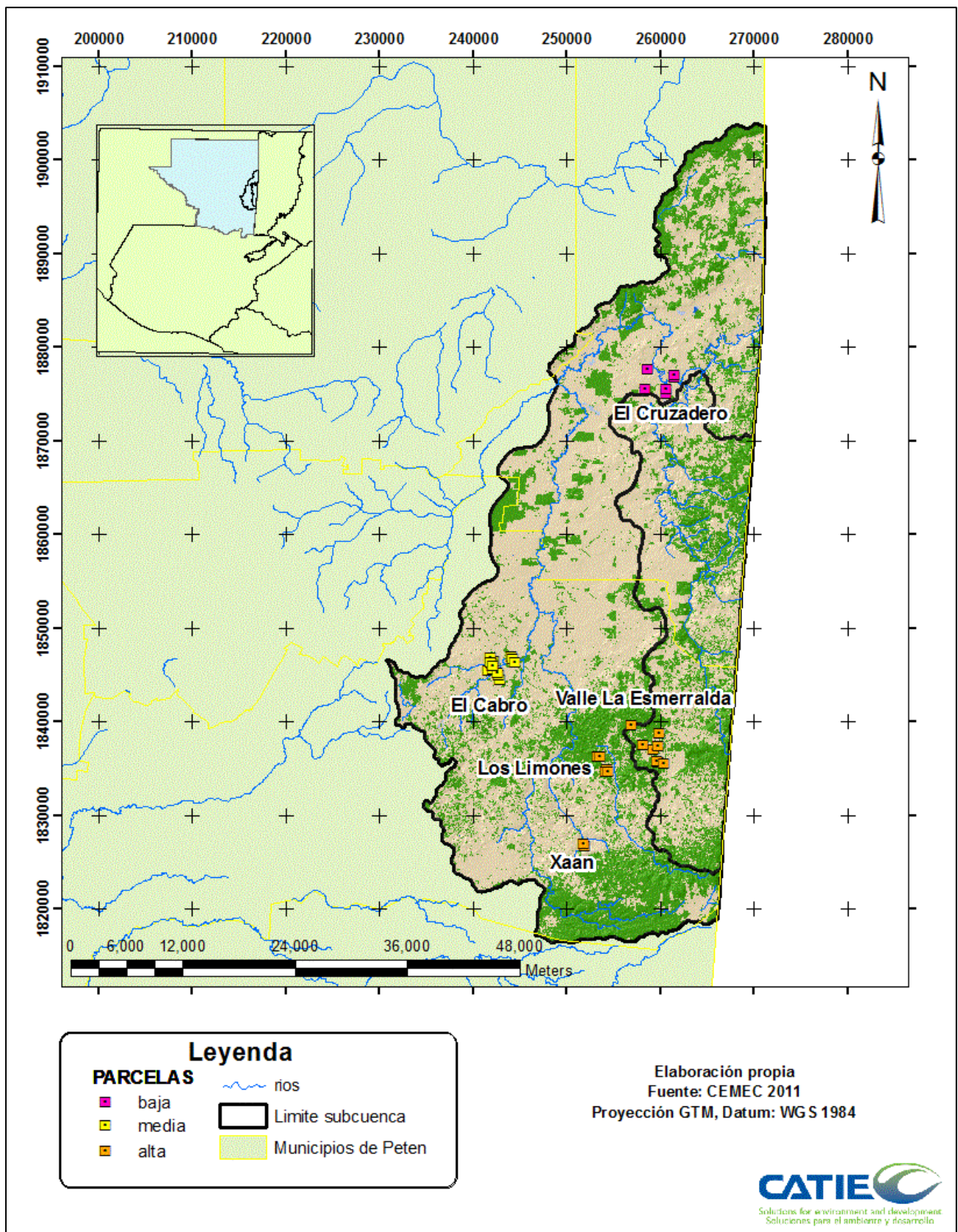


Figura 4 Distribución espacial de los sitios de muestreo en la subcuenca Mopán-Chiquibul

De forma general el relieve de las comunidades donde se realizó el estudio presenta mayormente áreas planas con cerros pequeños (cada uno con una superficie de 2 Mz) dispersos en el paisaje, los cuales tienen una topografía ondulada o quebrada. Debido a la escala en la información digital disponible para la zona con su detalle no es posible observarlo, por tanto, se presenta como referencia una ampliación del área media de la subcuenca Mopán-Chiquibul (figura 5) y fotografías de parcelas donde se observa el relieve predominante en el área de estudio (figura 6).

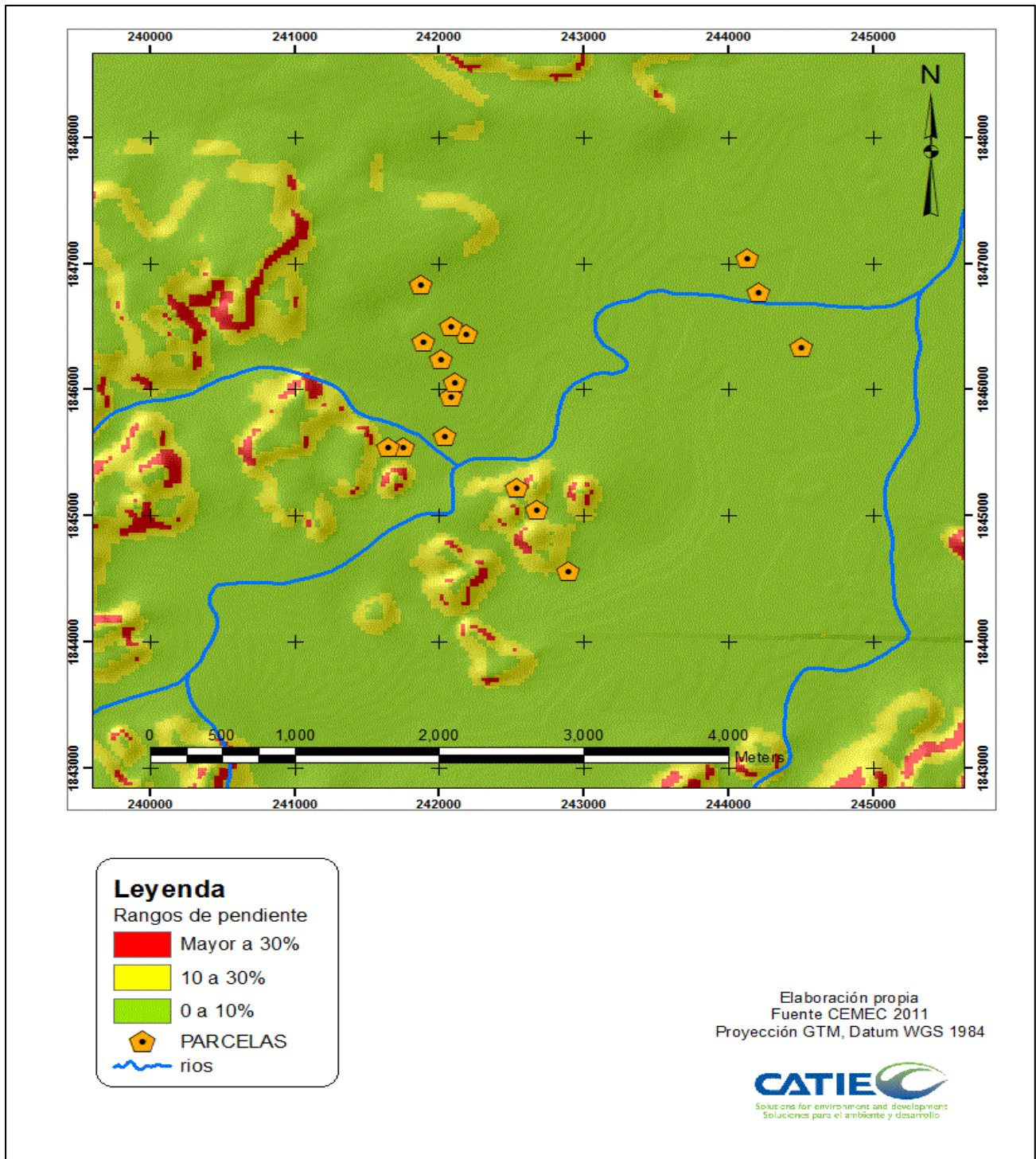


Figura 5 Distribución espacial de los sitios de muestreo en la parte media de la subcuenca Mopán-Chiquibul





Figura 6 Relieve general de los sitios de muestreo de la subcuenca Mopán-Chiquibul

Las tierras planas corresponden a llanuras aluviales y los cerros dispersos son compuestos por roca caliza en proceso de meteorización y con suelos muy superficiales. En Petén, que casi en su totalidad es dominado por roca caliza, es probable que la dinámica del drenaje subsuperficial es muy distinto al observado en el drenaje superficial, por tanto los límites hidrográficos de la subcuenca son distintos a los límites hidrogeológicos. Sin embargo en el presente estudio no fue posible obtener esta información.

En cuadro 25 se presentan el tiempo que el actual propietario tiene posesión de la parcela o potrero y el tiempo que la parcela o potrero está bajo el uso actual.

Cuadro 25 Años de posesión del mismo propietario y tiempo de estar bajo el mismo uso de la tierra

Uso de la Tierra	Topografía	Años promedio de posesión	Mínimo y máximo de años de posesión	Años promedio bajo uso actual	Mínimo y máximo de años bajo uso actual
<b>Granos básicos</b>	Plana	22	3 y 40	16	2 y 40
	Ondulada	19	5 y 39	6	2 y 10
	Quebrada	3	3 y 3	8	1 y 15
<b>Pastura</b>	Plana	17	5 y 34	10	5 y 20
	Ondulada	33	15 y 40	19	15 y 20
	Quebrada	28	18 y 40	18	15 y 20

En la mayoría de los casos, los años de ser propietarios superan los años en el uso actual de la tierra, pero esta tendencia no se presenta en las parcelas bajo uso agrícola y de topografía quebrada, donde es mayor el número de años en el uso actual que ser propietario de este terreno.

Estas parcelas, que se localizan en la comunidad Los Limones, poseen una dinámica particular donde desde hace 8 años se realiza una producción agrícola de maíz y frijol mayormente. Anteriormente era de propiedad comunal y hace solamente tres años se adjudicó como propiedad individual, por tanto los valores un tanto atípicos.

La cobertura de suelo y la cobertura arbórea en las parcelas muestreadas se resumen en el cuadro 26. El uso de la tierra con granos básicos corresponde a maíz (*Zea mays*) durante la época de muestreo y para pastura a *Brachiaria brizantha*. Existe además una cobertura secundaria del suelo de malezas o rastrojos.

Cuadro 26 Cobertura de suelo y cobertura arbórea en las parcelas muestreadas de junio a agosto 2011

Uso de la tierra	Topografía	Cobertura del suelo	Cobertura (%)	Número de Parcelas
Granos básicos	Plana	Maíz de 1 mes y 14 días	22	12
		Malezas y rastrojo	26	
		Suelo desnudo	52	
		Arbórea	2	
Granos básicos	Ondulada	Maíz de 1 mes y 8 días	12	3
		Malezas y rastrojo	27	
		Suelo desnudo	61	
		Arbórea	2	
Granos básicos	Quebrada	Maíz de 1 mes	18	2
		Malezas y rastrojo	10	
		Suelo desnudo	72	
		Arbórea	2	
Pastura	Plana	<i>B. brizantha</i> en junio a agosto	51	12
		Malezas	22	
		Suelo desnudo	27	
		Arbórea	8	
Pastura	Ondulada	<i>B. brizantha</i> en julio	37	5
		Malezas	24	
		Suelo desnudo	39	
		Arbórea	5	
Pastura	Quebrada	<i>B. brizantha</i> en junio a agosto	37	4
		Malezas	21	
		Suelo desnudo	42	
		Arbórea	1	

Granos básicos más malezas y rastrojos en terrenos con topografía plana tiene la mayor cobertura, le sigue la topografía ondulada y por último la topografía quebrada. Un comportamiento similar se presenta en la cobertura vegetal de pastura mejorada más malezas. En todas las pasturas el periodo de descanso del pasto fue al menos 15 días, sin embargo, no se pudo evitar que diferencias en la duración de la misma podrían haber generado algunas diferencias en el porcentaje de pastos y suelo desnudo. Así mismo, algunas diferencias podrían haber sido consecuencia de las diferentes fechas de observación, pues en junio la recuperación de los potreros de la época seca tal vez no fuera completa. Por estas razones, los porcentajes indicados

en cuadro 26 son aproximados. La cobertura arbórea no sobrepasa el 8% en caso de pasturas y en un 2% en los terrenos con granos básicos.

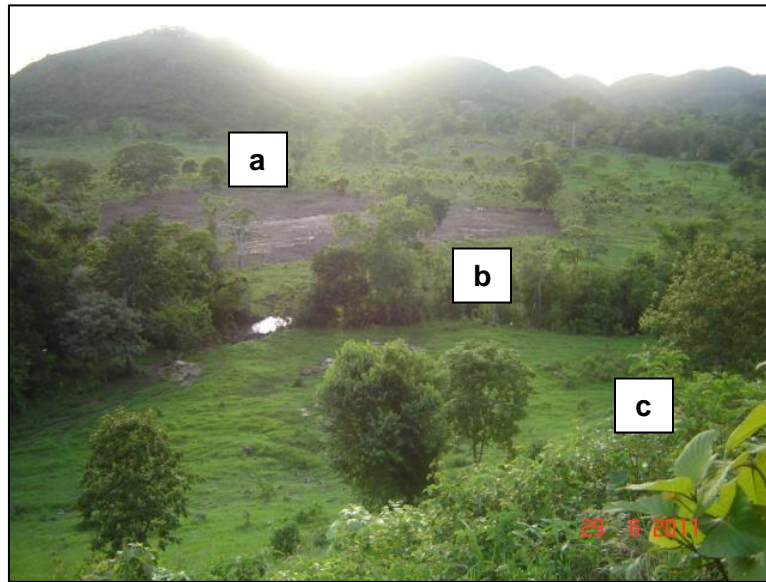


Figura 7 Ejemplo de una distribución de coberturas, a) área plana de maíz limpia para la siembra, b) remanentes de cobertura ribereña y c) pastura plana con árboles dispersos

#### 4.2. La afectación por erosión hídrica de parcelas de maíz y potreros en la subcuenca Mopán-Chiquibul.

En función de las escalas de valoración categóricas que se implementaron para los indicadores de degradación del suelo (ver cuadro 4), se obtuvieron los datos que se presentan en los cuadros 27 al 33.

Cuadro 27 Presencia de movimientos en masa del suelo (casos, n=38)

Clasificación	Movimientos muy severos	Movimientos severos	Movimientos moderados	Movimientos reducidos	Sin movimientos
Granos básicos plana	-	-	-	-	12
Granos básicos ondulada	-	-	-	-	3
Granos básicos quebrada	-	-	-	-	2
Pastura plana	-	-	-	-	12
Pastura ondulada	-	-	-	-	5
Pastura quebrada	-	-	-	-	4

Investigaciones que se han realizado en otras regiones (Geissen et al. 2007 y Geissen et al. 2008) demuestran que los movimientos en masa dependen de la lluvia, pendiente del terreno, geología, tipo de suelo y cobertura vegetal.

La razón por no observar movimientos en masa en el área de estudio en Petén probablemente esté relacionada con la reducida pendiente en muchas de las parcelas de observación y con la

litología en las parcelas de mayor pendiente. Los suelos desarrollados en los cerros (sitios quebrados) de roca caliza tienen escasa profundidad y la litología permite una rápida y casi limitada infiltración de la lluvia. Ambos factores reducen considerablemente el riesgo de que ocurran movimientos en masa.

Cercano a la frontera noroeste con Petén. En la zona cárstica y pseudocárstica de Tabasco, México, se encontró que la presencia de cárcavas y movimientos en masa, fue significativamente mayor en suelos formados sobre areniscas en comparación a calizas, donde fue muy baja la erosión (Geissen et al. 2007 y Geissen et al. 2008).

Cuadro 28 Presencia de erosión en cárcavas y/o surcos (casos, n=38)

Clasificación	Cárcavas muy severas	Cárcavas severas	Cárcavas focalizadas	Cárcavas leves	Sin cárcavas
Granos básicos plana	-	-	-	2	10
Granos básicos ondulada	-	-	-	-	3
Granos básicos quebrada	-	-	-	-	2
Pastura plana	-	-	-	-	12
Pastura ondulada	-	-	-	-	5
Pastura quebrada	-	-	-	-	4

Únicamente en 2 parcelas con maíz (*Zea mays*) y de topografía casi plana (6% y 8%) se encontraron algunas cárcavas.

La formación de una de ellas se relaciona principalmente a la presencia de un río cercano que en la época lluviosa (debido a modificaciones en su cauce) se ha desbordado, generando un surco poco profundo con evidencias al fondo de arrastre de sedimentos (figura 8a). La segunda cárcava (ver figura 8b) se presenta en una parcela donde el drenaje natural de una corriente efímera que desemboca en el río a un lado de la parcela, resaltando que el manejo del cultivo que incluye la eliminación de toda vegetación incluso dentro de este drenaje natural reduce la estabilidad del suelo, tal como indican otros estudios (Cerdan et al. 2002, Cheng et al. 2005, Cheng et al. 2006 y Nazari et al. 2008). En general, sin embargo se puede concluir que erosión en cárcavas no es un problema en la zona.



Figura 8 Parcelas con maíz (*Zea mays*) y topografía plana con cárcavas leves: a) Por desbordamiento de río cercano, b) Por manejo inadecuado de las orillas del drenaje natural del terreno.

Cuadro 29 Presencia de erosión laminar

Clasificación	Erosión laminar muy severa	Erosión laminar severa	Erosión laminar focalizada	Erosión laminar leve	Sin erosión laminar
Granos básicos plana	-	-	6	6	-
Granos básicos ondulada	-	1	1	1	-
Granos básicos quebrada	-	2	-	-	-
Pastura plana	-	-	3	9	-
Pastura ondulada	-	2	3	-	-
Pastura quebrada	-	2	2	-	-

La erosión laminar se observó en casi todas las unidades de muestreo. Como en general la cobertura del suelo es menor en parcelas y potreros con topografía ondulada o quebrada (cuadro 26), y además en pendientes mayores se facilita la escorrentía (Dean et al 2005 y Germer et al 2008 y Du et al 2009), se manifiesta una tendencia a una mayor afectación por erosión laminar en terrenos de mayor pendiente.

Similar a lo reportado por Ouma y Sterk (2005) en la zona montañosa de Kenia, donde bajo siembra de maíz y considerando tres rangos de pendientes determinaron una mayor erosión con un incremento de la pendiente y con la reducción de la cobertura.

Un elemento importante en la erosión laminar fueron los regueros o patrones de flujo debido a la erosión (ver por ejemplo Ziegler et al. 2003). Se observó que en parcelas con topografía plana y también la mayor cobertura del suelo el impacto de flujos es bajo, pero este incrementa en terrenos con una topografía ondulada o quebrada y en terrenos con menor cobertura del suelo.

Cuadro 30 Presencia de erosión en caminos de acceso (casos, n = 38)

<b>Clasificación</b>	<b>Caminos severamente erosionados</b>	<b>Caminos erosionados</b>	<b>Caminos erosionados moderadamente</b>	<b>Caminos con baja erosión</b>	<b>Caminos con erosión leve</b>
Granos básicos plana	-	6	3	3	-
Granos básicos ondulada	-	1	1	1	-
Granos básicos quebrada	-	1	-	1	-
Pastura plana	-	3	5	4	-
Pastura ondulada	-	3	1	1	-
Pastura quebrada	-	3	-	1	-

En todos los caminos de acceso a las unidades de muestreo se presentaron indicios de erosión, tanto en caminos utilizados para el traslado a pie, en animales y/o en vehículo liviano. En las unidades ganaderas es frecuente el tráfico por ganado al momento de rotaciones de pastoreo y el manejo del ganado en general.

Los caminos con mayores indicios de erosión presentaban un mayor tráfico por vehículos automotores. Estos caminos también son utilizados para el acceso a comunidades o comunicación interna entre las diferentes fincas. La razón de encontrar muchos signos de erosión esta probablemente en el hecho que ninguno de los caminos de acceso observados presentó algún tipo de revestimiento artificial o alguna práctica para controlar erosión (Kulli et al. 2002, Foltz et al. 2007, Grace y Clinton 2007, Hansen et al. 2009 y Potocnik 2010).

Cuadro 31 Distribución de la textura al tacto del suelo

<b>Clasificación</b>	<b>Textura (No. de muestras)</b>			
	<b>Franca Arenosa</b>	<b>Franca</b>	<b>Franca Arcillosa</b>	<b>Arcillosa</b>
Granos básicos plana	0	5	5	2
Granos básicos ondulada	0	0	1	2
Granos básicos quebrada	0	1	0	1
Pastura plana	1	6	1	4
Pastura ondulada	2	2	1	0
Pastura quebrada	3	1	0	0

Cuadro 32 Estabilidad del suelo superficial

<b>Clasificación</b>	Muy poca estabilidad	Poca estabilidad	Moderada estabilidad	Alta estabilidad	Muy alta estabilidad
Granos básicos plana	-	-	1	6	5
Granos básicos ondulada	-	-	-	-	3
Granos básicos quebrada	-	-	-	-	2
Pastura plana	-	-	1	1	10
Pastura ondulada	1	-	-	-	4
Pastura quebrada	-	-	3	1	-

Cuadro 33 Presencia de superficie impermeable del suelo

<b>Clasificación</b>	Severa superficie impermeable	Moderada superficie impermeable	Poca superficie impermeable	Muy poca superficie impermeable	Sin superficie impermeable
Granos básicos plana	-	-	-	-	12
Granos básicos ondulada	-	-	-	-	3
Granos básicos quebrada	-	-	-	-	2
Pastura plana	-	-	-	-	12
Pastura ondulada	-	-	-	-	5
Pastura quebrada	-	-	-	-	4

En el cuadro 33, se observa que el indicador no presentó impermeabilidad en ninguna unidad de muestreo, lo cual es de esperar en caso de pasturas por tener poco suelo desnudo y ninguna labranza. En caso de maíz, probablemente se debe a la presencia de texturas con poco limo (cuadro 31) y a la generalmente alta estabilidad de los agregados de la estructura del suelo (ver cuadro 32).

La mayoría de las parcelas presenta una estabilidad del suelo superficial de moderada a muy alta con textura franca, franca arcillosa y arcillosa (cuadro 31). En comparación en suelo de textura franca arenosa hubo moderada a muy poca estabilidad, pero una muestra en pastura ondulada presentó muy alta estabilidad, probablemente por la actividad microbiológica en la parte orgánica del suelo que mantiene una estabilidad significativa ante el efecto disociador de agregados por el agua y fuerzas mecánicas (Malam et al. 2000).

La estabilidad está influenciada por el contenido de carbono orgánico, materia orgánica y textura del suelo (Malam et al. 2000, Wairiu y Lal 2002, Legout et al. 2004 y De la Vega et al. 2004). Como se observó en esta investigación y la investigación de Wairiu y Lal (2002) la estabilidad de agregados del suelo fue menor en suelos de textura arenosa en comparación a los de textura franco arcillosa, bajo el efecto disociador del agua (Legout et al. 2004).

En lo que respecta a indicadores específicos para el uso ganadero, con base en sus escalas de valoración categórica se obtuvo los datos del cuadro 34, 35, 36 y 37.

Cuadro 34 Presencia de senderos de ganado

<b>Clasificación</b>	Muy alta presencia	Alta presencia	Moderada presencia	Poca presencia	Sin presencia
Pastura plana	-	-	2	10	-
Pastura ondulada	-	-	5	-	-
Pastura quebrada	1	2	1	-	-

Cuadro 35 Erosión observada en los senderos de ganado

<b>Clasificación</b>	Erosión muy severa	Erosión severa	Erosión moderada	Erosión leve	Sin erosión
Pastura plana	-	-	4	8	-
Pastura ondulada	-	1	1	3	-
Pastura quebrada	-	3	1	-	-

Cuadro 36 Degradación de senderos de ganado, considerando presencia y erosión observada

<b>Clasificación</b>	Senderos degradación muy severa	Senderos degradación severa	Senderos con degradación moderada	Senderos con degradación leve	Sin senderos degradados
Pastura plana	-	-	-	12	-
Pastura ondulada	-	-	2	3	-
Pastura quebrada	-	3	1	-	-

En el cuadro 36 se presenta la distribución desde degradación leve en la topografía plana hasta severa en quebrada (figura 9).

Los senderos de ganado se forman en terreno plano y ondulado en lugares de alto tránsito del ganado, por ejemplo, hacia lugares de suplementación, fuentes de agua, corrales o puertas de los potreros. Por otra parte, en terrenos con pendientes >45% aproximadamente, los animales tienen que caminar en forma paralela a la pendiente para evitar resbalarse o caerse. Al hacerlo, se forman senderos en forma de “gradas”, ligeramente aplanados y con una mayor densidad aparente del suelo por el pisoteo y “taludes” con una mayor pendiente y menor densidad aparente.

Dependiendo de la carga animal, la duración del periodo de descanso y el tipo de pasto, la cobertura de los senderos con pasto u hojarasca varía de suelo desnudo hasta cubierto por completo. Al ser compactado y tener una cobertura reducida, los senderos pueden presentar una importante escorrentía superficial de agua de la lluvia, lo cual aumenta el riesgo de que se presente erosión. En casos extremos, los senderos se convierten en cárcavas.

Por la combinación entre presencia de senderos y estabilidad de erosión en senderos se obtiene el valor de degradación. Por tanto, en pasturas planas con baja presencia de senderos y una moderada estabilidad de erosión conlleva en una estimación de este indicador de presencia de



una degradación leve, mientras en parcelas quebradas la combinación de una alta presencia de senderos y una baja estabilidad de los mismos resulta en una degradación severa.

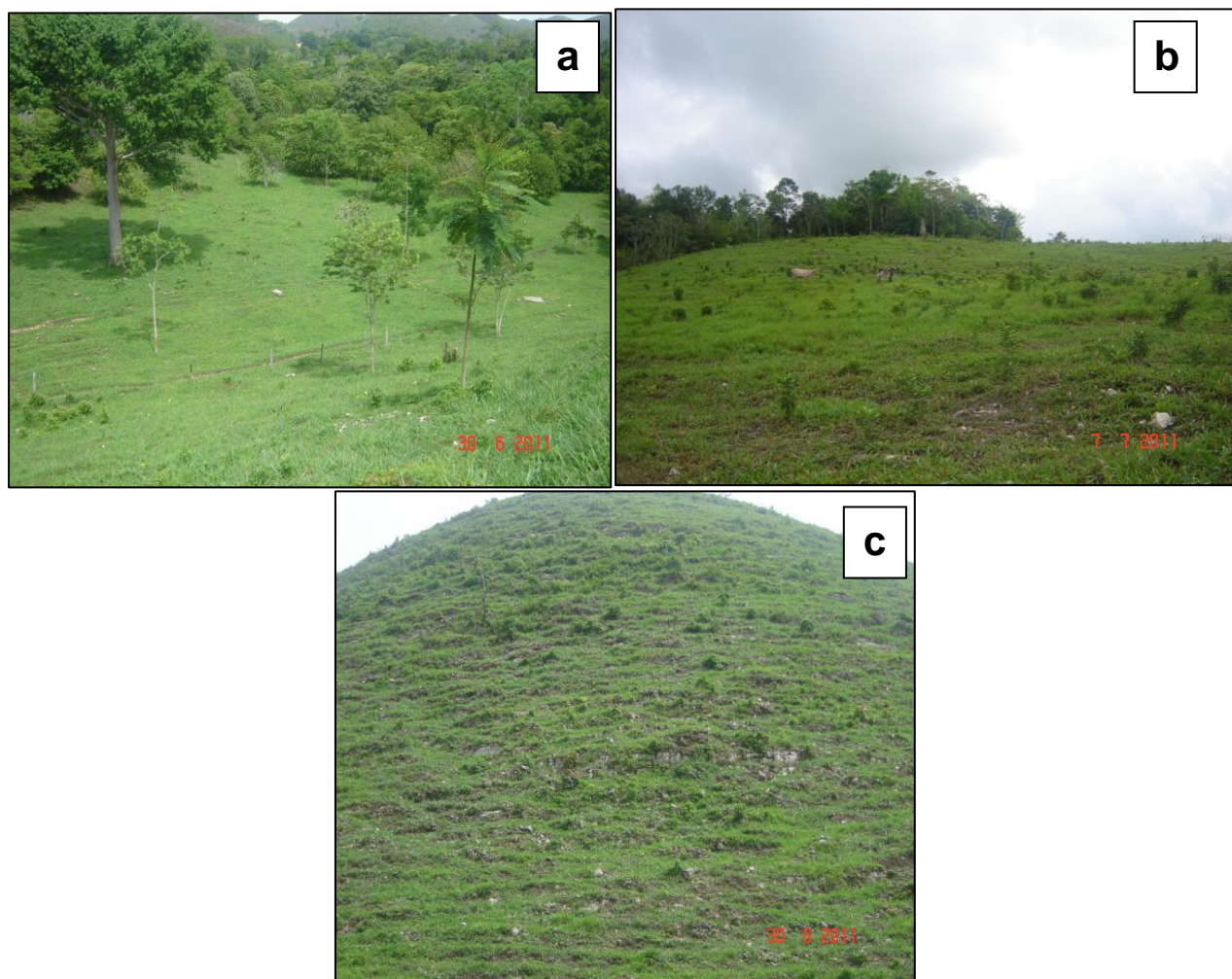


Figura 9 (a) Pastura en topografía plana con degradación leve de senderos (b) Pastura en topografía ondulada con degradación leve de senderos (c) Pastura en topografía quebrada con degradación severa de senderos

La compactación del suelo (cuadro 37) se presentó en categoría leve para algunas unidades de muestreo focalizada en sitios puntuales como lugares de abastecimiento de agua o bien sombra de árboles (figura 10). Generalmente se observaron estos sitios en partes planas en las pasturas.

Cuadro 37 Compactación extrema del suelo por tránsito de ganado

Clasificación	Compactación muy severa	Compactación severa	Compactación moderada	Compactación leve	Sin compactación
Pastura plana	-	-	-	12	-
Pastura ondulada	-	-	-	2	3
Pastura quebrada	-	-	-	2	2

En estos sitios se deteriora la estructura y porosidad del suelo superficial y del subsuelo (Horn y Fleige 2005 y Naghdi et al. 2009) debido al tráfico de animales (Kulli et al. 2002 y Naghdi et al. 2009). Esto se manifiesta en la reducción de infiltración del agua (Pulley et al. 2008 y Sarapatka et

al. 2010). Evidenciándose en las observaciones de campo realizadas con encharcamientos y huellas de hundimiento de las patas del ganado.



Figura 10 Compactación de suelo en sitio de sombra utilizado por el ganado

### 4.3. Relaciones entre variables

#### 4.3.1. Análisis multivariado

Considerando solamente el uso de pasturas, con los datos obtenidos se realizó un análisis de tablas de contingencia, para observar la significancia de las variables respecto a la topografía. Únicamente se encontró significancia con los indicadores degradación de senderos del ganado y compactación extrema del suelo (ver cuadro 38).

Cuadro 38 Significancia de indicadores en pasturas utilizando tablas de contingencia

Variable de respuesta	Variable de clasificación
	TOPOGRAFÍA (p)
Degradación de senderos del ganado	0.0002**
Compactación extrema del suelo por tránsito de ganado	0.0046**

\*\* = Diferencias significativa con  $p < 0.05$

Ambos indicadores aplicados específicamente en pasturas tienen significancia y por tanto asociación con la topografía del terreno, por tanto, se puede decir que la topografía plana (0-10%), ondulada (11-30%) o quebrada (>30%) tiene una relación o influencia en los valores que dichos indicadores presentaron.

La relación entre degradación de senderos y la topografía, era de esperarse porque el ganado se moviliza más por senderos conforme aumenta la pendiente del terreno. En cuanto a la relación entre compactación del suelo y la topografía, se observó mayor compactación en potreros planos probablemente porque ahí se ubican los sitios para abastecimiento del agua al ganado, razón por la cual el ganado permanece más ahí y se presente mayor compactación. También la preferencia general del ganado de descansar en sitios planos, una mayor disponibilidad de forraje en sitios planos o diferencias en la textura del suelo (suelos más arcillosos) en terrenos planos podrían explicar la relación encontrada.

Considerando ambos usos del suelo, el análisis multivariado se realizó para un total de tres indicadores con cinco niveles de categorización cada uno en degradación del suelo. Teniendo estos valores de degradación por cada indicador se obtuvo con el análisis multivariado por conglomerados el dendrograma que se presenta en la figura 9. Agrupando en las clasificaciones de uso de la tierra y topografía.

En lo que respecta a los indicadores de movimientos de masa del suelo y superficie impermeable del suelo, como se pudo observar en los cuadros 27 y 33 respectivamente, se comportaron como constantes sin presencia de movimientos en masa y sin impermeabilidad del suelo. Con base a los datos obtenidos y por ser una constante no se consideró relevante su análisis estadístico.

Así también, en lo que respecta a erosión en cárcavas y/o surcos (cuadro 28) únicamente se reportaron dos sitios con cárcavas leves por causas específicas del manejo, por lo cual no se realizó un análisis estadístico.

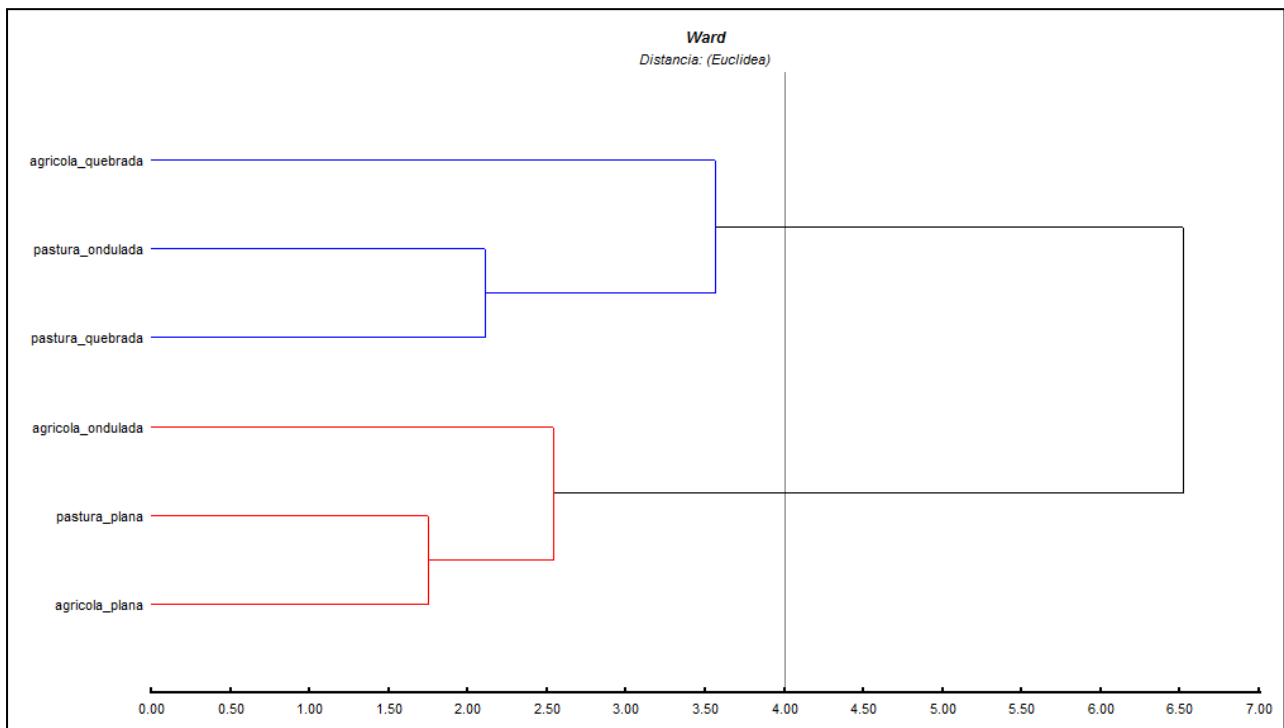


Figura 11 Dendrograma de agrupación de categorías uso de la tierra y topografía en función de valores de indicadores

Al definir un criterio de corte arbitrario aproximadamente al 60% en la distancia, se forman dos grupos. Considerando que existe una mayor relación en un grupo de las clasificaciones en pastura plana, agrícola ondulada y agrícola plana y por el otro lado una mayor relación entre el grupo de agrícola quebrada, pastura ondulada y pastura quebrada. Estos resultados de la agrupación confirman la relación entre pendiente (topografía) y degradación de la tierra.

Lo cual es consecuente con lo presentado en la figura 12, con análisis multivariado por correspondencias.

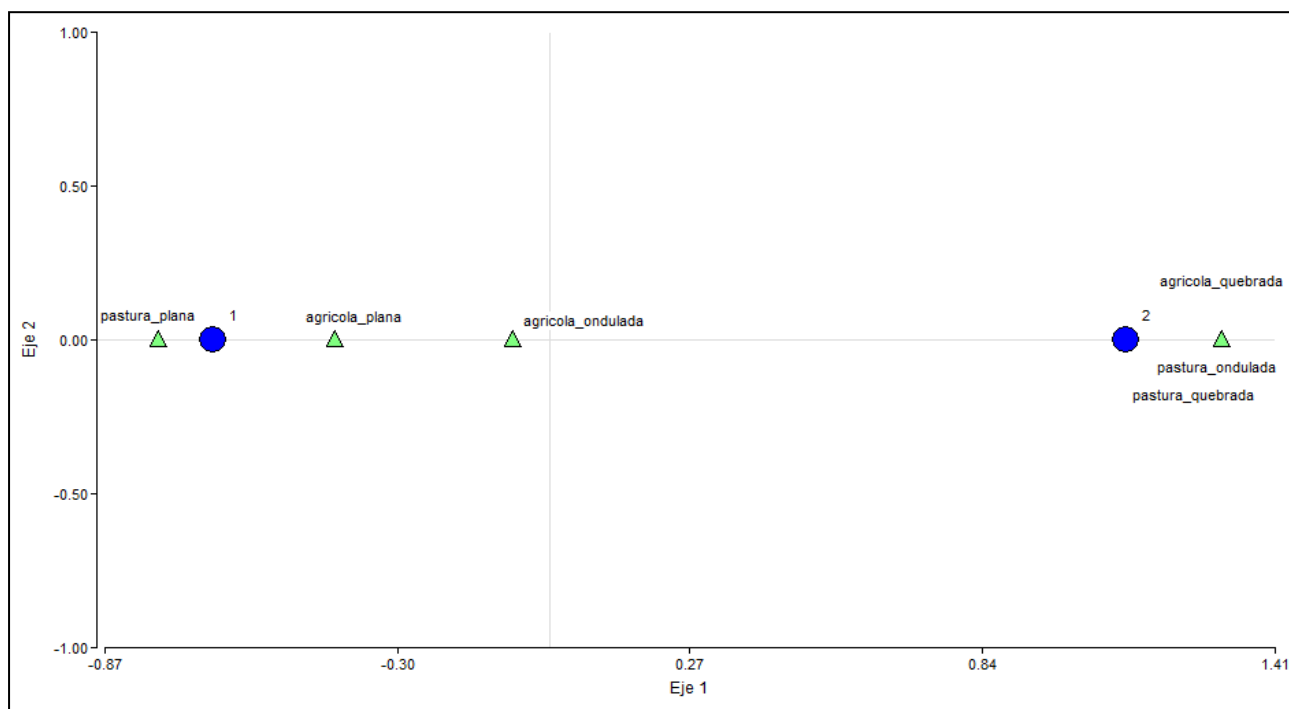


Figura 12 Plano de análisis de correspondencias entre categorías y conglomerados

Con lo anterior se realizó el análisis de tablas de contingencia, para observar la significancia de las variables respecto al uso de la tierra y la topografía. En resumen se presenta en el cuadro 39.

Cuadro 39 Significancia de variables utilizando tablas de contingencia

Variable de respuesta	Variables de clasificación	
	USO DE LA TIERRA (p)	TOPOGRAFÍA (p)
Presencia de erosión laminar	0.9807	0.0001**
Presencia de erosión en caminos de acceso a parcelas	0.9367	0.3349
Estabilidad del suelo superficial	0.2957	0.0090**

\*\* = Diferencias significativa con  $p < 0.05$

Con el análisis por tablas de contingencia, se obtiene la significancia (Chi-cuadrado máximo verosímil o estadístico  $G^2$ ) para encontrar asociaciones o relaciones de las variables de clasificación (uso de la tierra y topografía) con las variables de respuesta (los indicadores observados).

Dos de ellos tienen significancia y por tanto asociación con la topografía del terreno. Se observó en las unidades evaluadas, conforme aumenta la pendiente del terreno, la cobertura del suelo disminuye (cuadro 26). Por lo tanto, es de esperar que la energía cinética del agua como principal elemento erosivo en la zona aumente y por tanto se acentúe la erosión y degradación del suelo. Lo contrario también es válido para el uso de la tierra, donde no presentaron significancia y por tanto nula asociación, es decir que el uso de la tierra sea estos granos básicos (*Zea mays*) o pastura (*Brachiaria brizantha*) no tiene relación o influencia en los valores.

El bajo desarrollo del maíz (*Zea mays*) y la baja cobertura vegetal entre surcos y calles (cuadro 26) aumenta la erosión laminar. En comparación la pastura mejorada (*Brachiaria brizantha*) con un desarrollo en macollas y presencia de senderos por el tránsito del ganado aumenta la erosión

laminar. Por lo tanto, al momento de realizar las observaciones (de junio a agosto) es de esperar que el comportamiento de las categorías de valoración en los indicadores, sea similar entre ambos usos del suelo y no presenten diferencia significativa como muestra el análisis de tablas de contingencia.

Los caminos de acceso son totalmente independientes a parcelas o potreros (Kulli et al. 2002, Foltz et al. 2007, Grace y Clinton 2007, Hansen et al. 2009 y Potocnik 2010).

Habiendo observado significancia en las asociaciones, se realizó el análisis multivariado con el método de análisis de correspondencias. Considerando por separado granos básicos (*Zea mayz*) con los indicadores de presencia de erosión laminar y estabilidad del suelo superficial (cuadro 39) y por otra parte pasturas (*Brachiaria brizantha*) con los indicadores anteriores y además degradación de senderos del ganado y compactación extrema del suelo por transito de ganado (cuadro 39).

Obteniendo para granos básicos que existe correspondencia en las parcelas de topografía plana con moderada estabilidad del suelo y erosión laminar focalizada, en parcelas con topografía ondulada con alta estabilidad del suelo y por último en parcelas con topografía quebrada con erosión laminar severa.

Para pasturas donde se consideraron indicadores generales e indicadores específicos, la cantidad de asociaciones es mayor, por tanto, se presentan gráficamente (ver figura 13).

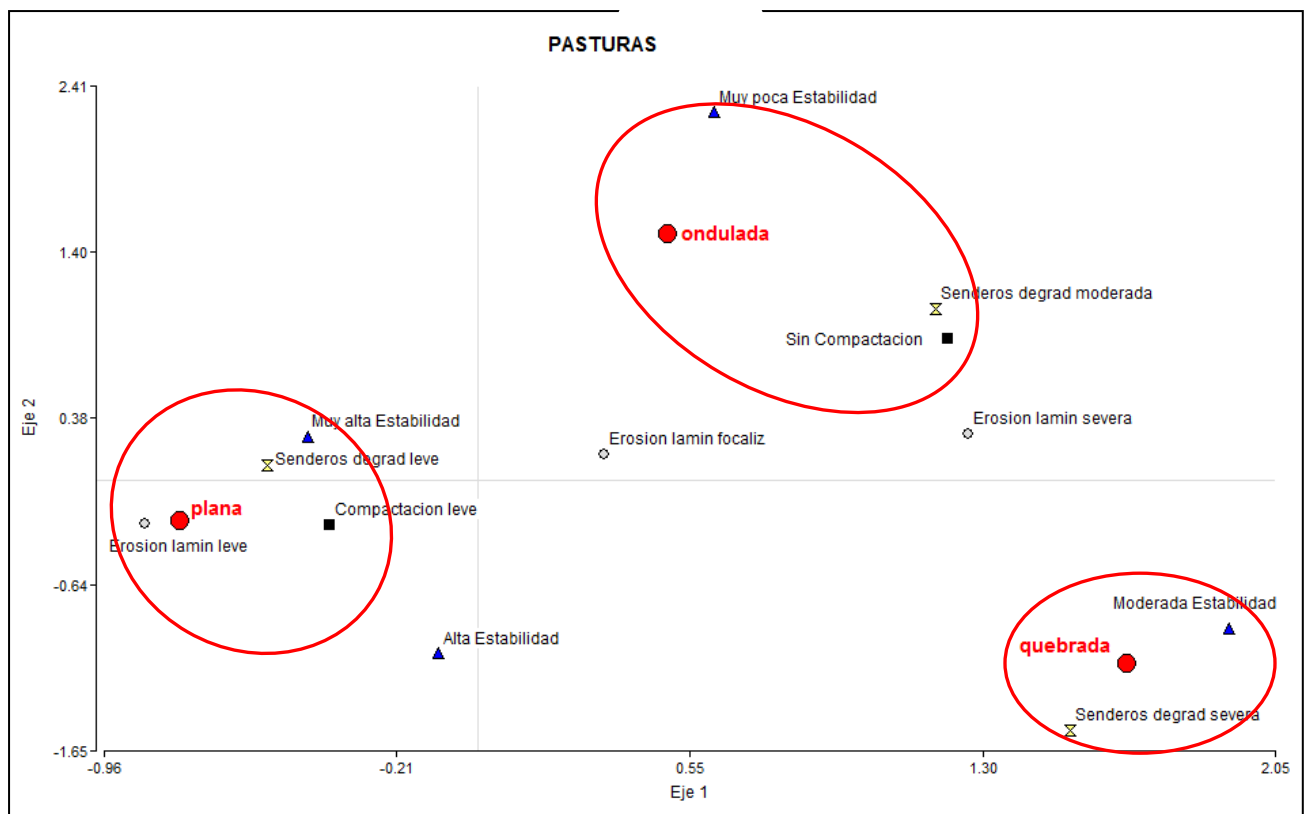


Figura 13 Plano de correspondencias entre topografía y los valores de indicadores de pasturas.

Las pasturas con topografía plana (0-10%) muestran correspondencia con erosión laminar leve, muy alta estabilidad del suelo superficial, senderos de ganado con degradación leve y compactación leve del suelo, las pasturas con topografía ondulada (11-30%) muestran correspondencia con muy poca estabilidad del suelo superficial, senderos de ganado con

degradación moderada y sin compactación del suelo, por último las pasturas con topografía quebrada (>30%) muestran correspondencia con moderada estabilidad del suelo superficial y senderos de ganado con degradación severa.

#### 4.3.2. Diferencias entre contenidos de macroporos y de carbono orgánico en los primeros 20 cm del suelo

Se realizaron estimaciones visuales de la cantidad de macroporos en %, diferenciándose bioporos (es decir, poros formados por actividad biológica de la fauna del suelo o raíces de plantas) y poros estructurales (es decir, poros que existen debido a que hayan espacios entre los agregados del suelo), ver cuadro 40.

Cuadro 40 Macroporos totales, bioporos y poros estructurales de los primeros 20 cm del suelo en las parcelas estudiadas (n=38)

Variable	n	Promedio (%)	Mínimo observado (%)	Máximo observado (%)
Macroporos	38	9.50	5.00	14.00
Bioporos		1.84	0.00	5.00
Poros por estructura		7.66	4.00	11.00

Se encontró que no existe diferencia significativa entre macroporos totales y uso de la tierra o topografía del terreno. Sin embargo, tanto en bioporos y poros estructurales, existe diferencia significativa entre uso de la tierra, pero no entre topografías del terreno (ver cuadro 41).

Cuadro 41 Prueba de ANAVA para macroporos totales, bioporos y poros estructurales en el suelo

VARIABLE	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Macroporos totales	Modelo	0.03	1	0.03	0.01	0.9379
	Uso tierra	0.03	1	0.03	0.01	0.9379
	Error	155.47	36	4.32		
	Total	155.50	37			
	Modelo	4.79	2	2.40	0.56	0.5783
	Topografía	4.79	2	2.40	0.56	0.5783
	Error	150.71	35	4.31		
	Total	155.50	37			
Bioporos	Modelo	21.81	1	21.81	13.72	0.0007**
	Uso tierra	21.81	1	21.81	13.72	0.0007**
	Error	57.24	36	1.59		
	Total	79.05	37			
	Modelo	2.22	2	1.11	0.51	0.6076
	Topografía	2.22	2	1.11	0.51	0.6076
	Error	76.83	35	2.20		
	Total	79.05	37			
Poros de estructura	Modelo	20.32	1	20.32	7.45	0.0098**
	Uso tierra	20.32	1	20.32	7.45	0.0098**
	Error	98.24	36	2.73		
	Total	118.55	37			
	Modelo	1.26	2	0.63	0.19	0.8293
	Topografía	1.26	2	0.63	0.19	0.8293
	Error	117.29	35	3.35		
	Total	118.55	37			

F.V.=Fuente de variación, SC=Suma de Cuadrados, gl=Grados de libertad, CM=Cuadrados medios, F=F observada, p=probabilidad \*\* = indica diferencia significativa con un valor  $p < 0.05$

Cuadro 42 Cantidad de bioporos (en%) y poros estructurales en parcelas de granos básicos y pasturas

VARIABLE	Uso de la tierra	Medias (%)	N		
Bioporos	Granos básicos	1.0	17	<b>A</b>	
	Pastura	2.5	21		<b>B</b>
Poros de estructura	Granos básicos	8.5	17	<b>A</b>	
	Pastura	7.0	21		<b>B</b>

**Nota:** letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ , Test de LSD Fisher)

Los bioporos ocupan un menor volumen del suelo (1.0%) en parcelas con maíz que pastura (2.5%). Por otra parte, los poros estructurales ocupan 8.5% del volumen del suelo en parcelas de maíz versus 7.0% en pasturas (ver cuadro 42).

La mayor cantidad de poros estructurales en parcelas de maíz posiblemente se debe a la labranza bianual con fuerza humana y esporádicamente mecanizada.

La mayor cantidad de bioporos en pasturas posiblemente se debe a una mayor cantidad de lombrices y raíces en el suelo, lo cual es relacionado con la distribución de excretas del ganado en la pastura, mayor permanencia anual de cobertura en el suelo con raíces de las pasturas y mayor actividad biológica por las condiciones de manejo en las pasturas.

En datos reportados por Udawatta et al 2005 y Udawatta y Anderson 2008 usando tomografía computarizada reportan para pastura 1.50 veces mayor cantidad de macroporos que cultivos en hilera como maíz (*Zea mayz*) y frijol de soya (*Glycine max*).

El comportamiento de una mayor cantidad de bioporos es similar que en investigaciones de cultivos con cereales en asocio con gramíneas en comparación a únicamente cereales (Schjonning et al 2006). Para otra investigación el orden descendente es de sistemas agroforestales seguido por pasturas y cultivos agrícolas (Udawatta et al 2005 y Udawatta y Anderson 2008). En suelos Alfisoles con cuatro usos del suelo la mayor cantidad de flujo de agua se atribuye entre otros factores a la mayor cantidad de poros causados por organismos invertebrados en los usos de bosque y pasto en comparación a cultivo agrícola y suelo desnudo (Kumar et al. 2005).

Para suelos Ustolls el constante manejo agrícola disminuye la porosidad y el tamaño de poros. En pasturas sin labranza se redujo la macroporosidad y microporosidad en comparación a pasturas con labranza. En forma general, en terreno sin labranza incrementa la porosidad total de capas superficiales del suelo en comparación a sitios con labranza (Schumacher et al. 2003). Además se presenta una mayor resistencia a la tracción en suelos donde la macroporosidad ha disminuido (Munkholm et al. 2002).

En la literatura se encuentra que la infiltración de agua es mayor en pasturas que en suelos agrícolas (Schumacher et al. 2003). Sin embargo, Dexter y Richard (2009) resaltan que la única existencia de macroporos no necesariamente implica que estén conectados y contribuyan a la conductividad hidráulica. Ellos reportan que la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) ocurre frecuentemente mediante los poros estructurales. Por tanto, es predecible que el flujo saturado se presente en los espacios de macroporos en suelos con reciente labranza. Concluyendo que el número de poros estructurales es más importante que su tamaño para cambiar la densidad de un suelo.

Se midió el carbono orgánico en los primeros 20 cm del suelo en todas las parcelas de maíz y pasturas estudiadas, ver cuadro 43 y anexo 13.

Cuadro 43 Carbono orgánico en los primeros 20 cm del suelo de las parcelas estudiadas (n = 38)

Variable	Uso de la tierra	n	Promedio (%)	Mínimo observado (%)	Máximo observado (%)
Carbono orgánico	Granos básicos	17	4.15	2.45	6.70
	Pastura	21	4.41	1.12	6.00

El carbono orgánico en el suelo no presentó ninguna diferencia significativa en uso de la tierra y topografías, posiblemente debido a la gran variabilidad natural en los contenidos de carbono orgánico en las parcelas y potreros y la relativamente baja cantidad de muestras (38) para este tipo de estudios. Por ejemplo con Rezaei y Gilkes (2004) encontraron que el carbono orgánico en el suelo se reduce en función de una mayor pendiente cuando estudiaron 360 unidades de muestreo.

#### 4.4. Evaluar el riesgo potencial de contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas de parcelas bajo uso agrícola o ganadero en la subcuenca Mopán-Chiquibul.

##### 4.4.1. Riesgo potencial de contaminación del agua por sedimentos

En las parcelas estudiadas, se realizaron observaciones en segmentos de ríos y quebradas y fuentes artificiales de agua, como pilas, piletas, pozos, aguadas y reservorios. De las 38 parcelas, únicamente 16 de ellos colindaban con una quebrada o río mientras 18 parcelas tenían una fuente de agua artificial.

En los cuadros 44 y 45 se presentan los valores obtenidos para los indicadores usados.

Cuadro 44 Indicadores de riesgo de contaminación del agua por sedimentos en segmentos de ríos y quebradas

<b>Presencia de erosión en cauces y orillas de ríos, quebradas o riachuelos</b>				
Erosión severa	Erosión notable	Erosión baja	Erosión muy baja	Sin erosión
1	3	9	3	0
<b>Acceso del ganado a las fuentes naturales de agua</b>				
Acceso muy dañino	Acceso dañino	Acceso poco dañino	Acceso con poco control	Acceso controlado
3	4	2	1	0
<b>Presencia de vegetación nativa en orillas de fuentes naturales de agua</b>				
Vegetación muy escasa	Vegetación escasa	Vegetación fragmentada	Vegetación moderada	Vegetación adecuada
4	1	8	0	3

Cuadro 45 Indicadores de riesgo de contaminación del agua por sedimentos en fuentes de agua artificiales

<b>Presencia de erosión en orillas de otras fuentes de agua artificiales (pozos, pilas, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>				
Erosión severa	Erosión notable	Erosión baja	Erosión muy baja	Sin erosión
2	8	8	0	0
<b>Acceso del ganado a las fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios,</b>				



<b>etc.)</b>				
Acceso muy dañino	Acceso dañino	Acceso poco dañino	Acceso con poco control	Acceso adecuado
4	5	1	3	3
<b>Presencia de vegetación nativa en las orillas de fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>				
Vegetación muy escasa	Vegetación escasa	Vegetación insuficiente	Vegetación moderada	Vegetación adecuada
4	8	5	1	0

Con los cuadros 44 y 45, se realizó el análisis de tablas de contingencia de lo cual se obtuvo que existe una clara relación entre la erosión y la cobertura vegetal de cauces naturales con Chi-cuadrado máximo verosímil de  $p = 0.0002$  (existe significancia) y para fuentes de agua artificiales con Chi-cuadrado máximo verosímil de  $p = 0.0024$  (existe significancia).

La erosión de las orillas se presentó en todos los puntos de muestreo, tanto en fuentes naturales como artificiales, a pesar que estas últimas usualmente son de agua acumulada con menor energía cinética de fuerza cortante en el suelo. Se estima que la baja cobertura vegetal (ver cuadros 44 y 45) que generalmente esté presente en las orillas de las fuentes de agua favorece la erosión, puesto que la vegetación tiene una influencia directa en la regulación e intercepción de sedimentos que pueden llegar a los cauces producto de la escorrentía superficial y con sus raíces profundas amarre en cierta medida el suelo en las orillas de cauces (Niczyporuk y Jankowska s.f., Hook 2003, Butler et al. 2006 y Mayer et al. 2007). Además, una vegetación arbórea (nativa) dentro del paisaje brinda servicios ecosistémicos importantes (Szymura et al. 2007).

La baja cobertura vegetal en las fuentes de agua (ver cuadros 44 y 45) con la geometría de los cauces combinado a la fuerza erosiva del agua al chocar con las paredes aumenta la erosión (Amiri-Tokaldany y Darby 2006). El proceso erosivo puede verse influenciado por la infiltración del agua en los cauces, el grado de humedad y porosidad del suelo lo cual es afectado por la presencia de vegetación (Chu-Agor et al. 2008). Aunque este proceso erosivo es natural, la actividad humana puede alterar los factores.

Habiendo comprobado una asociación con tablas de contingencia, se procedió al análisis de correspondencias para fuentes de agua (tanto naturales como artificiales), para determinar vinculaciones o correspondencias que valores categóricos observados sugieren entre erosión y cobertura vegetal a orillas de cauces. El análisis indica que fuentes de agua que muestran una reducida erosión de las orillas corresponden con buenas coberturas vegetales en las orillas y fuentes de agua que muestran una erosión notable corresponden con una cobertura vegetal reducida.

Es importante señalar que las fuentes de agua son poco protegidas, pues en los potreros el ganado tiene acceso a ellas con pocas restricciones (cuadro 44) y se observaron bastantes daños. Con el pisoteo del ganado hasta la orillas de fuentes de agua, evidencias de activa erosión laminar, aumento del riesgo de contaminación del agua por el exceso de nutrientes como el nitrógeno y/o fosforo o bien de microorganismos dañinos a través de la deposición de excrementos (ver figura 14).



Figura 14 Acceso directo del ganado a fuentes de agua

#### 4.4.2. Riesgo potencial por contaminación del agua con fertilizantes

Se estimó el riesgo potencial de contaminación de fuentes de agua por el uso de fertilizantes que únicamente se utilizan en el cultivo de maíz. El nitrógeno y fósforo al entrar en las fuentes de agua pueden causar un crecimiento no deseable de algas, lo cual afecta la calidad del agua para consumo y posiblemente la biodiversidad del sistema acuático (Ng Kee Kwong et al. 2002). Por otra parte, el consumo de agua contaminada con nitrógeno puede generar problemas de salud en infantes (EPA 2011).

En cambio, se consideró que el potasio proveniente de actividades agrícolas y ganaderas no alcanza valores tóxicos o dañinos para los ecosistemas o para la salud humana.

Por otra parte, aunque el fósforo en varios países ha causado problemas (Ng Kee Kwong et al. 2002, He et al, 2005 y Cacchiarelli et al 2008), se estima que esto no sea el caso en la zona de estudio. La disponibilidad de fosforo en los suelos de la zona es sumamente bajo (ver cuadro 24) por lo que, se puede esperar que eventual exceso de fósforo aplicado como fertilizantes (es decir, la parte no absorbida por las plantas) se quede fijado en el suelo. Por tanto, se considera el riesgo para contaminación de fuentes de agua con fosforo como sumamente bajo y por esta razón no se analizó.

El nitrógeno es el nutriente mas móvil en el suelo y en general tiene un alto potencial de contaminar aguas subterráneas por lixiviación y aguas superficiales (Ng Kee Kwong et al. 2002, Spruill et al. 2002, Hook 2003, Oren et al. 2004, Airaksinen et al. 2007, Mayer et al. 2007 y Ghiberto et al. 2009).

En la zona de estudio, se estima que la mayor fuente de contaminación potencial es la escorrentía superficial y lixiviación de fertilizantes. En otras zonas, también puede haber fugas de tanques sépticos, descargas de aguas residuales y erosión natural de depósitos o material parental (EPA 2011).

De los 21 productores que fueron entrevistados y con la verificación de observaciones de campo se constató que 10 de los 18 productores de maíz (*Zea mays*) y ninguno de los productores que tienen ganadería aplican fertilizantes nitrogenados (cuadro 46)

Cuadro 46 Características generales de la aplicación de fertilizantes en maíz (*Zea mays*)

Tipo producto	Cantidad en la aplicación (qq/ha)			Distancia de aplicación a fuentes de agua (m)		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
Urea	3	2	4	80	10	150
15-15-15	4	2	6	100	01	200
20-20-0	2	2	2	200	200	200
Sulfato de amonio	2	2	2	200	200	200

Cuadro 47 Indicadores de riesgo de la contaminación del agua por fertilizantes nitrogenados en maíz (*Zea mays*) de “maíz de la 1era”

Lixiviación y arrastre de fertilizantes hacia fuentes de agua proveniente de la aplicación				
Muy alto riesgo de contaminación del agua	Alto riesgo de contaminación del agua	Medio riesgo de contaminación del agua	Bajo riesgo de contaminación del agua	Sin riesgo
0	0	0	1	17
Distancia de aplicación de fertilizantes a fuentes de agua en granos básicos				
Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo
1	6	2	1	8

Los productores agrícolas al aplicar fertilizantes en ambas siembras de maíz utilizan el mismo tipo de fertilizante, sin embargo, generalmente se aplica una mayor cantidad al maíz de primera.

Se encontró únicamente un productor de maíz que aplica 6 quintales/ha de fertilizante con nitrógeno por ciclo productivo (lo cual según la escala utilizada representa un bajo riesgo de contaminación, ver anexo 7), el resto de productores aplica una cantidad menor, lo cual se estima no presente riesgo pues el cultivo puede adsorber toda la cantidad aplicada. De esta manera, aunque existen casos de aplicación de los fertilizantes a corta distancia de las fuentes de agua (cuadro 47) las bajas cantidades usadas indican que en la zona de estudio el riesgo potencial de contaminación del agua por uso de fertilizantes es mínimo.

Por otra parte, si por alguna razón las cantidades aplicadas aumentarían de manera importante, la costumbre de sembrar cerca de los ríos y quebradas podría constituir un posible riesgo en el futuro.

#### 4.4.3. Riesgo potencial por contaminación del agua con plaguicidas

En lo referente a plaguicidas aplicados por los productores se presenta información por cada plaguicida aplicado con sus ingredientes activos en anexo 8, 9, 10, 11 y 12.

De las entrevistas con verificaciones de campo se obtuvo que de los 18 productores de maíz (*Zea mays*) 10 aplican insecticidas y 17 aplican herbicidas. Por otra parte, 7 de los 16 productores ganaderos usan herbicidas en sus pasturas, ver cuadro 48.

Cuadro 48 Plaguicidas usados por los productores de maíz y productores ganaderos en la subcuenca Mopán-Chiquibul

<b>Insecticidas y fungicidas</b>			
<b>Nombre comercial</b>	<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Producción maíz</b>	<b>Producción pasto</b>
Rienda	Deltametrina	3	--
	Triazofos		
Captan	Tioftalamidas	1	--
Cipermetrina	Cipermetrina	5	--
Volatón	Phoxim	2	--
Kong Fu y Karate	Lambdacialotrina	2	--
	Deltametrina		
Tamarón	Metamidofos	1	--
Folidol	Metil paration	1	--
Semevin	Thiodicarb	3	--
Silvacur	Tebuconazol	1	--
	Triadimenol		
<b>Herbicidas</b>			
<b>Nombre comercial</b>	<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Producción maíz</b>	<b>Producción pasto</b>
Glifosato, Pilarsato	Glifosato	11	--
Hedonal, Fulmina, 2-4 D	2,4 Acido Diclorofenoxiacetico	11	6
Paracuat	Paracuat	3	--
Gramoxone	Paracuat	7	2
	Dicuat		
Atrazina	Atrazina	2	--
Combo	Picloram	--	1
	Metsulfuron metilo		

A continuación se presenta la toxicidad de los ingredientes activos usados en la subcuenca para mamíferos y organismos acuáticos, ver cuadros 49 y 50.

Cuadro 49 Toxicidad de plaguicidas usados en la subcuenca para mamíferos

<b>Insecticidas y fungicidas</b>		
<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Riesgo potencial</b>	<b>Nombre comercial</b>
Deltametrina	<b>Moderada peligrosidad</b>	Rienda, Kong Fu y Karate
Triazofos	<b>Moderada peligrosidad</b>	
Tioftalamidas	<b>Sin significativa peligrosidad</b>	Captan
Cipermetrina	<b>Moderada peligrosidad</b>	Cipermetrina
Phoxim	<b>Moderada peligrosidad</b>	Volatón
Lambdacialotrina	<b>Moderada peligrosidad</b>	Kong Fu y Karate
Metamidofos	<b>Alta peligrosidad</b>	Tamarón
Metil paration	<b>Alta peligrosidad</b>	Folidol
Thiodicarb	<b>Moderada peligrosidad</b>	Semevin
Tebuconazol	<b>Moderada peligrosidad</b>	Silvacur
Triadimenol	<b>Moderada peligrosidad</b>	
<b>Herbicidas</b>		
<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Riesgo potencial</b>	<b>Nombre comercial</b>
Glifosato	<b>Leve peligrosidad</b>	Glifosato, Pilarsato
2,4 Acido Diclorofenoxiacético	<b>Moderada peligrosidad</b>	Hedonal, Fulmina, 2-4 D
Paracuat	<b>Moderada peligrosidad</b>	Paracuat y Gramoxone
Dicuat	<b>Moderada peligrosidad</b>	Gramoxone
Atrazina	<b>Leve peligrosidad</b>	Atrazina
Picloram	<b>Sin significativa peligrosidad</b>	Combo
Metsulfuron metilo	<b>Sin significativa peligrosidad</b>	

El valor que se considera para esta categorización es la “dosis letal” (LD<sub>50</sub>) de ingrediente activo vía oral o dermal que ocasiona que el 50% de los individuos de prueba (mamíferos como ratas o conejos, o peces y crustáceos) mueran en miligramos de ingrediente activo sobre kilogramos del organismo, ver anexo 10 (Katz et al. 2006, The Washington Post 2010 y CDC 2011).

Como se presenta en el cuadro 49, para los 19 ingredientes activos en consideración existe información respecto a toxicidad en mamíferos (ver anexos 8, 9 y 11). La mayoría de ellos con moderada peligrosidad, sin embargo hay dos insecticidas usados en el cultivo de maíz que son de alta peligrosidad.

Cuadro 50 Toxicidad de plaguicidas usados en al subcuenca Mopán-Chiquibul para organismos acuáticos

<b>Insecticidas y fungicidas</b>		
<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Riesgo potencial</b>	<b>Nombre comercial</b>
Deltametrina	<b>Alta peligrosidad</b>	Rienda, Kung Fu y Karate
Triazofos	<b>SN</b>	
Tioftalamidas	<b>Extremadamente peligroso</b>	Captan
Cipermetrina	<b>Extremadamente peligroso</b>	Cipermetrina
Phoxim	<b>SN</b>	Volatón
Lambdacialotrina	<b>Extremadamente peligroso</b>	Kung Fu y Karate
Metamidofos	<b>Extremadamente peligroso</b>	Tamarón
Metil paration	<b>Alta peligrosidad</b>	Folidol
Thiodicarb	<b>SN</b>	Semevin
Tebuconazol	<b>SN</b>	Silvacur
Triadimenol	<b>SN</b>	
<b>Herbicidas</b>		
<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Riesgo potencial</b>	<b>Nombre comercial</b>
Glifosato	<b>Leve peligrosidad</b>	Glifosato, Pilarsato
2,4 Acido Diclorofenoxiacetico	<b>Alta peligrosidad</b>	Hedonal, Fulmina, 2-4 D
Paracuat	<b>Alta peligrosidad</b>	Paracuat y Gramoxone
Dicuat	<b>SN</b>	Gramoxone
Atrazina	<b>Leve peligrosidad</b>	Atrazina
Picloram	<b>Moderada peligrosidad</b>	Combo
Metsulfuron metilo	<b>Leve peligrosidad</b>	

SN = sin información

En la categorización de este indicador, a veces se usa una escala cualitativa que describe el nivel toxico de plaguicidas en organismos acuáticos como peces y crustáceos. Sin embargo, a veces también se presentan valores en mg/kg de toxicidad y bioacumulación en peces y crustáceos (EPA 2011 y OMS 2011) pero para pocos ingredientes activos, como Deltametrina, Glifosato, Picloram y Cipermetrina. Es importante destacar que para algunos ingredientes activos no existe información o no se encontró en la literatura revisada.

Únicamente para 12 ingredientes activos de plaguicidas se encontró información (ver anexos 9 y 11), de los cuales ocho de ellos presentan extrema a alta peligrosidad y los restante cuatro corresponden únicamente a herbicidas con leve a moderada peligrosidad (ver cuadro 50 y anexo 8). Lo cual indica mayor riesgo para organismos acuáticos por el uso actual de insecticidas y fungicidas en comparación a los herbicidas.

También es importante revisar la movilidad de los ingredientes activos de los plaguicidas, pues el ingrediente activo tiene dos formas de llegar a contaminar las aguas: a través de lavado del suelo y por medio de una introducción directa. La primera posibilidad que el ingrediente activo llegue a las aguas se revisa mediante un análisis de su movilidad y el tiempo que tarda el producto en degradarse (“vida media”) en el suelo (cuadro 51), mientras la segunda opción se puede estimar mediante una revisión de las prácticas que tengan los productores respecto al llenado y lavado de su equipo de aplicación (en la subcuenca solamente bombas de espalda) y el manejo de los envases utilizados (ver anexo 12).

Cuadro 51 Movilidad de los plaguicidas en el suelo usados en la subcuenca Mopán-Chiquibul

<b>Insecticidas y fungicidas</b>				
<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Vida media en suelo (días)</b>	<b>Fijación en suelo</b>	<b>Riesgo potencial</b>	<b>Nombre comercial</b>
Deltametrina	7 a 14	SN	<b>Leve movilidad</b>	Rienda, Kung Fu y Karate
Triazofos	SN	SN	<b>SN</b>	
Tioftalamidas	1 a 10	Si fijación	<b>Leve movilidad</b>	Captan
Cipermetrina	8 a 16	Si fijación	<b>Moderada movilidad</b>	Cipermetrina
Phoxim	SN	SN	<b>SN</b>	Volatón
Lambdacialotrina	30 a 84	Si fijación	<b>Extremada movilidad</b>	Kung Fu y Karate
Metamidofos	2 a 12	SN	<b>Leve movilidad</b>	Tamarón
Metil paration	10 a 60	Si fijación	<b>Extremada movilidad</b>	Folidol
Thiodicarb	SN	SN	<b>SN</b>	Semevin
Tebuconazol	SN	SN	<b>SN</b>	Silvacur
Triadimenol	SN	SN	<b>SN</b>	
<b>Herbicidas</b>				
<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Vida media en suelo (días)</b>	<b>Fijación en suelo</b>	<b>Riesgo potencial</b>	<b>Nombre comercial</b>
Glifosato	1 a 174	Si fijación	<b>Extremada movilidad</b>	Glifosato, Pilarsato
2,4 Acido Diclorofenoxiacético	7 a 16	No fijación	<b>Moderada movilidad</b>	Hedonal, Fulmina, 2-4 D
Paracuat	480 a 4 745	Si fijación	<b>Extremada movilidad</b>	Paracuat y Gramoxone
Dicuat	SN	SN	<b>SN</b>	Gramoxone
Atrazina	60 a 100	No fijación	<b>Extremada movilidad</b>	Atrazina
Picloram	60	No fijación	<b>Extremada movilidad</b>	Combo
Metsulfuron metilo	14 a 180	No fijación	<b>Extremada movilidad</b>	

SN = sin información

La categorización de riesgo potencial de ingredientes activos se basó en dos variables a) días de vida media en el suelo (persistencia) y b) fijación del plaguicida a las partículas del suelo. Lo cual se relaciona a la movilidad del plaguicida.

Si el plaguicida tiene mayor persistencia en el suelo se traduce a mayor probabilidad de estar presente en un evento de lluvia y por tanto ser arrastrado en escorrentía o lixiviado. Con la fijación del plaguicida a las partículas del suelo, el plaguicida puede ser más móvil al no estar fijado o bien estar fijado e implica menor movilidad. Considerando estas dos variables se seleccionaron las categorías de riesgo potencial, reportando la categoría que mayor riesgo presentó entre las dos variables (ver anexos 8 y 12).

En el cuadro 51 de los 19 ingredientes activos existe información para 13 que muestra una tendencia a extrema movilidad, considerándolo como extremo riesgo potencial de contaminación para fuentes de agua superficiales por el arrastre de sedimentos en la escorrentía y por la lixiviación de contaminantes para fuentes subterráneas (ver cuadro 51 y anexo 12).

Cuadro 52 Indicadores de riesgo potencial de contaminación de fuentes de agua por las prácticas de manejo en la aplicación de plaguicidas, específicamente por la disposición de desechos y el lavado de equipo

<b>Riesgo de contaminación de fuentes de agua por actividades de manejo relacionadas con la aplicación de insecticidas en el cultivo de maíz</b>				
Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo
2	-	-	5	10
<b>Riesgo de contaminación de fuentes de agua por actividades de manejo relacionadas con la aplicación de herbicidas en el cultivo de maíz</b>				
Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo
2	-	-	7	8
<b>Riesgo de contaminación de fuentes de agua por actividades de manejo relacionadas con la aplicación de herbicidas en pasturas</b>				
Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo
-	-	-	3	13

En la producción de maíz (*Zea mays*), en general se presenta una tendencia de bajo a ningún riesgo de contaminar fuentes de agua por el manejo de equipo o envases cuando se aplican herbicidas o insecticidas. Sin embargo, se detectaron dos casos de muy alto riesgo, donde los productores que aplican tanto insecticidas como herbicidas y arrojan los desechos a las fuentes de agua, realizan la disolución y preparación de mezclas muy cercanas a las fuentes de agua y el lavado de equipo lo realizan en la fuente de agua.

En cuanto al uso de herbicidas en pasturas mejoradas solamente se encontraron algunos casos donde se estima que existe un bajo riesgo de contaminar fuentes de agua por el manejo de equipo o envases. Se encontró que los productores acarrean agua de fuentes de agua lejanas (a más de 100 m) con el uso de animales o bien tienen sitios específicos lejanos a fuentes de agua para la preparación de mezclas y lavado del equipo. La disposición de desechos se realiza en sitios específicos alejados o bien se entierran y queman los desechos en sitios lejanos al agua.

#### 4.5. Identificar posibles tendencias en el uso de la tierra en la subcuenca Mopán-Chiquibul.

Del análisis de imágenes de satélite LANDSAT se puede estimar los cambios en el uso de la tierra para la subcuenca Mopán-Chiquibul, ver cuadro 53.

Cuadro 53 Usos de la tierra en 2000, 2006 y 2010

Tipo de uso	Área en 2000 (ha)	Área en 2006 (ha)	Área en 2010 (ha)
Forestal	89 403	70 318	69 523
Agropecuario	111 462	130 547	131 342
Humedal y Cuerpos de agua	717	717	717
<b>TOTAL</b>	<b>201 582</b>	<b>201 582</b>	<b>201 582</b>

Fuente: CEMEC, 2011

Entre 2000 y 2006 hubo una fuerte reducción del área de uso forestal que fue convertido a usos agropecuarios, sin embargo, entre 2006 y 2010 la reducción en área forestal fue mucho menor. El área bajo uso agropecuario aumentó entre 2000 y 2010 del 55% del total del área de la subcuenca a 65%.

Por otra parte, cuando se compara la información aportada por los productores (cuadros 17, 18 y 19) es probable que la conversión más importante de bosque a usos agropecuarios se presentó antes del periodo de análisis aquí presentado (10 años), pues ellos manifiestan dominancia de



bosque para los últimos 20 años. Consecuente con describir que entre 1965 y 2000, más del 50% de los bosques han sido convertidos en tierras para cultivos y pastos (INE 2001).

Cuadro 54 Dinámica usos de la tierra considerando el 2000, 2006 y 2010

Dinámicas de cambio	2000-2006-2010 (ha)
<b>Forestal sin cambio</b>	58 935
<b>Agropecuario sin cambio</b>	101 826
<b>Agropecuario 2000 - Agropecuario 2006 - Forestal 2010</b>	6331
<b>Forestal 2000 - Forestal 2006 - Agropecuario 2010</b>	8079
<b>Forestal 2000 - Agropecuario 2006 - Forestal 2010</b>	1675
<b>Agropecuario 2000 - Forestal 2006 - Agropecuario 2010</b>	723
<b>Agropecuario 2000 - Forestal 2006 - Forestal 2010</b>	2582
<b>Forestal 2000 - Agropecuario 2006 - Agropecuario 2010</b>	20 714
<b>Humedal sin cambio</b>	178
<b>Cuerpos de agua sin cambio</b>	539
<b>TOTAL</b>	201 582

Fuente: CEMER 2011

Por otra parte, como se observa en cuadro 54, los cambios no siempre son irreversibles pues en ocasiones el uso agropecuario cambia por uso forestal (lo cual incluye vegetación secundaria o “guamil”). Sin embargo, algunos de los cambios son difíciles de explicar y podrían ser consecuencia de la forma distinta de interpretar las imágenes en las diferentes fechas.

Considerando el detalle de las imágenes (píxeles de 30m x 30m) y el método empleado para la definición y verificación de áreas forestales (UVG et al. 2011) se considera que se pueda presentar alguna confusión con áreas de guamiles o bien terrenos en descanso agropecuario que a veces se interpreten como “uso forestal” y a veces como “uso agropecuario”. Esto podría ser la razón de encontrar zonas que fueron interpretadas como uso forestal en 2000 y 2010 y agropecuario en 2006, lo cual parece ser una combinación poco probable por el tiempo que requiere un bosque en crecer.

Es importante resaltar que el 70% del área de la subcuenca Mopán-Chiquibul se encuentra en áreas protegidas (figura 18): 22% el área núcleo y 24% zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera Montañas Mayas-Chiquibul, 10% área de usos múltiples y 14% zona de amortiguamiento de la Reserva de Biosfera Maya, de esta última el área núcleo se encuentra fuera de la subcuenca. Fuera de áreas protegidas, el 60% del área tiene una topografía (casi) plana y el resto ondulado y/o quebrado. En áreas protegidas el 55% es topografía plana y el resto ondulado y/o quebrado.

En 2010, del total de área protegida en las subcuenca el 57% del área se encuentra bajo uso agropecuario y 43% bajo uso forestal. Fuera de áreas protegidas, el 83% está en uso agropecuario y 17% en uso forestal. La mayor cobertura de uso forestal probablemente se debe a mayor control en áreas protegidas para la conservación de bosque (UICN 2008). En las zonas de amortiguamiento, donde existe menos restricciones para la producción agrícola y ganadera, generalmente se observa que el área agropecuaria es mayor que la forestal (figura 18).

En las figuras 15, 16 y 17. Se observa la distribución espacial de los usos de la tierra, forestal y agropecuario en 2000, 2006 y 2010 respectivamente.

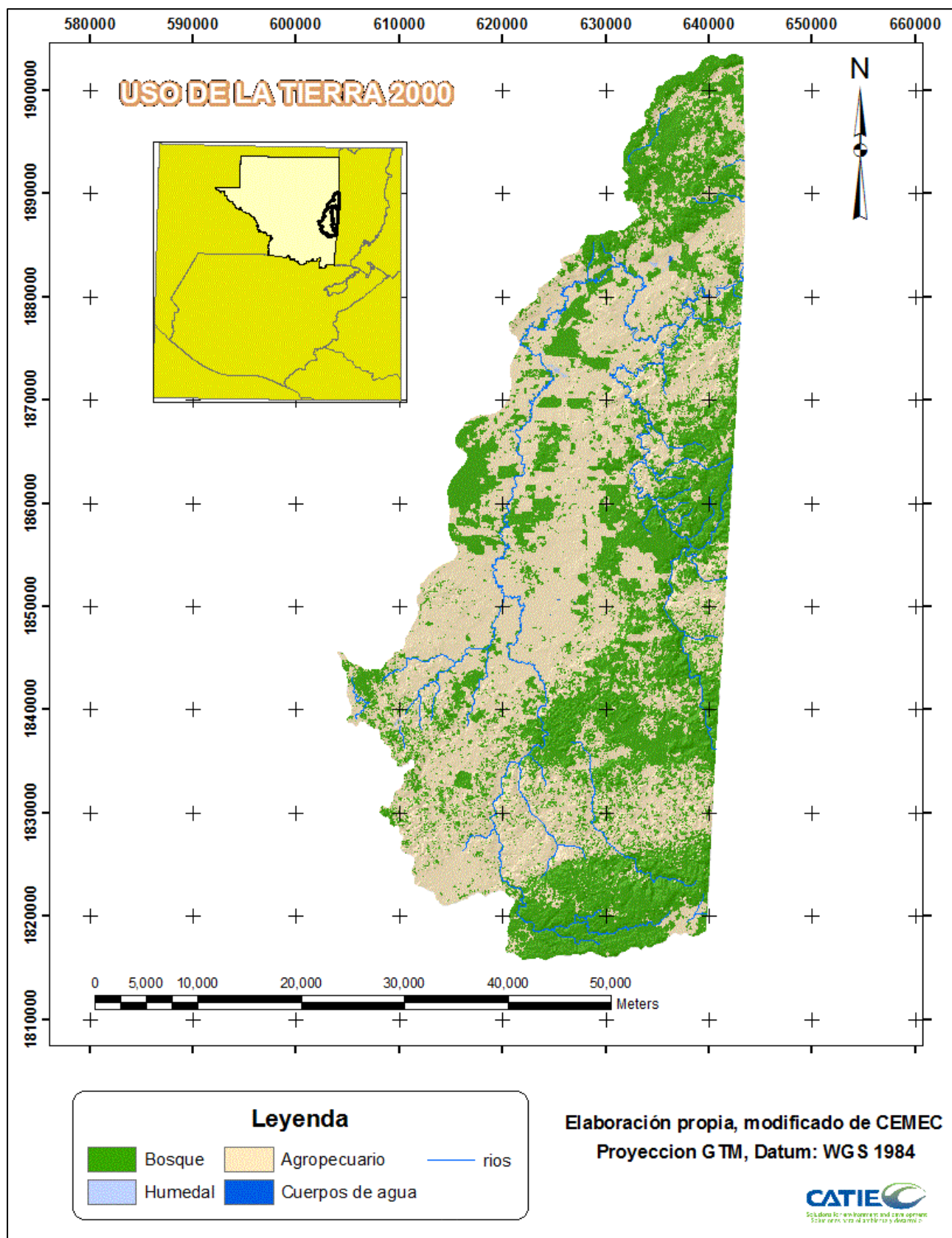


Figura 15 Uso de la tierra subcuenca Mopán-Chiquibul 2000, Petén, Guatemala

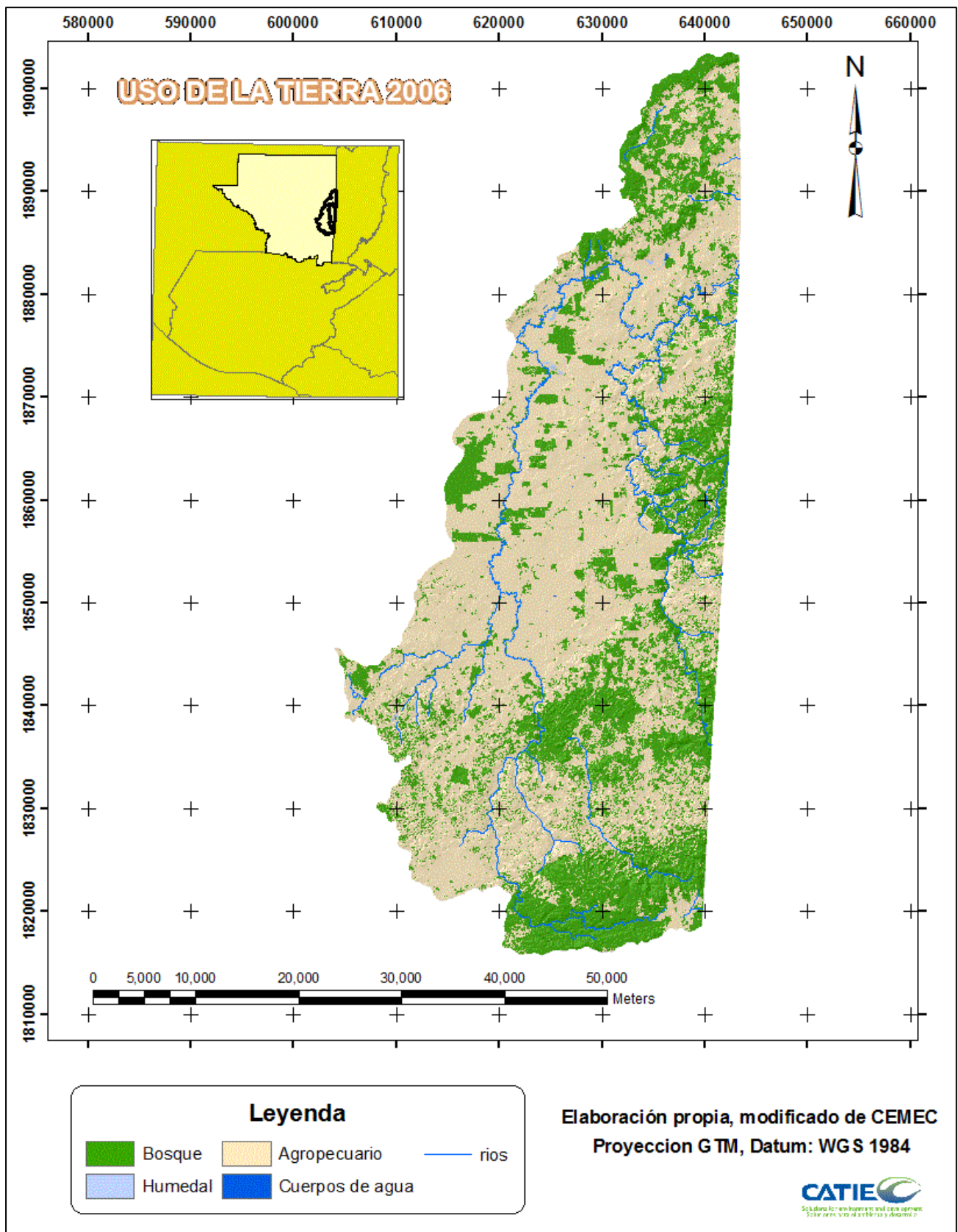


Figura 16 Uso de la tierra subcuenca Mopán-Chiquibul 2006, Petén, Guatemala

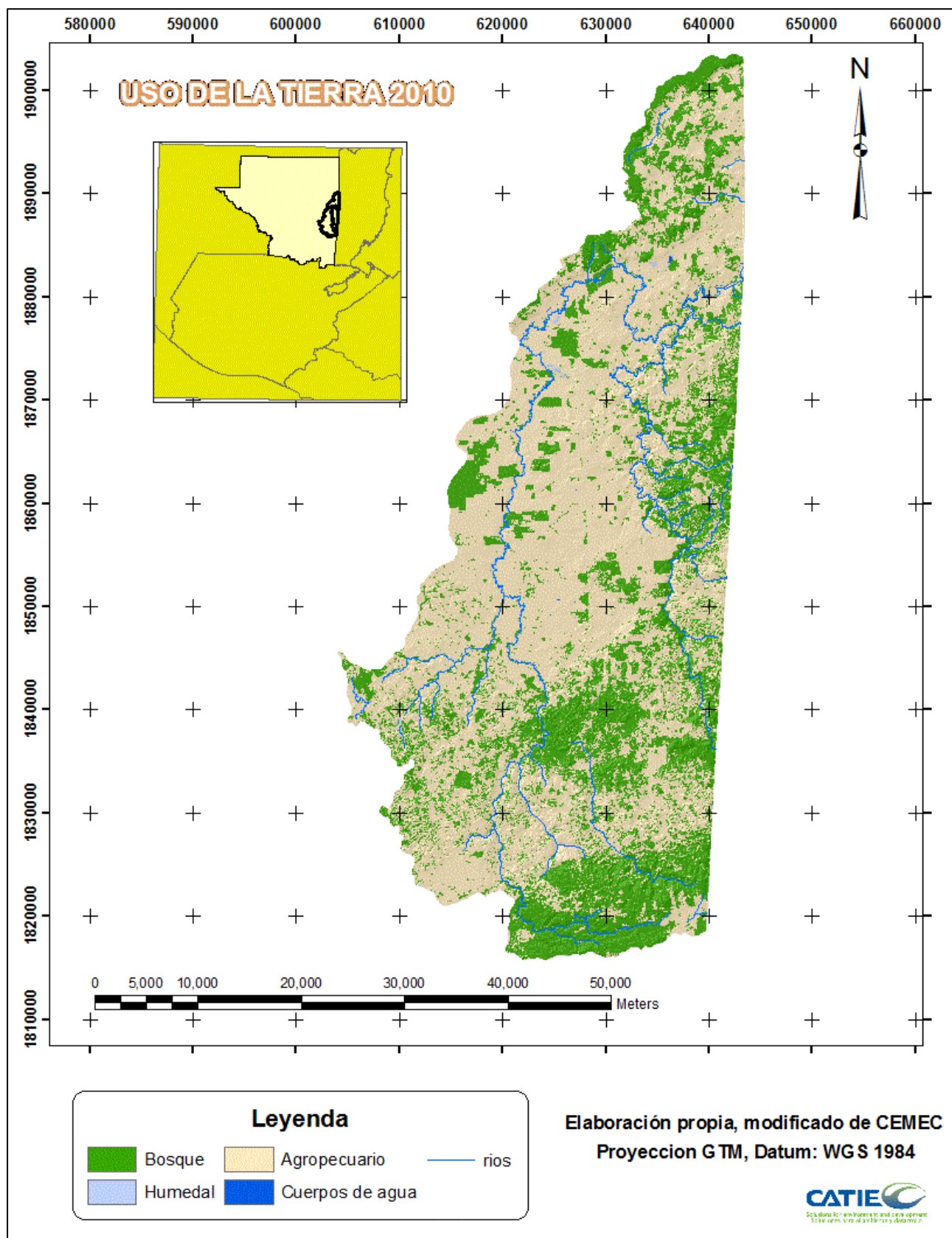


Figura 17 Uso de la tierra subcuena Mopán-Chiquibul 2010, Petén, Guatemala

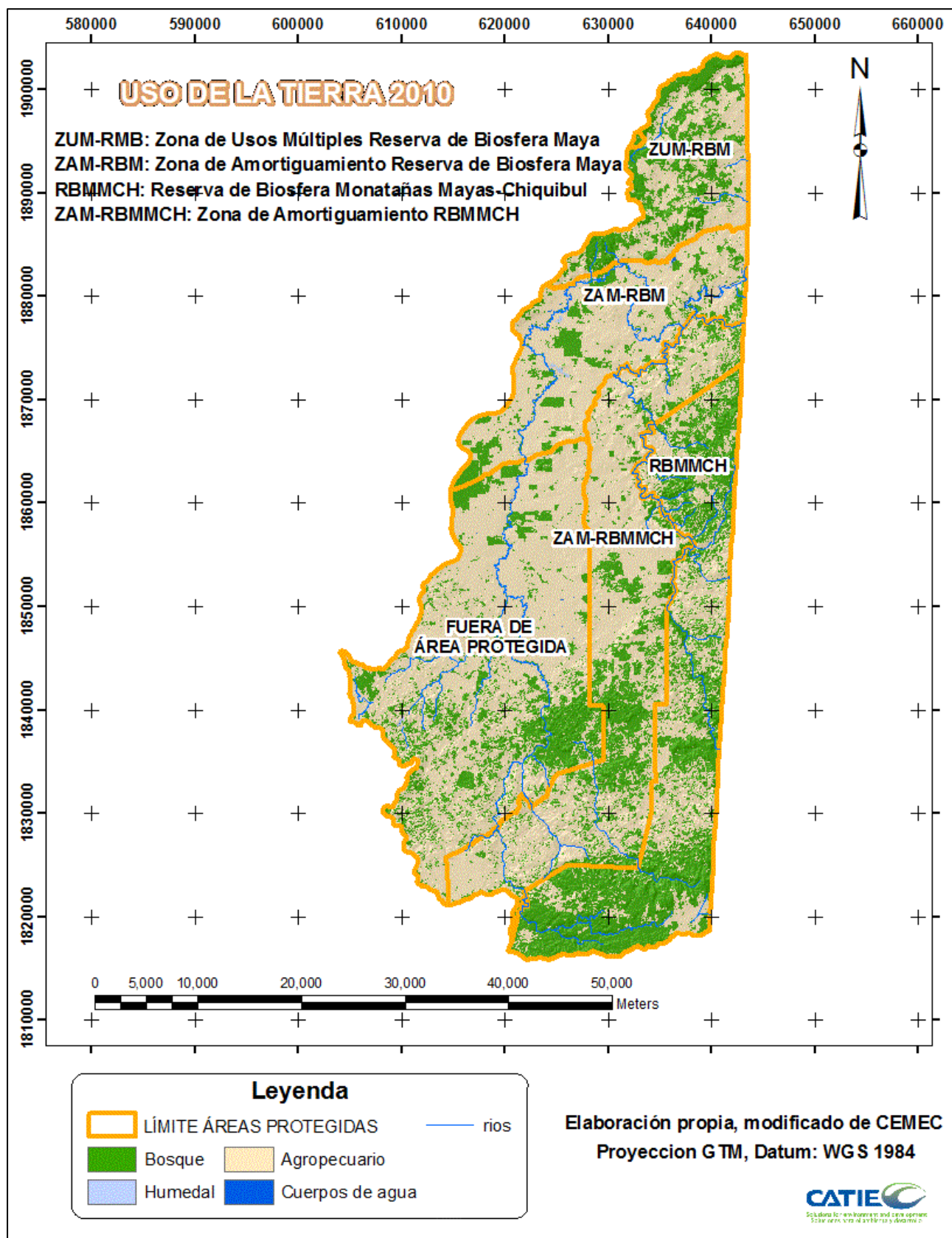


Figura 18 Áreas protegidas y usos de la tierra 2010, Petén, Guatemala

Cuadro 55 Dinámica usos de la tierra en relación a pendientes del terreno

Rango pendiente (%)	Uso de la tierra	Área en 2000		Área en 2006		Área en 2010	
		ha	%	ha	%	ha	%
Mayor 30	Forestal	16 331	8.1	14 794	7.4	15 010	7.4
	Agropecuario	11 343	5.6	12 880	6.4	12 664	6.4
10.1 a 30	Forestal	29 332	14.6	24 642	12.2	24 598	12.2
	Agropecuario	28 637	14.2	33 328	16.5	33 372	16.5
0 a 10	Forestal	43 740	21.7	30 881	15.3	29 915	14.9
	Agropecuario	71 482	35.5	84 340	41.9	85 306	42.3
Humedal y cuerpos de agua sin cambios		717	0.3	717	0.3	717	0.3
<b>TOTAL</b>		201 582	100	201 582	100	201 582	100

El uso agropecuario de las tierras planas en la subcuenca Mopán-Chiquibul aumentó de 35.5% en 2000 a 41.9 % en 2006 y 42.3% en 2010, en caso de tierras onduladas estos porcentajes son 14.2% en 2000 a 16.5% en 2006 y 16.5% en 2010. Finalmente, para tierras quebradas, se aumentó de 5.6% en 2000, a 6.4 en 2006 y 6.4% en 2010 (figura 19). Esta tendencia sigue patrones de uso en otras zonas tropicales donde la cobertura forestal se mantendrá en suelos poco profundos y en condiciones montañosas de alta pendiente (Bouman et al. 2000 y Ziegler et al. 2003).

Es evidente la tendencia de cambio hacia usos agropecuarios en la subcuenca Mopán-Chiquibul, por tanto las condiciones de manejo, riesgos potenciales a la degradación del suelo, contaminación del agua por sedimentos, fertilizantes y plaguicidas son factores que deben considerarse para mitigar el impacto de la expansión de los sistemas agropecuarios.

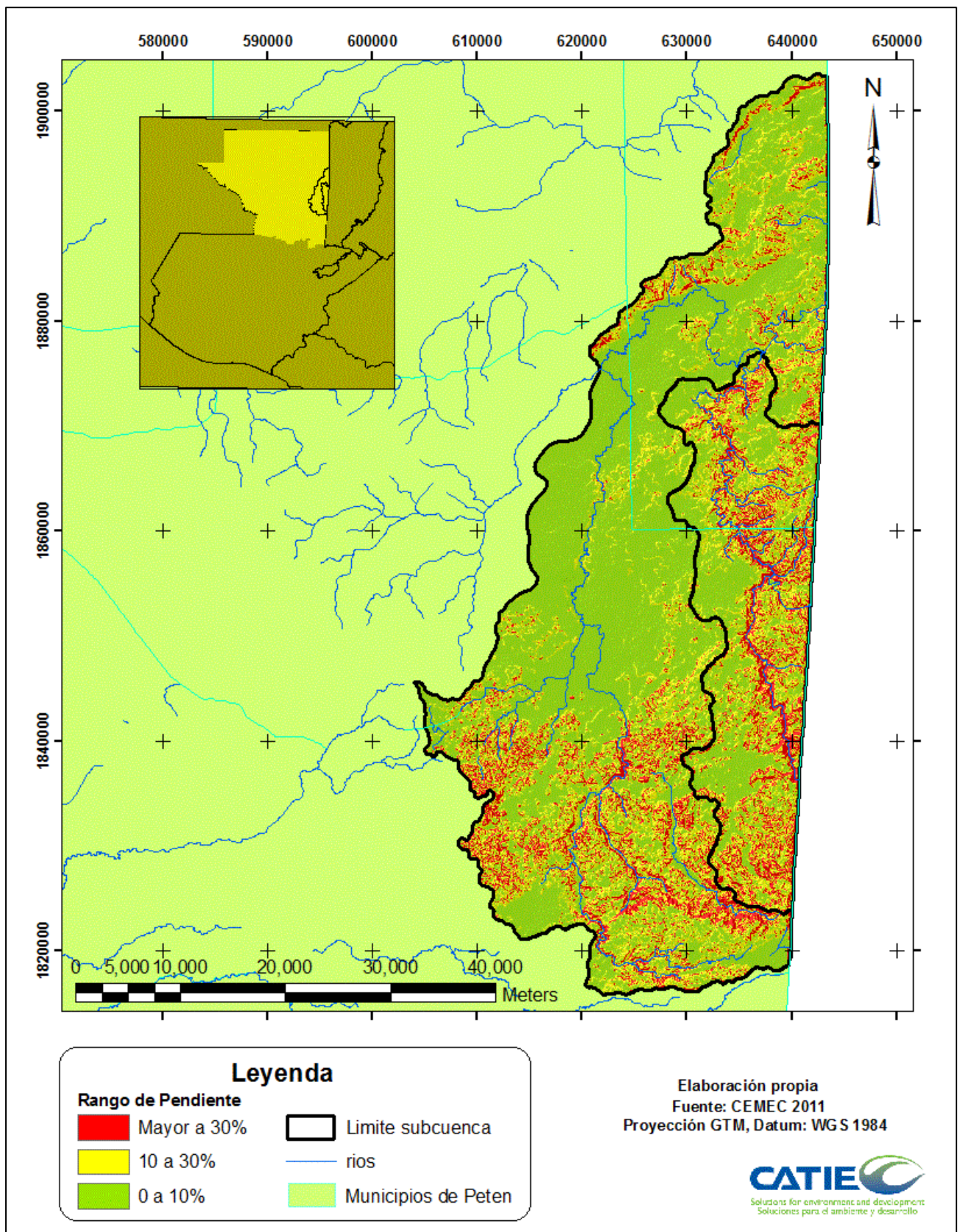


Figura 19 Distribución de pendientes de la subcuena Mopán-Chiquibul, Petén, Guatemala

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- En la subcuenca Mopán-Chiquibul, Petén, Guatemala, dominan el cultivo de maíz (*Zea mays*) y las pasturas de *Brachiaria brizantha* entre los usos agropecuarios. En ninguno de ellos se presentaron casos significativos de movimientos en masa o erosión en cárcavas, lo cual se atribuye al hecho que los terrenos que presentan las pendientes más fuerte en la zona se caracterizan por estar cubiertos por suelos muy superficiales formados en roca caliza permeable, lo cual reduce de manera importante la posibilidad que se presenten estos fenómenos.
- Tanto en parcelas de maíz como en pasturas la erosión laminar fue notoria, sobre todo en terrenos con pendientes mayores a 10%. Se estima que esto se debe a el manejo del cultivo de maíz con una reducida cobertura del suelo (por malezas o rastrojos) y al crecimiento macollador de la *B. brizantha*, dejando en ambos usos de la tierra una relativamente alta superficie de suelo desnudo que es vulnerable al impacto de la lluvia y la erosión laminar.
- La estabilidad de los agregados del suelo en el horizonte A generalmente es muy alta, aunque se observó una tendencia que suelos con texturas gruesas y ubicados en terrenos con mayor pendiente tienen menor estabilidad. Este agrava el riesgo de que se presente erosión laminar en estas condiciones.
- En pendientes mayores a 30% se pueden presentar “senderos de vaca” que generalmente muestran una mayor degradación del suelo que terrenos donde no existen estos senderos.
- Aunque no hay relación con el uso de la tierra, la erosión en los caminos de acceso a las parcelas es importante por el alto tráfico y la falta de revestimiento en los caminos.
- La erosión de las orillas de agua y la contaminación del agua por sedimentos es importante en la zona de estudio debido a la producción del cultivo de maíz hasta orillas de las fuentes y el prácticamente libre acceso del ganado. Estas formas de degradación de las fuentes de agua se agravan por a la reducida cobertura vegetal de las orillas.
- En la actualidad existe poco riesgo de contaminación de las fuentes de agua por fertilizantes debido al bajo uso de los mismos en el cultivo de maíz y la ausencia de su uso en pasturas.
- En la subcuenca, el uso de insecticidas es común en el cultivo de maíz, mientras que herbicidas se usan comúnmente tanto en pasturas como en parcelas de maíz. Aunque muchas familias productoras manejan bien su equipo de aplicación de plaguicidas y los desechos (envases), se encontraron algunos casos donde malas prácticas contaminan las fuentes de agua.
- Varios de los insecticidas usados en el cultivo de maíz tienen una alta toxicidad para organismos acuáticos y una moderada toxicidad para mamíferos. Los herbicidas usados en maíz y pasturas generalmente tienen una moderada toxicidad para organismos acuáticos y una baja toxicidad para mamíferos. Cuando se debe combina esta información con datos sobre la movilidad de plaguicidas en el suelo y el tiempo durante el cual permanece activo, se concluye que en la subcuenca los ingredientes activos de Metamidofos, Metil paration y Lambdacialotrina en insecticidas y Paracuat y 2,4 Acido Diclorofenoxiacetico en herbicidas



constituyen el peligro potencial más importante para contaminar las fuentes de agua y causar daños a organismos acuáticos o mamíferos.

- El uso agropecuario de la tierra en la subcuenca Mopán-Chiquibul aumentó en áreas con pendientes menores al 10% de 35.5% en 2000 a 41.9% en 2006 y 42.3% en 2010, en caso de tierras onduladas estos porcentajes son 14.2 en 2000 a 16.5 en 2006 y 16.5% en 2010. Finalmente, para tierras quebradas, se aumentó de 5.6% en 2000, 6.4 en 2006 y 6.4% en 2010. Si estas tendencias de cambio se mantienen, el riesgo que la degradación de la tierra en la subcuenca se acelere es reducido. Caso contrario, si en el futuro el relativamente alto porcentaje de tierras quebradas bajo bosque se reduce por mayor conversión a usos agropecuarios, es de esperar que la erosión hídrica en la subcuenca aumente.

## **5.2. Recomendaciones**

- Es necesario reducir la actividad productiva de maíz y pastoreo en los cerros de topografía ondulada (pendiente 10% a 30%) y quebrada (mayor al 30%) con la intención de mantener una mayor cobertura vegetal que reduzca el proceso de erosión laminar en estos sitios.
- Reducir la aplicación de insecticidas con ingrediente activos Metamidofos, Metil paration y Lambdacialotrina, y herbicidas con ingredientes activos Paracuat y 2,4 Acido Diclorofenoxiacético, mediante el uso de plaguicidas alternativos, mejoramiento tecnológico para la prevención y control de plagas y malezas y capacitación de las familias productoras.
- La dinámica en el uso de la tierra de la subcuenca claramente muestra una tendencia de expansión de los usos agropecuarios en deterioro de los bosques. Es necesario reducir esta expansión, por ejemplo mediante acciones que promuevan una intensificación de los sistemas agropecuarios ya existentes, mediante la implementación de sistemas agroforestales y silvopastoriles (Pezo 2009). Pero también es esencial no perder la integración y conectividad en el sistema agroecológico el cual genera producción y presta servicios ambientales.
- Se recomienda realizar capacitaciones e innovaciones tecnológicas para mejorar la cobertura vegetal, reducir el impacto de actividades agrícolas a orillas de fuentes de agua y reducir el acceso directo del ganado a fuentes de agua.
- Se debe fomentar la discusión a nivel local entre tomadores de decisión en instituciones gubernamentales y no gubernamentales para disminuir el avance de la frontera agrícola y pecuaria, teniendo en cuenta en la discusión los factores socioeconómicos en la toma de decisiones de los propietarios.
- Resaltar en los espacios de discusión los efectos positivos de mejoras tecnológicas e impactos de actitudes de los actores, que apliquen corriente arriba y beneficien a actores corriente abajo en la subcuenca Mopán-Chiquibul.

## 6. LITERATURA CITADA

- Aburas, M; Payton, R; Gowing, J. s.f. Assessment of soil erodibility, degradation and its relation to land use practices in Aljabal Alakhdar region, Libya. School of Agriculture, Food and Rural Development, Newcastle University. UK. 23 p.
- AgSAP Conference (2009, Egmond aan Zee, NL). 2009. Perugini, M; Toderi, M; Seddaiu, G; Orsini, G; De Sanctis, P; Roggero, P. Integrated impact assessment of agroenvironmental schemes on soil erosion and water quality. Polytechnic University of Marche, IT. Marche, IT. 2 p.
- Amiri-Tokaldany, E; Darby, S. 2006. A model for stability analysis of a multi-layered river bank (SAMLIR). Journal Agriculture Science Technology. 8(2006). 61-76 p.
- Airaksinen, S; Heiskanen, M; Heinonen-Tanski. 2007. Contamination of surface run-off water and soil in two horse paddocks. Journal Bioresources Technology. 98(2007). 1762-1766 p.
- Barbash, J; Thelin, G; Kolpin, D; Gilliom, R. 2001. Major herbicides in ground water: Results from the national water-quality assessment. Journal Environmental Quality. 30(2001). 831-845 p.
- Betancourt, H. 2006. Evaluación bioeconómica del impacto de la degradación de pasturas en fincas ganaderas de doble propósito en El Chal, Petén, Guatemala. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 101 p.
- Beyene, A; Gibbon, D; Haile, M; 2006. Heterogeneity in land resources and diversity in farming practices in Tigray, Ethiopia. Journal Agricultural Systems. 88(2006). 61-74 p.
- Boothroyd, I; Quinn, J; Langer, E; Costley, K; Steward, G. 2004. Riparian buffers mitigate effects of pine plantation logging on New Zealand streams: 1. Riparian vegetation structure, stream geomorphology and periphyton. Journal Forest Ecology and Management. 194(2004). 199-213 p.
- Bouman, B; Jansen, H; Schipper, R; Hengsdijk, H; Nieuwenhuysse, A. 2000. Tools for land use analysis on different scales: with case studies for Costa Rica. Kluwer Academic. Dordrecht, NL. 274 p.
- Brown, D; Pijanowski, B; Duh, J. 2000. Modeling the relationship between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest. Journal of Environmental Management. 59(2000). 247-263 p.
- Busu, D; Creanga, I; Bucur, G. 2008. Surface erosion-process and factor for soil degradation in Arges Subcarpathians. Romania. Bulletin UASVM, Agriculture. 65(1). 50-56 p.
- Butler, D; Franklin, D; Ranells, N; Poore, M; Green, J. 2006. Ground cover impacts on sediment and phosphorus export from manure riparian pasture. Journal of Environmental Quality. 35(2006). 2178-2185 p.
- Cacchiarelli, J; Galantini, J; Rosell, R. 2008. Estabilidad estructural y P en fracciones de agregados en la cuenca del A° el divisorio (Coronel Pringles, BA). Cl. Suelo. 26(1). 71-79 p.
- Casey, L; Paolisso, M. 1996. Respuesta del hogar rural a la degradación del suelo: un estudio de caso de género, pobreza y la dinámica demográfica en honduras. ICRW; World Neighbors. Nueva York, US. 52 p.

- Castilho, J; Fenzl, N; Guillen, S; Nascimento, F. 1999. Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in the Atoya river basin, Chinandega, Nicaragua. *Journal Environmental Pollution*. 110(2000). 523-533 p.
- CDM (Centers for Disease Control and Prevention, US). 2011. US Public health service syphilis study at Tuskegee. Consultado el 6 noviembre 2011. Disponible en <http://www.cdc.gov/tuskegee/timeline.htm>
- CEMEC (Centro de Monitoreo y Evaluación del CONAP, GT). 2011. Mapas digitales del cambio del uso de la tierra 2000-2010 en Petén. Petén, GT. Pixeles de 30 x 30 m. Color. 1 CD.
- Cerdan, O; Le Bissonnais, Y; Couturier, A; Bourennane, H; Souchère, V. 2002. Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. *Journal Soil & Tillage Research*. 67(2002). 99-108 p.
- CIP (Centro Internacional de la Papa). 2007. Utilization of high-resolution satellite images to improve statistics for the sweetpotato cultivated area of Kumi district, Uganda. Lima, PE. 20 p.
- CIPAC (Collaborative International Pesticide Analytical Council, DE). 2011. Hojas con información de plaguicidas. Braunschweig, DE. Consultado el 16 septiembre 2011. Disponible en; <http://www.cipac.org/infoshee.htm>
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2001. Plan maestro de la Reserva de Biosfera Maya 2001-2005. Guatemala, GT. 77 p.
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2004. Plan maestro 2004-2008. Reserva de biosfera montañas Mayas/Chiquibul. Complejo III, áreas protegidas del sur de Petén. Guatemala, GT. 81 p.
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2010. Plan maestro 2009-2013 de los complejos III y IV de sureste de Petén. CONAP, Petén, GT. 200 p.
- Conferencia de Naciones Unidas (2, 1992, Río de Janeiro, BR). 1992. Conferencia de Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo; Agenda 21. Río de Janeiro, BR. ONU. 4v.
- Congreso Brasileño de Ingeniería Agrícola (37, 2008, Sau Paulo, BR). 2008. Modeling fuzzy of soil erosion vulnerability at a watershed. Eds. De Souza Netto, GJ; Da Silva, A; Coelho, G. Lavras, BR. 4 p.
- Congreso de la República de Guatemala. 1989. Ley de áreas protegidas. Decreto 4-89. Guatemala, GT. 18 p.
- Cosgrove, D; Udersander, D; Cropper, J. 2001. Guide to pasture condition scoring. USDA-NRCS. Wisconsin, US. 8 p.
- Crommentuijn, T; Sijm, D; de Bruijn, J; van Leeuwen, K; van de Plassche, E. 1999. Maximum permissible and negligible concentrations for some organic substances and pesticides. *Journal of Environmental Management*. 58(2000). 297-312 p.

- Crosara, A. 2010. Textura de suelo (en línea). Montevideo, UY. Universidad de la Republica, UNCIEP, Facultad de Ciencias. Consultado 27 enero 2011. Disponible en; <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%203.pdf>
- Crosara, A. 2011. Fase gaseosa (en línea). Facultad de Ciencias. UDELAR, Montevideo, UY. 5 p. Consultado el 26 mayo 2011. Disponible en; <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Atmosfera%20del%20suelo.pdf>
- Cheng, H; Zou, X; Wu, Y; Zhang, C; Zheng, Q; Jiang, Z. 2006. Morphology parameters of ephemeral gully in characteristics hillslopes on the Loess Plateau of China. *Journal Soil & Tillage Research*. 94(2007). 4-14 p.
- Cheng, H; Wu, Y; Zou, X; Si, H; Zhao, Y; Liu, D; Yue, X. 2005. Study of ephemeral gully erosion in a small upland catchment on the Inner-Mongolian Plateau. *Journal Soil & Tillage Research*. 90(2006). 184-193 p.
- Chizana, C; Mapfumo, P; Albrecht, A; Van Wijk, M; Giller, K. 2007. Smallholders farmer's perceptions on land degradation and soil erosion in Zimbabwe. *Journal African Crop Science Society*. 8(2007). 1485-1490 p.
- Chouliaras, I; Tantos, V; Nitalos, G. s.f. A study on the influence of vegetation cover on the erosion of cohesive soils. Department of Forestry. Karditsa, TR. 8 p.
- Chu-Agro, M; Fox, G; Cancienne, R; Wilson, G. 2008. Seepage caused tension failures and erosion undercutting of hillslopes. *Journal of Hydrology*. 359(2008). 247-259 p.
- Dean, W; Bryant, R; Fahey, T. 2005 Phosphorus concentrations in overland flow from diverse locations on a New York dairy farm. *Journal of Environmental Quality*. 34(2005). 1224-1233 p.
- De la Cruz, R. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. INAFOR, Guatemala, GT. 30 p.
- De la Vega, G; Castiglioni, MG; Massobrio, MJ, Changas, CI; Santanatoglia, OJ; Irurtia, C. 2004. Infiltración en un Agiudol vertico bajo siembra directa en condiciones variables de cobertura humedad inicial. *Revista Ciencia del Suelo*. 22(1). 52-55 p.
- De Paz, J; Sánchez, J; Visconti, F. 2005. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. *Journal of Environmental Management*. 79(2006). 150-162 p.
- Deschenes, M; Bélanger, L; Giroux, J. 2002. Use of farmland riparian strips by declining and crop damaging birds. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 95(2003). 567-577 p.
- Dexter, A; Richard, G. 2009. The saturated hydraulic conductivity of soils with n-modal pore size distributions. *Journal Geoderma*. 154(2009). 76-85 p.
- Drewry, J. 2005. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: A review. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114(2006). 159-169 p.

- Du, J; Xie, H; Hu, Y; Xu, Y; Xu, C. 2009. Development and testing of a new storm runoff routing approach based on time variant spatially distributed travel time method. *Journal of Hydrology*. 369(2009). 44-54 p.
- Dukes, M; Evans, R; Gilliam, J; Kunickis, S. 2002 Effect of riparian buffer width and vegetation type on shallow groundwater quality in the middle coastal plain of North Carolina. *Journal American Society of Agricultural Engineers*. 45(2). 327-336 p.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 2004. Overview of the ecological risk assessment process in the office of pesticide programs. Washington, US. 92 p.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 2011. Información general (en línea). Washington, US. Consultado el 28 mayo 2011. Disponible en; <http://www.epa.gov>
- Ericksen, P; Ardón, M. 2003. Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras. *Journal Geoderma*. 111(2003). 233-248 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación la, IT). 1983. Guidelines for the control of soil degradation. FAO. Roma, IT. 38 p.
- FAOb (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación la, IT). 1983. Guidelines for land evaluation for Rainfed Agriculture. FAO. Roma, IT. 237 p.
- FAO (Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2008. Evaluación global de la degradación de tierras. FAO, Roma, IT. 113 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación la, IT). 2011. Hojas con información de plaguicidas. Roma, IT. Consultado el 22 octubre 2011. Disponible en; [http://www.fao.org/ag/agp/agpp/Pesticid/JMPR/Download/94\\_eva/tebucona.pdf](http://www.fao.org/ag/agp/agpp/Pesticid/JMPR/Download/94_eva/tebucona.pdf)
- FAOb (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación la, IT). 2011. Manejo de plagas y plaguicidas. Roma, IT. Consultado el 22 octubre 2011. Disponible en; <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/pests/en/>
- Feoli, E; Vuerich, L; Zerihun, W. 2001. Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socio-economic factors. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 91(2002). 313-325 p.
- Fisher, D; Steiner, J; Endale, D; Stuedemann, J; Schomberg, H; Franzluebbers, A; Wilkinson, S. 1999. The relationship of land use practices to surface water quality in the upper Oconee watershed of Georgia. *Journal Forest Ecology and Management*. 128(2000). 39-48 p.
- Foltz, R; Rhee, H; Yanosek, K. 2007. Infiltration, erosion and vegetation recovery following road obliteration. *Journal American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(6). 1937-1943 p.
- Gan, J; Lee, S; Liu, W; Haver, D; Kabashima, J. 2005. Distribution and persistence of pyrethroids in runoff sediments. *Journal Environmental Quality*. 34(2005). 836-841 p.
- Geissen, V; Kampichler, C; López-de Llergo-Juárez, J; Galindo-Acántara, A. 2007. Superficial and subterranean soil erosion in Tabasco, tropical Mexico: Development of a decision tree modeling approach. *Journal Geoderma*. 139(2007). 277-287 p.

- Geissen, V; López-de Llergo-Juárez, J; Galindo-Acántara, A; Ramos-Reyes, R. 2008. Erosión superficial y carstificación en Macuspana, Tabasco, sureste de México. *Revista Agrociencia*. 42(2008). 605-514 p.
- Geilfus, F. 2006. 80 herramientas para el desarrollo participativo. IICA. San José, CR. 134 p.
- Germer, S; Neill, C; Vetter, T; Chaves, J; Krusche, A; Elsenbeer, H. 2008. Implications of long-term land-use change for the hydrology and solute budgets of small catchments in Amazonia. *Journal of Hydrology*. 364(2009). 349-363 p.
- Ghiberto, P; Libardi, P; Brito, A; Trivelin, P. 2009. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. *Journal Agricultural Water Management*. 96(2009). 1443-1448 p.
- Gowland, B; Webster, L; Fryer, R; Davies, I; Moffat, C; Stagg, R. 2002. Uptake and effects of the cypermethrin-containing sea lice treatment Excis® in the marine mussel, *Mytilus edulis*. *Journal Environmental Pollution*. 120(2002). 805-811 p.
- Grace, J; Clinton, B. 2007. Protecting soil and water in forest road management. *Journal American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(5). 1579-1584 p.
- Hansen, N; Vietor, D; Munster, C; White, R; Provin, T. 2009 Runoff water quality from constructer roadside soils receiving large volume-based compost applications. *Journal American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 52(3). 793-800 p.
- He, Z; Yu, S; Stofella, P; Calvert, D; Yang, X; Banks, D; Baligar, V. 2005. Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. *Journal Soil Biology & Bichemistry*. 38(2006). 619-628 p.
- Hellkamp, A; Bay, J; Campbell, C; Easterling, K; Fiscus, D; Hess, G; McQuaid, B; Munster, M; Olson, G; Peck, S; Shafer, S; Sidik, K; Tooley, M. 2000. Ecological risk assessment. *Journal Environment Quality*. 29(2000). 795-804 p.
- Herrick, J; Van Zee, J; Havstad, K; Burkett, L; Whitford, W. 2009. Monitoring manual for grassland, shrubland and savanna ecosystems. Quick Start. USDA-ARS Jornada Experimental Range. New Mexico, US. Vol. I y II.
- Hill, M. 2008. Propiedades hídricas del suelo (en línea). Facultad de Agronomía. UDELAR, Montevideo, UY. 114 diapositivas a color. Consultado el 26 mayo 2011. Disponible en; [www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/.../TEORICOS/hidricas.ppt](http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/.../TEORICOS/hidricas.ppt)
- Honisch, M; Hellmeier, C; Weiss, K. 2002. Response of surface and subsurface water quality to land use changes. *GEODERMA*. 105(2002). 277-298 p.
- Hook, P. 2003. Wetlands and aquatic processes. *Journal Environmental Quality* 32(2003). 1130-1137 p.
- Hood, G; Bayley, S. 2009. A comparison of riparian plant community response to herbivory by beavers (*Castor Canadensis*) and ungulates in Canada's boreal mixed-wood forest. *Journal Ecology and Management* 258(2009). 1979-1989 p.
- Horn, R; Fleige, H. 2005. Introduction to the special issue on experiences with the development and application of a new simulation model predicting the dynamics of agro-physical soil

- state for selection of management practices to prevent soil erosion (SIDASS project). *Journal Soil & Tillage Research*. 83(2005). 1-3 p.
- IARNA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, GT). 2006. Perfil ambiental de Guatemala; tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. Guatemala, GT. 252 p.
- INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2001. Petén: salud, migración y recursos naturales. Guatemala, GT. 213 p.
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2011. Información climática de regiones de Guatemala. Guatemala, GT. Consultado el 13 octubre 2011. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt>
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2004. Atlas climatológico de la república de Guatemala. Guatemala, GT. Consultado el 07 diciembre 2011. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt>
- Iñiguez, L; Tejada, E. 1994. Producción de rumiantes menores en los valles interandinos de Sudamérica. Memorias de un taller sobre metodologías de la investigación de 1993. Tarija, BO. 224 p.
- IPCS (International Programme on Chemical Safety, SW). 2011. Hojas con información de plaguicidas. Ginebra, SW. Consultado el 16 septiembre 2011. Disponible en; <http://www.inchem.org/pages/pds.html>
- IPM (Integrated Pest Management Center, US). 2011. Base de datos de ecotoxicidad de plaguicidas. Washington, US. Consultado el 24 octubre 2011. Disponible en; <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/index.html>
- Jimenez, F. 2010. Valoración del estado de las franjas ribereñas. CATIE. Turrialba, CR. 15 p.
- Kahl, G; Ingwersen, P; Nutniyom, S; Totrakool, K; Pansombat, P; Thavornytikarn, P; Streck, T; 2007. Micro-Trench experiments on interflow and lateral pesticide transport in a sloped soil in Northern Thailand. *Journal of Environmental Quality*. 36(2007). 1205-1216 p.
- Katz, R; Kegeles, S; Kressin, N; Green, B; Wang, M; James, S; Russell, S; Claudio, C. 2006. The Tuskegee legacy project: Willingness of minorities to participate in biomedical research. *Journal of Health Care for the Poor and Underserved*. 17(4). 698-715 p.
- Kulli, B; Gysi, M; Flühler, H. 2002. Visualizing soil compaction based on flow pattern analysis. *Journal Soil & Tillage Research*. 70(2003). 29-40 p.
- Kumar, U; Ramesh, V; Sharma, K; Ramachandran, K; Victor, U. 2005. Tension infiltration for estimating pore distribution of Alfisols under different land management systems. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 53(3). 296-301 p.
- Lapworth, D; Goody, D. 2005. Source and persistence of pesticides in a semi-confined chalk aquifer of southeast England. *Journal Environmental Pollution*. 144(2006). 1031-1044 p.
- Leendertse, P; Reus, J; Bockstaller, C; Fomsgaard, I; Gutsche, V; Lewis, K; Nilsson, C; Pussemier, L; Trevisan, M; van der Werf, H; Alfaro, F; Blümel, S; Isart, J; McGrath, D; Seppälä, T. 2001. Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed

- in Europe and recommendations for future use. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 90(2002). 177-187 p.
- Legout, C; Leguédou, S; Le Bissonnais, Y; Malam Issa, O. 2004. Splash distance and size distributions for various soils. *Journal Geoderma*. 124(2005). 279-292 p.
- Liyanage, J; Watawala, R; Mallawatantri, A. 2005. Risk based evaluation of pesticide movement in right bank soils of the Walawa basin in southern Sri Lanka. *Journal Tropical Agricultural Research & Extension*. 8(2005). 84-89 p.
- Lobb, D; Huffman, E; Reicosky, D. 2006. Importance of information on tillage practices in the modelling of environmental processes and in the use of environmental indicators. *Journal of Environmental Management*. 82(2007). 377-387 p.
- Luijten, J. 2002. A systematic method for generating land use patterns using stochastic rules and basic landscape characteristics: results for a Colombian hillside watershed. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 95(2003). 427-441 p.
- Luijten, J. 1999. A tool for community-based water resources management in hillside watersheds. Tesis. PhD. Florida, US. 325 p.
- Luo, G; Zhou, C; Chen, X; Li, Y. 2007. A methodology of characterizing status and trend of land changes in oases: A case study of Sangong river watershed, Xinjiang, China. *Journal of Environmental Management*. 88(2008). 775-783 p.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala. Guatemala, GT. Esc. 1:250 000. Color. 1 CD.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2006. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50000 de la República de Guatemala año 2003. Guatemala, GT. 214 p.
- Mahboob, S; Ghazala; Sultana, S; Rafique, M; Nadeem, S; Chaudhry, A. 2009. Determination of organochlorine and nitrogen containing pesticide residues in water, sediments, and fish samples by reverse phase high performance liquid chromatograph. *Journal Agricultural Science & Technology*. 10(5). 9-12 p.
- Maloszewski, P; Stichler, W; Zuber, A; Rank, D. 2001. Identifying the flow systems in a karstic-fissured-porous aquifer, the Schneealpe, Austria, by modeling of environmental  $^{18}\text{O}$  and  $^3\text{H}$  isotopes. *Journal of Hydrology*. 256(2002). 48-59 p.
- Mangisoni, J. 2004. An empirical analysis of smallholder farmer participation in soil erosion control initiatives in Blantyre Shire highlands of Southern Malawi: a tale of inappropriate interventions. *Bunda Journal of Agriculture, Environmental Science and Technology*. Vol 2. 32-47 p.
- MAP (Programa Agroambiental Mesoamericano, CR). 2009. Informe de línea de base de impacto. Documento de trabajo v4. CATIE, Turrialba, CR. 94 p.
- Marinow, I; Lubenov, T; Velizarova, E. 2005. Assessment of the soil erosion risk in the Rakovitsa torrent, a tributary of the Struma river. *Silva Balcanica*. 6(1). 17-26 p.



- Margni, M; Rossier, D; Crettaz, P; Jolliet, O. 2001. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 93(2002). 379-392 p.
- Matin, M; Smakhtin, V; Palliyaguruge, M; Mohidee, S; Yapa, N; Ranjith, A; Gunasinghe, S; Jayakody, P. 2008. Development of a water resources assessment and audit framework for Sri Lanka. IWMI. Colombo, LK. 17 p.
- Mayer, P; Reynolds, S; McCutchen, M; Canfield, T. 2007. Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. *Journal of Environmental Quality*. 36(2007). 1172-1180 p.
- Maurice, L; Atkinson, T; Barker, J; Bloomfield, J; Farrant, A; Williams, A. 2006. Karstic behavior of groundwater in the English Chalk. *Journal of Hydrology*. 330(2006). 63-70 p.
- MESOTERRA (Proyecto de Manejo Sostenible de la Tierra para América Central, CA.). 2010. Informe anual 2009-2010 proyecto MESOTERRA. GAMMA-CATIE. Turrialba, CR. 51 p
- MESOTERRA (Proyecto de Manejo Sostenible de la Tierra para América Central, CA.). 2009. Plan operativo anual de proyecto MESOTERRA 2010. GAMMA-CATIE. Turrialba, CR. 10 p.
- MFEWS (Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para la Seguridad Alimentaria, GT); USAID (United States Agency for International Development, US). 2010. Guatemala; Situación de seguridad alimentaria. Guatemala, GT. 5 p.
- Munkholm, L; Schjonning, P; Kay, B. 2002. Tensile strength of soil cores in relation to aggregate strength, soil fragmentation and pore characteristics. *Journal Soil & Tillage Research*. 64(2002). 125-135 p.
- Munsell. 1975. Munsell soil color charts. Munsell color company. Baltimore, US. 20 p.
- Naghdi, R; Moradmand, A; Reza, M; Lotfalian, M. 2009. Soil porosity and soil stress for skidder and mule logging sites. *Journal Forest Science*. 3(2009). 103-112 p.
- Nachabe, M; Shah, N; Ross, M; Vomacka, J. 2005. Evapotranspiration of two vegetation cover in a shallow water table environment. *Journal Soil Science Society of America*. 69(2005). 492-499 p.
- Nagler, P; Glenn, E; Hinojosa-Huerta, O; Zamora, F; Howard, K. 2007. Riparian vegetation dynamics and evapotranspiration in the riparian corridor in the delta of the Colorado River, Mexico. *Journal of Environmental Management*. 88(2008). 864-874 p.
- Nazari, A; Ahmadi, H; Jafari, M; Ghoddousi, J. 2008. Effect of incipient gully mechanisms on topographic threshold conditions for gully initiation in southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed). *Journal Desert*. 13(2008). 31-43 p.
- Nikolaidis, N; Tzoraki, O. 2007. A generalized framework for modeling the hydrologic and biogeochemical response of a Mediterranean temporary river basin. *Journal of Hydrology*. 346(2007). 112-121 p.
- Niczyporuk, A; Jankowska-Huflejt, H. s.f. The effect of use way of the catchment on the content of mineral nutrients in water of small river. *Journal Grassland Science in Europe*. 14. 204-207 p.

- Nieuwenhuysse, A; Aguilar, A. 2010. ¿Cómo evaluar la condición de pasturas?: una guía para técnicos. CATIE. Matagalpa, NI. 24 p.
- Nieuwenhuysse, A. 2006. Los paisajes y suelos de Muy Muy, Nicaragua y El Chal, Guatemala (diapositivas). Petén, GT. 28 diapositivas, color.
- Ng Kee Kwong, K; Bholah, L; Pynee, K. 2002. Nitrogen and phosphorus transport by surface runoff from a silty clay loam soil under sugarcane in the humid tropical environment of Mauritius. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 91(2002). 147-157 p.
- NPIC (National Pesticide Information Center, US). 2011. Hojas con información de ingredientes activos de plaguicidas (en línea). Oregón, US. Consultado el 20 octubre 2011. Disponible en; <http://npic.orst.edu/ingred/aifact.html>
- Oliver, D; Kookana, R; Salama, R; Correll, R. 2003. Land use effects on sorption of pesticides and their metabolites in sandy soils. II. Atrazine and two metabolites, deethylatrazine and deisopropylatrazine, and prometryne. *Australian Journal of Soil Research*. 41(2003). 861-874 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Naciones Unidas, SW). 2011. Hojas con información de plaguicidas. Ginebra, SW. Consultado el 20 octubre 2011. Disponible en; <http://www.who.int/ipcs/publications/pds/en/index.html>
- Oren, O; Yechieli, Y; Böhlke, J; Dody, A. 2004. Contamination of groundwater under cultivated fields in an arid environment, central Arava Valley, Israel. *Journal of Hydrology*. 290(2004). 312-328 p.
- Ouma, B; Sterk, G. 2005. Quantification of visual soil erosion indicators in Gikuuri catchment in the central highlands of Kenya. *Journal Geoderma*. 134(2006). 34-47 p.
- Pellant, M; Shaver, P; Pyke, D; Herrick, J. 2005. Interpreting indicators of rangeland health, version 4. Technical reference 1734-6. US. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology. Denver, US. 122 p.
- Pengthamkeerati, P; Motavalli, P; Kremer, R; Anderson, S. 2005. Soil compaction and poultry litter effects on factors affecting nitrogen availability in a claypan soil. *Journal Soil & Tillage Research*. 91(2006). 109-119 p.
- Pereira de Oliveira, F; Naves, M; Avanzi, JC; Curi, N; Palha, F. 2010. Soil loss assessment on unpaved forest roads at the Rio Doce Valley, Minas Gerais state, Brazil. *Journal Scientia Forestalis*. 38(87). 331-339 p.
- Pezo, D. 2009. Estudio línea base de comunidades en la cuenca alta y media del río Mopán en Petén (Guatemala) y distrito El Cayo (Belice). MESOTERRA. Petén, GT. 143 p.
- Phillips, K; Tanphaichitr, N. 2008. Human exposure to endocrine disrupters and semen quality. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 11(2008). 118-220 p.
- Picouet, C; Hingray, B; Olivry, J. 2001. Empirical and conceptual modeling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the upper Niger river basin. *Journal of Hydrology*. 250(2001). 19-39 p.

- Pinel, R; Molina, J. 1996. Compilación de metodologías para caracterización de sitios y sistemas de producción. Escuela Agrícola Panamericana. Tegucigalpa, HN. 30 p.
- Potocnik, I. 2010 Natural revegetation of forest road slopes. Univerzitetu u Banjoj Luci. Glasnik, Sl. 13 p.
- Presidencia de la República de Guatemala. 1990. Reglamento de ley de áreas protegidas, Acuerdo gubernativo 759-90. Guatemala, GT. 33 p.
- Pulley, R; Min, M; Chaplin, J. 2008. Developing a texture-based soil hydrologic characteristics model and extending this model to predict soil strength characteristics. Journal American Society of Agricultural and Biological Engineers. 51(2). 485-498 p.
- Ramírez, R; Taboada, M; Gil, R. 2006. Efectos a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico de la pampa ondulada argentina (en línea). Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. 59(1): 3237-3256. Consultado el 26 mayo 2011. Disponible en;  
[http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0304-28472006000100010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0304-28472006000100010&script=sci_arttext)
- Reus, J; Leendertse, P; Bockstaller, C; Fomsgaard, I; Gutsche, V; Lewis, K; Nilsson, C; Pussemier, L; Trevisan, M; Van der Werf, H; Alfaro, F; Blümel, S; Isart, J; McGrath, D; Seppälä, T. 2001. Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. Agricultural, Ecosystems and Environment. 90(2002). 177-187 p.
- Rezaei, S; Gilkes, R. 2004. The effects of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. Journal Geoderma. 125(2005). 167-176 p.
- Ríos, J. 2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 116 p.
- Rocha, L. 2002. Cambio en el uso del suelo y factores asociados a la degradación de pasturas en la cuenca del río Bulbul, Matiguas, Nicaragua. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 99 p.
- Rocha, W; Regitano, J; Alleoni, L. 2006. 2,4-D Residues in aggregates of tropical soils as a function of water content. Journal Soil Science Society of America. 70(2006). 2008-2016 p.
- Rubiano, J. 1998. Hydrological impact of land use change in tropical hillsides: the impact of patterns. Tesis. Mag. Sc. Londong, UK. King's College. 83 p.
- Sabo, H. 2011. Study on the karstic relief of Vadu-Crisului area (Bihar country). Research Journal of Agricultural Science. 43(2). 274-277 p.
- Sánchez-Bayo, F; Baskaran, S; Kennedy, I. 2001. Ecological relative risk (EcoRR): another approach for risk assessment of pesticides in agriculture. Journal Agriculture, Ecosystems and Environment. 91(2002). 37-57 p.
- Sarapatka, B; Bednar, M; Novak, P. 2010. Analysis of soil degradation in the Czech Republic: GIS approach. Journal Soil & Water Research. 5(3). 108-112 p.
- Scherr, S. 1998. Impactos económicos de la degradación de suelos en los países en desarrollo: evidencia e implicaciones para la investigación. Turrialba, CR. 19 p.

- Schjonning, P; Munkholm, L; Elmholt, S; Olesen, J. 2006. Organic matter and soil tilth in arable farming: Management makes a difference within 5-6 years. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 122(2007). 157-172 p.
- Schumacher, E; Eynard, A; Lindstrom, M; Malo, D. 2003. Porosity and pore-size distribution in cultivated Ustolls and Usterts. *Journal Soil Science Society of America*. 68(2004). 1927-1934 p.
- SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, GT). 2011. Diagnostico territorial de Petén. Guatemala, GT. 219 p.
- SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, GT). 2011b. Pagina de información general. Guatemala, GT. Consultado el 29 noviembre 2011. Disponible en ; [http://sistemas.segeplan.gob.gt/siscodew/ddpgpl\\$modulo.comunitario](http://sistemas.segeplan.gob.gt/siscodew/ddpgpl$modulo.comunitario)
- SESAN (Secretaria de seguridad alimentaria y nutricional, GT); MFEWS (Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para la Seguridad Alimentaria, GT); USAID (United States Agency for International Development, US); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación la, IT). 2009. Guatemala: Perfiles de medios de vida. Guatemala, GT. 260 p.
- Sheaffe, R; Mendenhall, W; Ott, L. 1987. Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberoamérica. Distrito Federal, MX. 321 p.
- Sheng Li, D; Lindstrom, M; Papiernik, S; Farenhorst, A. 2006. Modeling tillage-induced redistribution of soil mass and its constituents within different landscapes. *Journal Soil Science Society of America*. 72(2006). 167-179 p.
- Shirley, S. 2004. The influence of habitat diversity and structure on bird use of riparian buffer strips in coastal forests of British Columbia, Canada. *Canadian Journal Forest Research*. 34(2004). 1499-1510 p.
- SIAR (Sistema Interactivo de Apoyo al Riego, CL). 2007. Guías y manuales de terreno: Determinación de la textura del suelo en terreno. SIAR Limarí. Ovalle, CL. 7 p.
- Simal-Gándara, J; Arias-Estévez, M; López-Periago, E; Martínez-Carballo, E; Mejuto, JC; García-Ríos, L. 2007. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 123(2008). 247-260 p.
- Singh, R; Kumar, R. 1999. Effect of water flux, organic matter, pH and cosolvents on the movement of pesticides in three soils. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 48(1). 43-51 p.
- Sobiha, A; Zidan, Z; Mowafy, M; Ayoub, M; Marzouk, A. 2005. Contamination status of organic pesticides in different soil types as affected by irrigation water sources. *Journal Agriculture Science*. 50(2). 651-663 p.
- Solomon, T; Snyman, H; Smit, G. 2007. Cattel-rangeland management practices and perception of pastoralists towards rangelands degradation in the Borana zone of southern Ethiopia. *Journal of Environmental Management*. 82(2007). 481-494 p.

- Spalding, R; Exner, M; Snow, D; Cassada, D; Burbach, M; Monson, S. 2003 Herbicides in ground water beneath Nebraska's management systems evaluation area. *Journal Environmental Quality*. 32(2003). 92-99 p.
- Spruill, T; Showers, W; Howe, S. 2002. Ground water quality: application of classification-tree methods to identify nitrate sources in ground water. *Journal Environment Quality*. 31(2002). 1538-1549 p.
- Stenrod, M; Heggen, H; Bolli, R; Eklo, O. 2007. Testing and comparison of three pesticide risk indicator models under Norwegian conditions. A case study in the Skuterud and Heiabekken catchments. *ScienceDirect. Agriculture, Ecosystems and Environment*. 123(2008). 15-29 p.
- Strimbu, B. 2011. Modeling the travel distances of debris flows and debris slides: quantifying hillside morphology. *Annals of Forest Research*. 54(1). 119-134 p.
- Szymura, M; Szymura, T; Dunajski, A; Woldki, K. 2007. The grass vegetation of watercourses as a biodiversity refuge in a agricultural landscape. *Journal Grassland Science in Europe*. 14. 253-256 p.
- The Washington Post. 2010. US apologizes for newly revealed syphilis experiments done in Guatemala. Consultado el 6 noviembre 2011. Disponible en <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2010/10/01/AR2010100104457.html>
- Udawatta, R; Anderson, S; Gantzer, C; Garrett, H. 2005 Agroforestry and grass buffer influence on macropore characteristics: A computed tomography analysis. *Journal Soil Science Society of America*. 70(2006). 1763-1773 p.
- Udawatta, R; Anderson, S. 2008. CT-measured pore characteristics of surface and subsurface soils influenced by agroforestry and grass buffers. *Journal Geoderma*. 125(2008). 381-389 p.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, CH). Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. 2008. Dudley, N. Gland, CH. 116 p.
- UVG (Universidad del Valle, GT); INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT); CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT); URL (Universidad Rafael Landívar, GT). 2011. Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2006 y dinámica de la cobertura forestal 2001-2006. Guatemala, GT. 97 p.
- Veldkamp, A. 2004. Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*. 72(2004). 1-3 p.
- Wairiu, M; Lal, R. 2002. Soil organic carbon in relation to cultivation and topsoil removal on sloping lands of Kolombangara, Solomon Islands. *Journal Soil & Tillage Research*. 70(2003). 19-27 p.
- Ward, D; Ngairorue, B; Apollus, A; Tjiveze, H. 2000. Perceptions and realities of land degradation in arid Otjimbingwe, Namibia. *Journal of Arid Environments*. 45(2000). 337-356 p.
- Wezel, A; Bender, S. 2004. Degradation of agro-pastoral village land in semi-arid southeastern Cuba. *Journal of Arid Environments*. 59(2004). 299-311 p.

- WHO (World Health Organization, SW); FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2010. Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides. Rome, IT. 305 p.
- WHO (World Health Organization, SW). 2009. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification. Ginebra, SW. 81 p.
- Wigle, D; Arbuckle, T; Walker, M; Wade, M; Liu, S; Krewski, D. 2007. Environmental hazards: Evidence for effects on child health. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 10(2007). 3-39 p.
- Wigle, D; Arbuckle, T; Turner, M; Bérubé, A; Yang, Q; Liu, S; Krewski, D. 2008. Epidemiologic evidence of relationships between reproductive and child health outcomes and environmental chemical contaminants. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 11(2008). 373-517 p.
- Wood, A. 2011. Compendium of pesticide common names. Washington, US. Consultado el 15 junio 2011. Disponible en; <http://www.alanwood.net/pesticides/index.html>
- Yang, M; Walling, D; Tian, J; Liu, P. 2005. Partitioning the contributions of sheet and rill erosion using Beryllium-7 and Cesium-137. *Journal Soil Science Society of America*. 70(2006). 1579-1990 p.
- Zalidis, G; Stamatiadis, S; Takavakoglou, V; Eskridge, K; Misopolinos, N. 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Journal Agriculture, Ecosystems and Environment*. 88(2002). 137-146 p.
- Zhang, X; Lian, B; Yin, J; Wu, YB; Cui, YC. 2010. Dynamics of slope runoff and soil erosion of different forest types in karst depression. *Journal Agricultural Science & Technology*. 11(3). 166-171 p.
- Ziegler, A; Giambelluca, T; Tran, L; Vana, T; Nullet, M; Fox, J; Duc, T; Pinthong, J; Maxwell, J; Evett, S. 2003. Hydrological consequences of landscape fragmentation in mountainous northern Vietnam: evidence of accelerated overland flow generation. *Journal of Hydrology*. 287(2004). 124-146 p.

## ANEXOS

Anexo 1 Descriptores para evaluar la presencia de movimientos en masa, erosión en cárcavas, erosión en surcos y erosión laminar. Tomados del trabajo de Nieuwenhuys y Aguilar 2010

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Movimientos muy severos	Movimientos severos	Movimientos moderados	Movimientos reducidos	Sin movimientos
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de movimientos en masa</b>	En más que 5% de la pastura o terreno cultivado se presentan movimientos en masa que no se han estabilizado por el crecimiento de la vegetación.	En 1% al 5% de la pastura o terreno cultivado se presentan movimientos en masa que no se han estabilizado por el crecimiento de la vegetación.	Menos del 1% (<1%) de la pastura o terreno cultivado se presentan movimientos en masa. Las áreas afectadas son parcialmente estabilizadas por el crecimiento de la vegetación.	La fisiografía del terreno indica que en el pasado se presentaron movimientos en masa, sin embargo, las áreas afectadas se han estabilizado por el crecimiento de la vegetación que las cubre completamente.	No se presentan movimientos en masa.

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Cárcavas muy severas	Cárcavas severas	Cárcavas focalizadas	Cárcavas leves	Sin cárcavas
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de erosión en cárcavas y/o surcos</b>	Se presentan cárcavas y/o surcos que afectan varios sectores de la parcela y que muestran una erosión activa: se observa que las paredes se están erosionando y tienen poca cobertura de vegetación, hay movimiento de material suelto (sedimentos) en el fondo.	Se observan cárcavas y/o surcos en parte de la parcela, la mayoría de ellos muestran erosión activa (ver descripción en el nivel 1).	Se observan cárcavas y/o surcos en parte de la parcela, una proporción de ellas muestran erosión activa (ver descripción en el nivel 1), sobre todo en las partes de la parcela más intensamente usada sin manejo adecuado.	Se presentan pocas cárcavas y/o surcos que son estables: no se están extendiendo y sus paredes están cubiertas por vegetación, aunque en el fondo de las cárcavas se puede presentar ligeros movimientos de material suelto.	No se presentan cárcavas y/o surcos. En parcelas en pendiente mayor al 25%, el drenaje natural ocurre en áreas estables y cubiertas de vegetación.

### Presencia de erosión laminar

En la parcela temporal de una hectárea (1 ha) se realizó 60 observaciones aleatorias con el uso de un marco metálico de 50 cm x 50 cm, con lo cual se obtuvo el promedio aritmético del porcentaje de erosión laminar y con ello asignarle categoría.

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Erosión laminar muy severa	Erosión laminar	Erosión laminar	Erosión laminar leve	Sin erosión

		<b>severa</b>	<b>focalizada</b>		<b>laminar</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Presencia de erosión laminar</b>	<p>Se presenta una erosión laminar activa distribuida en muchas partes de la parcela (&gt;50% del área), evidenciado por áreas donde la erosión ha removido el suelo (ej. Se observan raíces descubiertas, terracillas), al igual que áreas donde se depositan los sedimentos. Zanjitas (regueros) pueden estar presentes a distancias cortas.</p> <p>En más que 10% de la pastura o terreno cultivado se observan patrones de flujo de agua, extensivamente y numerosos (arrastre de sedimentos, hojarasca y pequeñas rocas). Inestables con erosión activa, usualmente conectados. Existe poco crecimiento de vegetación, el área basal de planta está cubierta de tierra y es bajo.</p>	<p>Evidencias de una activa erosión laminar se observa común en la parcela (30-50% del área), sobre todo en partes más inclinadas de la pastura; también es común observar áreas donde se depositan los sedimentos. Zanjitas (regueros) pueden estar presentes.</p> <p>En 5% al 10% de la pastura o terreno cultivado se observan patrones de flujo de agua (arrastre de sedimentos, hojarasca y pequeñas rocas). Erosión activa, cortos y con depósitos de sedimentos, ocasionalmente conectados.</p>	<p>Evidencias de una activa erosión laminar se observa en parte de la parcela (10-29% del área), sobre todo en áreas mas intensas de uso sin manejo adecuado; se pueden observar áreas de deposición del material erosionado y transportado. Algunas zanjitas poco profundas (regueros) pueden estar presentes.</p> <p>Menos del 5% (&lt;5%) de la pastura o terreno cultivado se observan patrones de flujo de agua (arrastre de sedimentos, hojarasca y pequeñas rocas). La erosión es menor con alguna inestabilidad y depósitos de sedimentos.</p>	<p>En la parcela se observan algunas partes (&lt;10% del área) donde se presenta erosión laminar y la deposición de material erosionado y transportado. La erosión se concentra en áreas muy usadas. No se presentan zanjitas (regueros).</p> <p>Es baja la presencia de patrones de flujo (arrastre de sedimentos, hojarasca y pequeñas rocas), atribuible a la pendiente y condiciones climáticas. Alguna erosión menor. Los patrones de flujo son estables con vegetación y cortos.</p>	<p>No hay evidencia en la parcela de erosión laminar.</p> <p>No se presentan patrones de flujo significativos. Muy poca evidencia anterior de depósitos de erosión. Es imperceptible el flujo de agua.</p>

Anexo 2 Descriptores para evaluar la presencia y estabilidad de erosión por senderos y caminos de acceso a parcelas

<b>Indicador evaluado</b>	<b>Valor del indicador</b>				
	<b>Senderos degradación muy severa</b>	<b>Senderos degradación severa</b>	<b>Senderos con degradación moderada</b>	<b>Senderos con degradación leve</b>	<b>Sin senderos degradados</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Presencia de senderos (A)</b>	En 61 al 100% de la pastura se observan senderos de vaca	En 31 a 60% de la pastura se observan senderos de vaca	En 11 a 30% de la pastura se observan senderos de vaca	En 1 a 10% de la pastura se observan senderos de vaca	No se observan senderos de vaca
<b>Estabilidad</b>	Menos del 50%	Entre 50-70%	Entre 69-90%	Más que 90% de	Los senderos



<b>de erosión en los senderos (B)</b>	en área de senderos esta cubierta por vegetación u hojarasca. En las partes sin cobertura se observan frecuentes huellas de resbalones y/o erosión laminar, pequeños movimientos en masa (hundimientos) y terracillas.	en área de senderos está cubierta por vegetación u hojarasca. En las partes sin cobertura se observa frecuentes huellas de resbalones y/o erosión laminar. En algunos senderos se observan movimientos en masa (hundimientos) y terracillas.	en área de senderos está cubierta por vegetación u hojarasca. En los senderos sin cobertura se observan huellas de resbalones y/o erosión laminar, algunos puntos con terracillas ondulaciones (prominencias, montículos o elevaciones superficiales) indicios de erosión.	los senderos está cubierta por vegetación y/o hojarasca. Hay algunos indicios de erosión laminar, huellas de resbalones o marcas de movimiento de tierra (erosión).	son estables y cubiertos por vegetación u hojarasca.
<b>Fórmula para obtener el valor general del indicador</b>	<b>Valor del indicador (Anexo 4) = (valor del A + Valor del B) / 2</b>				

### Presencia de erosión en caminos de acceso

En los caminos de acceso a los sitios de muestreo, se observó durante su recorrido la estabilidad o estado actual de la erosión. Sobre la base de la clasificación categórica del cuadro 6. Teniendo en consideración que a lo largo de todo el camino una misma categoría no se puede presentar y por tanto dividiendo la longitud total del camino en segmentos con distintas categorías se obtuvo un valor ponderado de la presencia de alguna categoría. Asignando la categoría con mayor ponderación, como valor categórico representativo del camino de acceso en evaluación.

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Caminos severamente erosionados	Caminos erosionados	Caminos erosionados moderadamente	Caminos con baja erosión	Caminos con erosión leve
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de erosión en caminos de acceso</b>	Menos del 10% en área del camino está cubierta por vegetación u hojarasca. Las partes sin cobertura se presentan erosión laminar, las paredes del camino tienen poca vegetación y presentan pequeños movimientos en masa (hundimientos), en	Menos del 10% del área en el camino está cubierta por vegetación u hojarasca. En las partes sin cobertura se observa mucha erosión laminar, algunos pequeños movimientos en masa (hundimientos), en las paredes del camino se observan surcos y/o cárcavas que	Entre 11-15% en área del camino está cubierta por vegetación u hojarasca. En muchas partes sin cobertura se observa erosión laminar, pero se presentan pocos surcos no muy profundos.	Entre 16-20% en área del camino está cubierto por vegetación y/o hojarasca. Hay algunos indicios de erosión laminar o marcas de movimiento de tierra (erosión). El total de área con indicios de erosión es menor al 50% del área del camino.	Más del 20% en área del camino está cubierto por vegetación. Los caminos son estables.

	prácticamente toda la superficie se observan surcos y/o cárcavas profundas (mayores a 30 cm) que muestran erosión activa. Muchas de las cárcavas están conectadas.	muestran erosión activa. Hay puntos donde se unen dos o más cárcavas.			
--	--	---	--	--	--

Anexo 3 Descriptores para evaluar la presencia de compactación extrema en el suelo, con base en Cosgrove et al. 2001, Pellant et al. 2005, Herrick et al. 2009, Nieuwenhuysen y Aguilar 2010.

Indicador evaluado	Usos de la tierra	Valor del indicador				
		Compactación muy severa	Compactación severa	Compactación moderada	Compactación leve	Sin compactación
		1	2	3	4	5
<b>Presencia de compactación extrema</b>	<b>Pecuario</b>	En más que 35% del total de la pastura se observan perforaciones de pezuñas del ganado o una superficie ondulada**.	En más que 50% del total de la pastura se observan huellas de pisadas que no perforan el suelo o huellas de resbalones, y/o en 10 a 35% del total de la pastura se observan perforaciones de pezuñas del ganado o una superficie ondulada**.	En 20 a 50% del total de la pastura se observan huellas de pisadas que no perforan el suelo o huellas de resbalones, y/o en menos de 10% del total de la pastura se observan perforaciones de pezuñas del ganado o una superficie ondulada**.	En menos que 20% del total de la pastura se observan huellas de pisadas que no perforan el suelo o huellas de resbalones.  No se observan perforaciones de pezuñas del ganado o una superficie ondulada**.	No hay evidencias que en la pastura o el terreno cultivado se presenta una compactación extrema del suelo.

\*\* Superficie ondulada: hace referencia a ondulaciones, prominencias, montículos o elevaciones superficiales.

Anexo 4 Descriptores para evaluar superficie impermeable del suelo

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Severa superficie impermeable	Moderada superficie impermeable	Poca superficie impermeable	Muy poca superficie impermeable	Sin superficie impermeable
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de superficie impermeable del suelo</b>	A la vista la superficie sin vegetación es lisa por la ausencia de macroporos. En época lluviosa se	A la vista la superficie sin vegetación es lisa por la ausencia de macroporos. En	A la vista la superficie sin vegetación es lisa por ausencia de macroporos. En	A la vista la superficie sin vegetación es lisa por ausencia de macroporos.	No hay evidencias que en la pastura o el terreno cultivado se

	nota encharcamientos e indicios de hongos o musgos. En época seca hay indicios de erosión eólica. Puede presentarse superficie ondulada**. Esto en más del 15% del total de superficie.	época lluviosa hay indicios de encharcamientos. En época seca hay indicios de erosión eólica. Puede presentarse superficie ondulada**. Esto entre 10% a 15% del total de superficie.	época lluviosa hay indicios de encharcamiento. En época seca hay indicios de erosión eólica. Puede presentarse superficie ondulada**. Esto entre 5% a <10% del total de superficie.	Indicios de encharcamiento en época lluviosa y/o erosión eólica en época seca, pueden estar presentes. Esto entre 1% a <5% del total de superficie.	presenta superficie impermeable del suelo.
--	---	--	---	---	--

\*\* Superficie ondulada: hace referencia a ondulaciones, prominencias, montículos o elevaciones superficiales.

Anexo 5 Tabla de referencia para evaluar la estabilidad del suelo superficial, tomado de Pellant et al. 2005, Herrick et al. 2009

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Muy poca estabilidad	Poca estabilidad	Moderada estabilidad	Alta estabilidad	Muy alta estabilidad
	1	2	3	4	5
<b>Estabilidad de suelo superficial</b>	50% de la integridad estructural se pierde con solamente 5 segundos sumergido en agua. Es muy inestable la muestra (se cae a través de la maya)	50% de la integridad estructural se pierde con solamente 5-30 segundos sumergido en agua.	50% de la integridad estructural se pierde después de 30-300 segundos sumergido en agua. O bien <10-25% del suelo se mantiene sobre la maya después de 5 vueltas sumergidas en agua y habiendo transcurrido el tiempo indicado.	26-75% del suelo se mantiene sobre la maya después de 5 vueltas sumergidas en agua y habiendo transcurrido 300 segundos sumergido.	Del 76-100% del suelo se mantiene sobre la maya después de 5 vueltas sumergidas en agua y habiendo transcurrido 300 segundos sumergido.

Anexo 6 Descriptores para evaluar la contaminación de agua por sedimentos, con base en Herrick et al. 2009, Jimenez 2010, Nieuwenhuyse y Aguilar 2010.

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Erosión severa	Erosión notable	Erosión baja	Erosión muy baja	Sin erosión
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de erosión en causes y orillas de ríos, quebradas o riachuelos</b>	En más que 30% de la extensión de las fuentes naturales de agua se presenta erosión de los causes por falta de vegetación y/o tránsito de animales y personas. Existe una erosión activa en los laterales de	En 10-30% de la extensión de las fuentes naturales de agua se presenta erosión de los causes por falta de vegetación y/o tránsito de	En menos 10% (<10%) de la extensión de las fuentes naturales de agua se presenta erosión de los causes por falta de vegetación y/o tránsito de	En algunos puntos a lo largo de las fuentes naturales de agua se presenta una leve erosión de los causes por falta de vegetación y/o	No hay evidencia de erosión en los causes.

	los causas.	animales o personas.	animales o personas.	el tránsito de animales o personas.	
--	-------------	----------------------	----------------------	-------------------------------------	--

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Erosión severa	Erosión notable	Erosión baja	Erosión muy baja	Sin erosión
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de erosión en orillas de fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>	En más que 60% de la extensión de las fuentes de agua artificiales se presenta erosión en sus orillas por falta de vegetación y/o tránsito de animales y personas. Existe una erosión activa en los laterales de estas fuentes artificiales.	En 20-60% de la extensión de las fuentes naturales de agua artificiales se presenta erosión en sus orillas por falta de vegetación y/o tránsito de animales o personas.	En 5-20% de la extensión de las fuentes de agua artificiales se presenta erosión en sus orillas por falta de vegetación y/o tránsito de animales o personas.	En menos del 5% (<5%) a lo largo de las fuentes de agua artificiales se presenta erosión en orillas por falta de vegetación y/o el tránsito de animales o personas.	No hay evidencia de erosión en las orillas de las fuentes de agua artificiales.

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Acceso muy dañino	Acceso dañino	Acceso poco dañino	Acceso con poco control	Acceso controlado
	1	2	3	4	5
<b>Acceso del ganado a las fuentes naturales de agua</b>	El ganado tiene libre acceso a las fuentes de agua en muchos lugares (a lo largo de más que 50% de las mismas). Se puede presentar una permanencia prolongada de animales dentro de los causes o cercano a causes. Realizando actividades de abrevamiento, sombra, rascado de piel, etc.	El ganado tiene libre acceso a las fuentes de agua a lo largo del 20-50% de las mismas por barreras naturales o artificiales (cercas). Con el objeto de realizar actividades de abrevamiento, sombra, rascado de piel, etc.	El ganado tiene libre acceso a las fuentes de agua a lo largo de menos que 20% de las mismas por barreras naturales o artificiales (cercas). Sin embargo la erosión que generan es limitada porque los puntos de acceso están en suelos o terrenos firmes (rocosos o arenosos).	El ganado tiene acceso limitado a las fuentes de agua en menos del 5% (<5%) donde no se ocasiona erosión y la permanencia es de corto tiempo.	El ganado solamente utiliza fuentes de agua artificiales con esa finalidad. (ej. Pozos, piletas, estanques, aguadas, entubado, grifos, sistemas de riego, etc.).

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Acceso muy dañino	Acceso dañino	Acceso poco dañino	Acceso con poco control	Acceso adecuado
	1	2	3	4	5
<b>Acceso del ganado a las fuentes de agua</b>	El ganado tiene libre acceso a las fuentes de agua artificiales en	El ganado tiene libre acceso a las fuentes de agua artificiales	El ganado tiene libre acceso a las fuentes de agua artificiales	El acceso del ganado a las fuentes de agua artificiales es	El ganado solamente utiliza fuente de agua

<b>artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>	muchos lugares (en las orillas a lo largo de más que 70% de las mismas). Se puede presentar una permanencia prolongada de animales dentro de las fuentes de agua o cercana a ellas. Realizando actividades de abrevamiento, sombra, rascado de piel, etc. Lo que puede provocar compactación extrema o marcas de pesuñas.	en sus orillas entre el 40-70% de las mismas por barreras naturales o artificiales (cercas). Con el objeto de realizar actividades de abrevamiento, sombra, rascado de piel, etc. Lo que puede provocar compactación extrema o marcas de pesuñas.	en sus orillas en 10-40% de las mismas por barreras naturales o artificiales (cercas). Sin embargo la erosión que generan es limitada y existen rastros de compactación extrema o marcas de pesuñas.	limitado en menos del 10% (<10%) del contorno, donde no se ocasiona erosión y la permanencia es de corto tiempo. Incluso el ganado tiene posibilidades de acceder directamente al agua en alguna época del año.	artificiales con esa finalidad. (ej. Pozos, piletas, estanques, aguadas, entubado, grifos, sistemas de riego, etc.). sin tener acceso directo a la fuente de agua en ninguna época del año.
--	---	---	--	---	---

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Vegetación muy escasa	Vegetación escasa	Vegetación fragmentada	Vegetación moderada	Vegetación adecuada
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de vegetación nativa en las orillas de fuentes naturales de agua</b>	La vegetación arbórea, arbustiva o vegetación nativa se presenta en pequeñas agrupaciones de 1 a 3 individuos, en una ribera muy aclarada con menos del 20% de cobertura aérea o no existe. En mas de alguna circunstancia pueden existir comunidades de herbáceas.	Entre el 20 a <40% de las orillas están cubiertas por árboles, arbustos o vegetación nativa asociada al río. Con alteración en gran parte de su extensión.	Entre el 40 a <60% de las orillas están cubiertas por árboles, arbustos o vegetación nativa asociada al río. Formando pequeños bosquetes o agrupaciones que supone un recubrimiento en la longitud del río, con alteración aproximada en la mitad de su extensión longitudinal.	La vegetación arbórea, arbustiva o vegetación nativa asociada al río aparece distribuida en bosquetes o agrupaciones que cubren entre el 60-80% de la longitud del espacio ribereño, o cubre más del 80% de la longitud de ribera, formando un corredor aclarado (poca variación en el tamaño de los árboles, poca variación en especies).	Más del 80% de la longitud de espacio ribereño contiene vegetación arbórea, arbustiva o vegetación nativa asociada al río, formando un corredor denso y/o de protección ante procesos de erosión.

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Vegetación muy escasa	Vegetación escasa	Vegetación insuficiente	Vegetación moderada	Vegetación adecuada
	1	2	3	4	5
<b>Presencia de vegetación nativa en las orillas de fuentes de agua artificiales (pozos, piletas, aguadas, reservorios, etc.)</b>	No se presenta ningún tipo de vegetación en la orilla de la fuente de agua modificada. Se observa el suelo desnudo con presencia o indicios de erosión hídrica o eólica. La vegetación arbórea, arbustiva o vegetación nativa se presenta en pequeñas agrupaciones de 1 a 3 individuos, en una orilla muy aclarada con menos del 20% de cobertura aérea o no existe. En mas de alguna circunstancia pueden existir comunidades de herbáceas.	Entre el 10 a <30% de las orillas están cubiertas por árboles, arbustos o vegetación nativa asociada al contorno de la fuente de agua modificada. Con alteración en gran parte de su extensión.	Entre el 30 a <60% de las orillas están cubiertas por árboles, arbustos o vegetación nativa asociada al río. La cobertura presente suponen un recubrimiento en las orillas de la fuente modificada, pero presenta alteración aproximada a la mitad de su extensión.	La vegetación arbórea, arbustiva o vegetación nativa asociada a la orilla de la fuente de agua modificada aparece distribuida de tal forma que cubren entre el 60-80% de la longitud del espacio al contorno de la fuente de agua. Lo que permite permanencia de agua durante todo el año por reducción de evaporación y el agua a simple vista presenta poca cantidad de sedimentos en suspensión, baja turbiedad.	Más del 80% del contorno de la fuente de agua modificada posee vegetación arbórea, arbustiva o vegetación nativa asociada a la orilla de la fuente de agua modificada. Formando un contorno denso, que reduce evaporación de agua lo que permite su permanencia todo el año y/o de protección ante procesos de erosión.

Anexo 7 Descriptores para evaluar la contaminación del agua por fertilizantes, considerando Ng Kee Kwong et al. 2002, Spruill et al. 2002, Hook 2003, Oren et al. 2004, Airaksinen et al. 2007, Mayer et al. 2007, Ghiberto et al. 2009 y EPA 2011

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Muy alta contaminación agua	Alta contaminación agua	Media contaminación agua	Baja contaminación agua	Sin contaminar agua
	1	2	3	4	5
<b>Lixiviación y arrastre de fertilizantes hacia fuentes de agua</b>	Aplicación de fertilizantes simples o compuestos con la presencia de nitrógeno (N <sub>2</sub> ). En cantidades mayores a 12 quintales/ha en una sola aplicación del	Aplicación de fertilizantes simples o compuestos con la presencia de nitrógeno (N <sub>2</sub> ). En cantidades de 10.5 a 12 quintales/ha en una sola aplicación del	Aplicación de fertilizantes simples o compuestos con la presencia de nitrógeno (N <sub>2</sub> ). En cantidades de 8.5 a 10 quintales/ha en una sola aplicación del	Aplicación de fertilizantes simples o compuestos con la presencia de nitrógeno (N <sub>2</sub> ). En cantidades de 6 a 8 quintales/ha en una sola aplicación del	Aplicación de fertilizantes simples o compuestos con la presencia de nitrógeno (N <sub>2</sub> ). En cantidades menores <6

	ciclo del cultivo.	ciclo del cultivo.	ciclo del cultivo.	ciclo del cultivo.	quintales/ha en una sola aplicación del ciclo del cultivo
--	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo
	1	2	3	4	5
<b>Distancia de aplicación de fertilizantes a fuentes de agua</b>	Menor a 5 m del cauce del río o fuente de agua.	De 5 m a 20 m del cauce del río o fuente de agua.	De 21 m a 50 m del cauce del río o fuente de agua.	De 50 m a 100 m del cauce del río o fuente de agua.	Mayor a 100 m del cauce del río o fuente de agua.

Anexo 8 Descriptores para evaluar la contaminación del agua por plaguicidas, considerando EPA 2004, WHO 2009, WHO y FAO 2010, NPIC 2011, OMS 2011, Wood 2011, IPCS 2011, IPM 2011, CIPAC 2011 y FAO 2011

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Extremadamente peligroso	Alta peligrosidad	Moderada peligrosidad	Leve peligrosidad	Sin significativa peligrosidad
	1	2	3	4	5
<b>Toxicidad de plaguicidas para mamíferos</b>	Con LD <sub>50</sub> <05 mg/kg por vía oral y/o dermal	Con LD <sub>50</sub> de 05 a <50 mg/kg por vía oral y/o dermal	Con LD <sub>50</sub> de 50 a <2000 mg/kg por vía oral y/o dermal	Con LD <sub>50</sub> de 2000 a 5000 mg/kg por vía oral y/o dermal	Con LD <sub>50</sub> >5000 mg/kg por vía oral y/o dermal
LD <sub>50</sub> = Dosis letal medida en mg/kg en la cual el 50% de los individuos de prueba mueren.					

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Extremadamente peligroso	Alta peligrosidad	Moderada peligrosidad	Leve peligrosidad	Sin significativa peligrosidad
	1	2	3	4	5
<b>Toxicidad de plaguicidas para organismos acuáticos</b>	Muy alta toxicidad para peces, crustáceos o algún organismo acuático	Alta toxicidad para peces, crustáceos o algún organismo acuático	Moderada toxicidad para peces, crustáceos o algún organismo acuático	Baja toxicidad para peces, crustáceos o algún organismo acuático	No es tóxico para peces, crustáceos o algún organismo acuático

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Extremada movilidad	Alta movilidad	Moderada movilidad	Leve movilidad	Sin significativa movilidad
	1	2	3	4	5
<b>Movilidad del plaguicida en el suelo</b>	Vida media en el suelo >30 días	Vida media en el suelo de 30 a 22 días	Vida media en el suelo de 21 a 16 días	Vida media en el suelo de 15 a 07 días	Vida media en el suelo <07 días
	NO existe fijación de	NO existe fijación de	NO existe fijación de	SI Existe fijación de moléculas	SI Existe fijación de moléculas

	moléculas del plaguicida con las partículas del suelo.	moléculas del plaguicida con las partículas del suelo.	moléculas del plaguicida con las partículas del suelo.	del plaguicida con las partículas del suelo.	del plaguicida con las partículas del suelo.
<b>Nota:</b> Si el plaguicida posee ambas características en diferente valor, se considera el valor de mayor riesgo potencial.					

Indicador evaluado	Valor del indicador				
	Muy alto riesgo	Alto riesgo	Moderado riesgo	Bajo riesgo	Sin riesgo
	1	2	3	4	5
<b>Distancia de plaguicidas a las fuentes de agua</b>	El lavado de equipo y disposición de desechos se realiza en las fuentes de agua utilizadas para diferentes actividades productivas y consumo humano.	El lavado de equipo y disposición de desechos se realiza en un radio de 5 m a fuentes de agua para actividades productivas y consumo humano.	El lavado de equipo y disposición de desechos se realiza en un radio >5 m hasta 15 m a fuentes de agua para actividades productivas y consumo humano.	El lavado de equipo y disposición de desechos se realiza en un radio >15 m hasta 100 m a fuentes de agua para actividades productivas y consumo humano.	El lavado de equipo y disposición de desechos se realiza sin riesgo para la contaminación del agua. En un radio >100 m a fuentes de agua.

Anexo 9 Plaguicidas utilizados por parte de los productores muestreados de abril a julio

Insecticidas y fungicidas		
Nombre comercial	Ingrediente Activo	Generalidades
Rienda	Deltametrina	Es un piretroide no sistémico compuesto. Insecticida no acumulativo de amplio espectro. Actuando como un agente neurotóxico rápido con buena acción fisiológica. Es muy estable en el ambiente debido que mantiene un efecto residual activo en muchos insectos y superficies. Deltametrina no es sistémico en plantas. Con toxicidad de moderada a alta en mamíferos y rápida metabolización que permite expulsión del organismo. Tiene un efecto repelente para algunos insectos.
	Triazofos	-----
Captan	Tioftalamidas	Es un fungicida no sistémico usado para el control de enfermedades en frutas, ornamentales y vegetales. Es usado en la producción agrícola y también en jardines. Utilizado en bodegas para la preservación de toldos, cortinas y cuero, usado como tratamiento preventivo de hongos para raíces y semillas, incorporado en pinturas, papel tapiz, plástico y productos de cuero.
Cipermetrina	Cipermetrina	Es un piretroide compuesto, con amplio espectro, no acumulativo en insectos, rápido como agente neurotóxico con buena acción fisiológica. Es de toxicidad de moderada a alta para mamíferos y rápidamente metabolizado excretado por el organismo. Cipermetrian no es sistémico en plantas, con rápida degradación en suelo o plantas pero tiene actividad residual en superficies inertes.
Volatón	Phoxim	Es un insecticida organofosforado de toxicidad aguada baja por vía oral y dermal para mamíferos pero con toxicidad selectiva pronunciada para insectos, particularmente en



		aquellos productos almacenados.
Kong Fu y Karate	Labdacialotrina	Es un insecticida registrado por EPA en 1988. Pertenece al grupo de piretroides. Labdacialotrina es el compuesto sintético similar a la piretrina cialotrina. Con baja solubilidad en agua. Con diferentes presentaciones en polvo, liquido, capsulas y orejeras para ganado.
	Deltametrina	Es un piretroide no sistémico compuesto. Insecticida no acumulativo de amplio espectro. Actuando como un agente neurotóxico rápido con buena acción fisiológica. Es muy estable en el ambiente debido que mantiene un efecto residual activo en muchos insectos y superficies. Deltametrina no es sistémico en plantas. Con toxicidad de moderada a alta en mamíferos y rápida metabolización que permite expulsión del organismo. Tiene un efecto repelente para algunos insectos.
Tamarón	Metamidofos	-----
Folidol	Metil paration	Es un plaguicida organofosforado de muy alta toxicidad para mamíferos. Se puede absorber por la piel, inhalación y vía oral. Con acción activa en el proceso metabólico de asimilación.
Semevin	Thiodicarb	-----
Silvacur	Tebuconazol	-----
	Triadimenol	-----
<b>Herbicidas</b>		
<b>Nombre comercial</b>	<b>Ingrediente Activo</b>	<b>Generalidades</b>
Glifosato, Pilarsato	Glifosato	Es un herbicida de amplio espectro, utilizado después de germinación debido a su actividad de translocación en las plantas. El glifosato sesquisodio es usado como un regulador en la caña de azúcar. En general en suelos posee una vida media residual menor a 60 días. Organofosforado con toxicidad baja para mamíferos. Los solventes en las formulaciones pueden causar diferencias significativa en las propiedades de toxicidad.
Hedonal, Fulmina, 2-4 D	2,4 Acido Diclorofenoxiacetico	Es un herbicida con toxicidad moderada para mamíferos. Su toxicidad es variable en función del tipo de sal o éster presente en la formulación. Es relativamente rápido de excretarse del organismo, mayormente sin tener cambios el componente.
Paracuat	Paracuat	Es un herbicida bipiridilo, extremadamente toxico para el ser humano por vía oral. Su efecto toxico en mamíferos es debido a su fuerte daño en los alveolos pulmonares. Daña severamente los ojos y moderadamente irrita la piel, pero no es significativamente absorbido por el contacto cutáneo. Absorción en espray o difusión puede ocurrir pero no se considera suficiente.
Gramoxone	Paracuat	Es un herbicida bipiridilo, extremadamente toxico para el ser humano por vía oral. Su efecto toxico en mamíferos es debido a su fuerte daño en los alveolos pulmonares. Daña severamente los ojos y moderadamente irrita la piel, pero no es significativamente absorbido por el contacto cutáneo. Absorción en espray o difusión puede ocurrir pero no se considera suficiente.
	Dicuat	Es un desecante y herbicida no residual. Con toxicidad moderada que no se acumula en el tejido cutáneo del

		organismo, pero se ha demostrado, en algunos experimentos con animales, que puede causar cataratas oculares con una ingestión prolongada.
Atrazina	Atrazina	Es un herbicida de amplia espectro, usado con bajos niveles de concentración es selectivo mientras en altos niveles actúa totalmente sobre todas las hierbas, posee en ambos casos un efecto residual mayor de un año. Atrazina posee una baja toxicidad aguda en mamíferos.
Combo	Picloram	Picloram físicamente se presenta en líquido. Es un herbicida sistémico usado en el control de plantas leñosas. Así también, permite el control de un rango amplio de hierbas, pero la mayoría de gramíneas son resistentes. Picloram es un derivado clorítico del ácido picolinico, y que se agrupa en las piridinas como herbicida.
	Metsulfuron metilo	Metsulfuron metilo se presenta como sólido. Es un componente residual del sulfonilurea usada como herbicida selectivo de antes y después de germinación de hierbas de hoja ancha y algunas gramíneas anuales. Metsulfuron metilo es un componente sistémico con actividad foliar y en suelo, el cual actúa rápidamente luego de ser absorbido por la planta.

#### Anexo 10 Características específicas de ingredientes activos en plaguicidas

Nombre comercial	Ingrediente activo	<sup>a</sup> LD <sub>50</sub> (mg/kg)	Grupo Químico	Formula Molecular	Amenaza en GHS <sup>b</sup>	Amenaza en EPA <sup>c</sup>
Rienda	Deltametrina	135	Piretroides	C <sub>22</sub> H <sub>19</sub> Br <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>	Moderada	II
	Triazofos	82	Organofosforados	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub> PS	Alta	II
Captan	Tioftalamidas	9000	Organofosforados	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> S	Ninguna	IV
Cipermetrina	Cipermetrina	250	Piretroides	C <sub>22</sub> H <sub>19</sub> Cl <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>	Moderada	II
Volatón	Phoxim	1975	Organofosforados	C <sub>12</sub> H <sub>15</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> PS	Moderada	II
Kong Fu y Karate	Lambdacialotrina	56	Piretroides	C <sub>23</sub> H <sub>19</sub> ClF <sub>3</sub> NO <sub>3</sub>	Moderada	II
	Deltametrina	135	Piretroides	C <sub>22</sub> H <sub>19</sub> Br <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>	Moderada	II
Tamarón	Metamidofos	30	Organofosforados	C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>2</sub> PS	Alta	I
Folidol	Metil paration	14	Organofosforados	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> NO <sub>5</sub> PS	Muy Alta	I
Semevin	Thiodicarb	66	Carbamato	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	Moderada	II
Silvacur	Tebuconazol	1700	---	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O	Moderada	III
	Triadimenol	900	---	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	Moderada	III
Glifosato, Pilarsato	Glifosato	4230	Organofosforados	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>5</sub> P	Leve	III
Hedonal, Fulmina, 2-4 D	2,4 Acido Diclorofenoxiacetico	375	Ácido Fenoxiacetico derivado	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Moderada	II
Paracuat	Paracuat	150	Bipiridilo derivado	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>	Moderada	II
Gramoxone	Paracuat	150	Bipiridilo derivado	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>	Moderada	II
	Dicuat	231	Bipiridilo derivado	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub>	Moderada	II
Atrazina	Atrazina	2000	Triazina derivado	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> ClN <sub>5</sub>	Leve	III
Combo	Picloram	8200	Piridinas	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ninguna	IV
	Metsulfuron metilo	>5000	---	C <sub>13</sub> H <sub>13</sub> N <sub>5</sub> O <sub>6</sub> S	Ninguna	IV

a = LD<sub>50</sub> Dosis letal medida en mg/kg en la cual el 50% de los individuos de prueba mueren. b = GHS Globally Harmonizing System por la Organización Mundial de la Salud. c = EPA Agencia de Protección Ambiental de U.S. con sus siglas en ingles.

Anexo 11 Características de presencia ambiental de ingredientes activos en plaguicidas

Ingrediente activo	Efectos ecológicos
Deltametrina	Como es común en muchos piretroides, deltametrina tiene una alta toxicidad en peces. Deltametrina tiene impacto negativo en insectos herbívoros acuáticos, lo cual permite un incremento de algas. En fauna acuática; particularmente los crustáceos se pueden ver afectados, pero los peces no son perjudicados bajo condiciones normales de uso. Deltametrina es considerado toxico para abejas. Tiene efectos tóxicos en microorganismos parásitos de plagas importantes en agricultura. También afecta a arañas.
Triazofos	-----
Tioftalamidas	Es muy toxico para peces. EPA ha expresado su preocupación por los organismos acuáticos, pero no existe aplicación de este fungicida para fines acuáticos, por tanto EPA concluye que su potencial de riesgo es localizado y menor. Las aves son mucho menos susceptibles a captan (Tioftalamidas) en comparación a ratas y ratones. Las abejas son susceptibles a bajas concentraciones de Tioftalamidas. Las Tioftalamidas tienen baja a moderada tendencia de concentración en tejido viviente.
Cipermetrina	Cipermetrina es prácticamente no toxico para aves. Pero es extremadamente toxico en peces e invertebrados acuáticos. Es notablemente más lenta la eliminación fisiológica de los peces (trucha) en comparación a mamíferos o aves, lo cual puede ser parte de la razón de su alta toxicidad. Es altamente toxico para abejas
Phoxim	-----
Lambdacialotrina	Lambdacialotrina para aves tiene toxicidad de baja a no-toxico. Pero es muy toxico para peces e invertebrados acuáticos. Es muy toxico para abejas.
Metamidofos	Metamidofos es muy toxico para aves. Es también toxico para organismos acuáticos, los crustáceos son extremadamente sensibles a Metamidofos. Metamidofos es toxico para abejas.
Metil paration	Las aves son tolerantes a efectos negativos de Metil paration. Es toxico para peces y para animales que se alimentan de peces. Metil paration mata insectos y crustáceos que se alimentan de algas. Cuando estos organismos mueren, la población de algas rápidamente aumenta, consume todo el oxígeno disponible en el agua. Esta falta de oxígeno puede causar la muerte de peces. Metil paration es moderadamente toxico para mamíferos como ratas, perros y conejos.
Thiodicarb	-----
Tebuconazol	-----
Triadimenol	-----
Glifosato	Glifosato es poco toxico a las aves. Es prácticamente no toxico para peces, pero Roundup reporta mayor toxicidad que solamente en glifosato (ingrediente activo). Existe un potencial muy bajo que el compuesto se acumule en tejidos de invertebrados acuáticos u otros organismos acuáticos. Glifosato no es toxico a las abejas.
2,4 Acido Diclorofenoxiacetico	2,4-D es poco toxico para aves. Algunas formulaciones de 2,4-D son altamente toxicas a peces y crustáceos, mientras otras formulaciones menos. En abejas también hay tolerancia pero depende de las formulaciones empleadas.
Paracuat	Paracuat es moderado a altamente toxico para varias especies acuáticas de peces e invertebrados. La acumulación en tejido vivo es poco probable, debido que Paracuat es rápidamente excretado por animales. Hierbas acuáticas pueden ser una fuente de bioacumulación. Paracuat no es toxico para abejas.

Dicuat	-----
Atrazina	Atrazina es de baja toxicidad para aves. También de baja toxicidad para peces u otra vida acuática. Atrazina no es toxico para abejas.
Picloram	Picloram no es toxico para aves. Es de bajo a moderadamente toxico para peces. Picloram es de baja toxicidad para invertebrados acuáticos. No es toxico para abejas.
Metsulfuron metilo	Metsulfuron metilo tiene baja toxicidad en aves. También una muy baja toxicidad para organismos acuáticos. Baja toxicidad para abejas.

#### Anexo 12 Comportamiento de ingredientes activos en suelo y agua

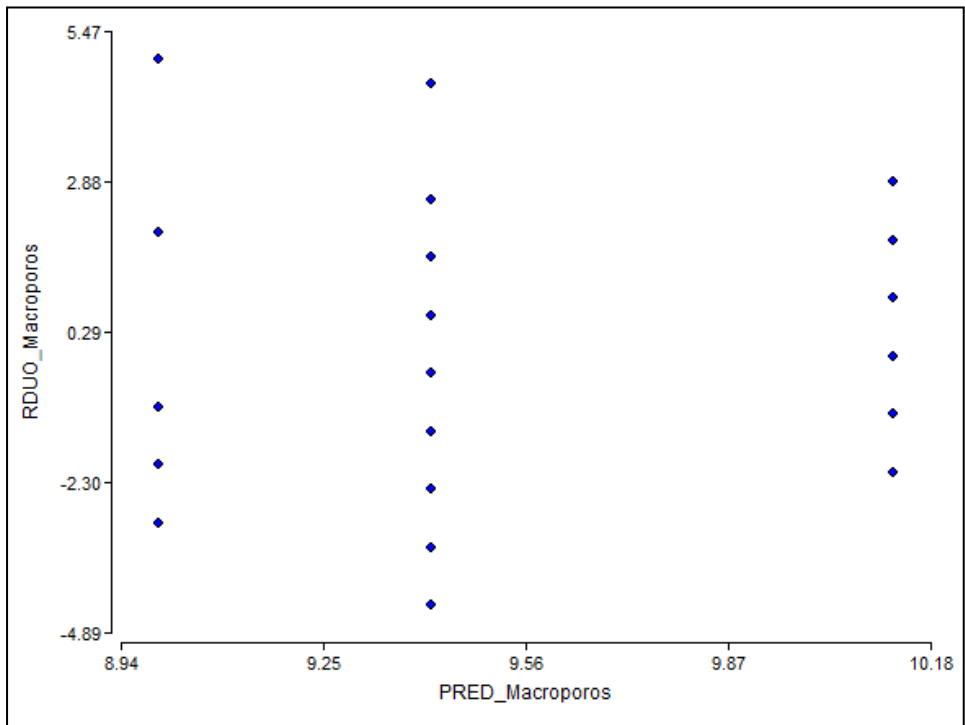
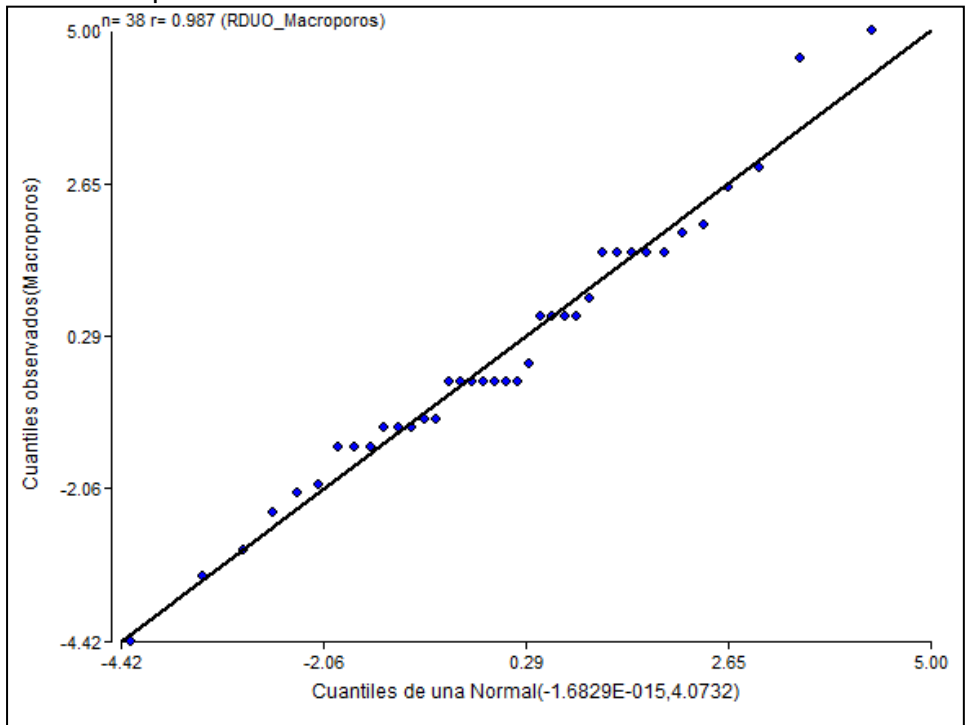
Ingrediente activo	Vida media en agua (días)	Solubilidad en agua (%)	Vida media en suelo (días)	Adherencia a partículas del suelo
Deltametrina	730	2	7 a 14	---
Triazofos	---	---	---	---
Tioftalamidas	2 a 3	1	1 a 10	SI
Cipermetrina	2 a 769	1 a 2	8 a 16	SI
Phoxim	Estable	0.7	---	---
Lambdialotrina	7	0.1	30 a 84	SI
Metamidofos	3, 27 a 309	>80	2 a 12	---
Metil paration	14 a 30	6	10 a 60	SI
Thiodicarb	8 a 78	---	---	---
Tebuconazol	365	0.32	---	---
Triadimenol	Estable	---	---	---
Glifosato	12, 70 a 180	>80	1 a 174	SI
2,4 Acido Diclorofenoxiacético	15	67 a 89	7 a 16	NO
Paracuat	14 a 161	>80	480 a 4700	SI
Dicuat	74	>80	---	---
Atrazina	13 a 261	4 a 30	60 a 100	NO
Picloram	100 a 769	43%	60	NO
Metsulfuron metilo	21 a 30	>80	14 a 180	NO

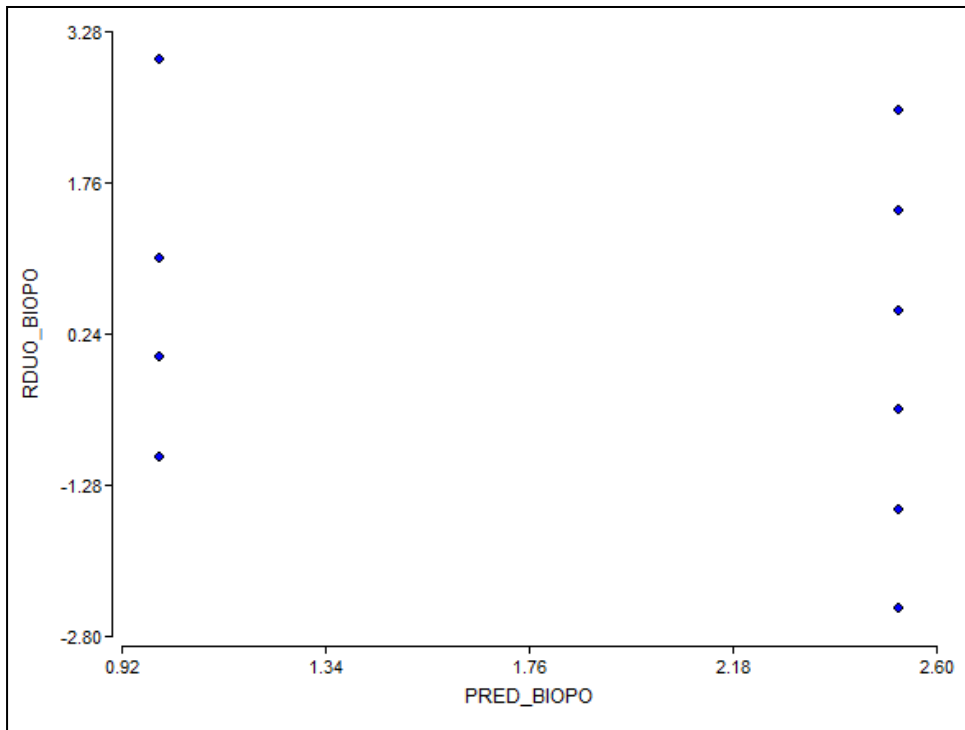
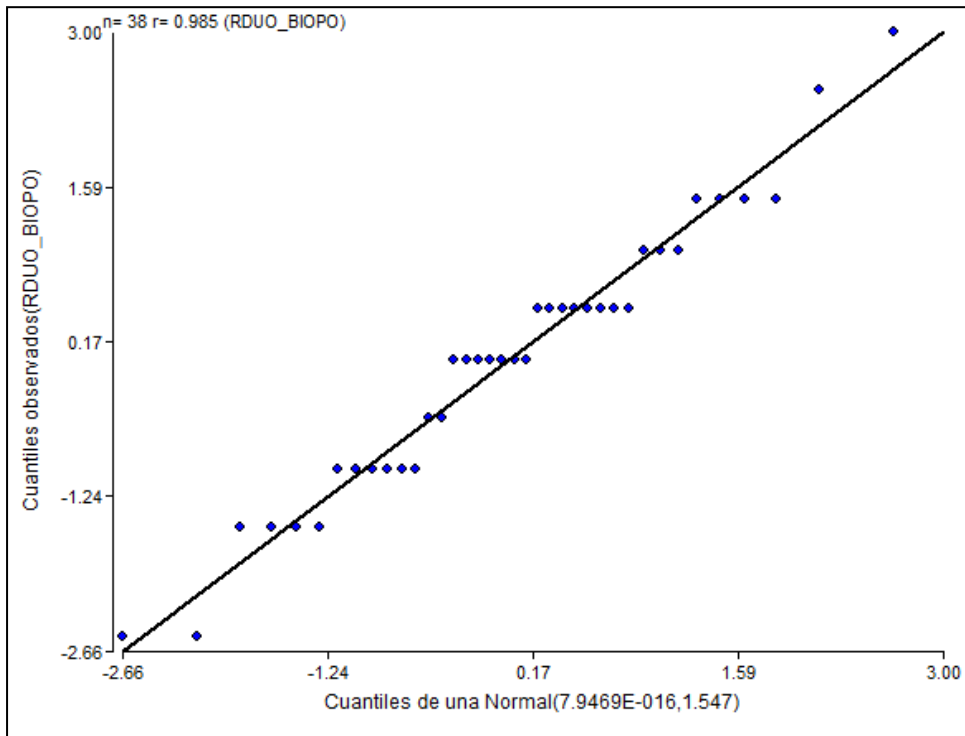
#### Anexo 13 Datos de carbono orgánico (CO en %) del suelo para las 38 parcelas estudiadas

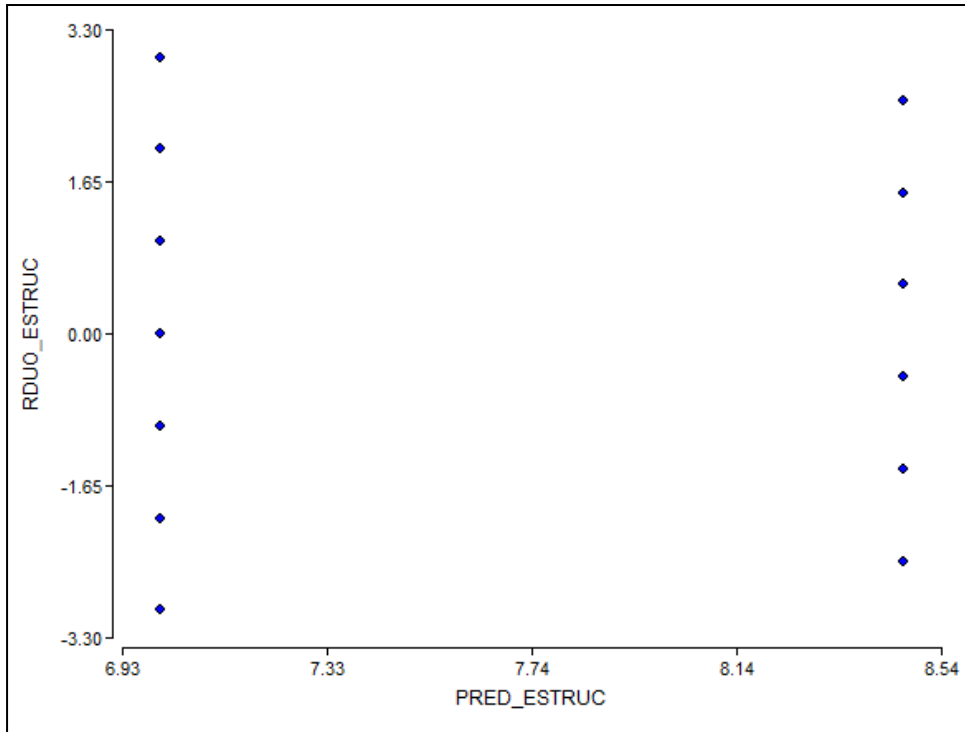
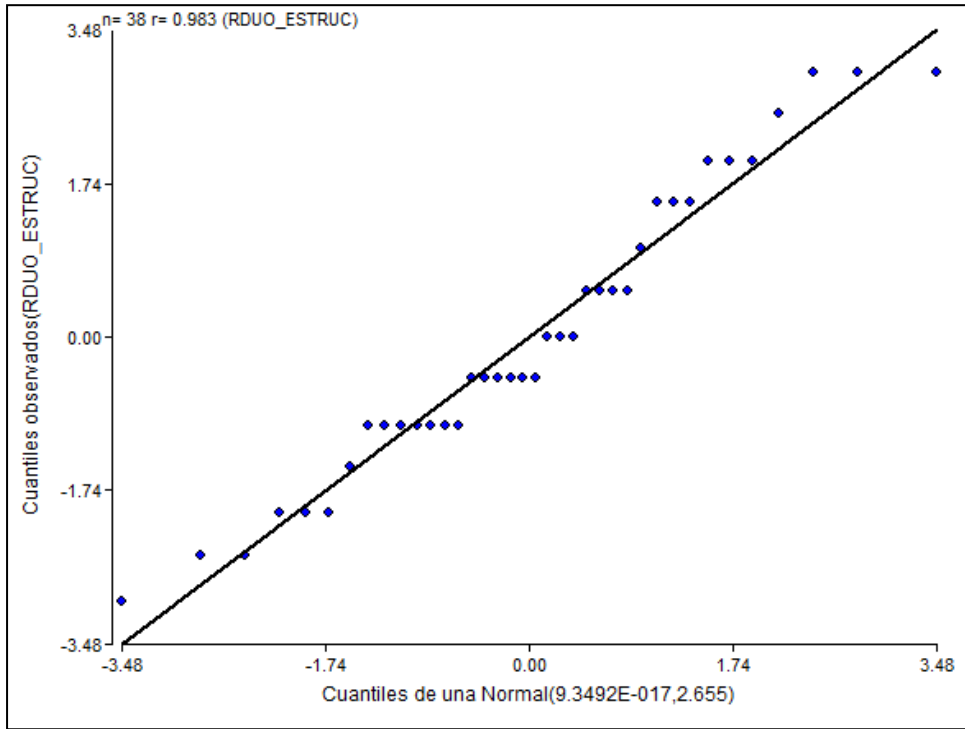
Identificación	Prof.	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	C.O.	CÓDIGO PARA PRODUCTORES
	(cm)	H <sub>2</sub> O	cmol(+)/l				mg/l	%	
1	0-20							6.70	LNUEC-TG-P-A-1
2	0-20							2.40	LNUEC-TG-P-P-2
3	0-20							5.06	LNUEC-TG-Q-P-3
4	0-20							3.75	LNUEC-EP-P-A-4
5	0-20							3.07	LNUEC-EP-P-P-5
6	0-20							6.00	LNUEC-EP-Q-P-6
7	0-20							2.45	LNUEC-RC-P-A-7
8	0-20							5.89	LNUEC-JC-P-P-8

9	0-20							5.35	LNUEC-JC-P-A-9
10	0-20							4.59	LNUEC-MM-P-A-10
11	0-20							5.71	LNUEC-MM-Q-P-11
12	0-20							5.27	LNUEC-MM-ON-P-12
13	0-20							3.31	LNUEC-WG-P-A-13
14	0-20							4.41	LNUEC-WG-P-P-14
15	0-20							2.60	LNUEC-GPJ-P-A-15
16	0-20							4.14	LNUEC-GPJ-ON-P-16
17	0-20							3.51	EC-MCM-ON-P-1
18	0-20							2.51	EC-ER-P-A-2
19	0-20							4.91	EC-ER-ON-P-3
20	0-20							2.98	EC-GM-ON-A-4
21	0-20							2.73	EC-GM-P-P-5
22	0-20	7.44	0.05	62.52	3.78	0.34	2.6	2.80	EC-TMC-ON-A-6
23	0-20							4.16	EC-TMC-ON-P-7
24	0-20							1.12	VLE-JX-P-P-1
25	0-20							3.81	VLE-JX-P-A-2
26	0-20							4.17	VLE-MAI-P-P-3
27	0-20							5.58	VLE-DGC-ON-A-4
28	0-20							3.56	VLE-DGC-P-P-5
29	0-20							3.10	VLE-AOP-P-P-6
30	0-20							3.65	VLE-MJO-P-P-7
31	0-20							5.76	VLE-MJL-P-P-8
32	0-20							6.12	LL-RG-Q-A-1
33	0-20							4.66	LL-RG-P-A-2
34	0-20							3.71	LL-MM-P-A-3
35	0-20							4.02	LL-AGS-P-A-4
36	0-20	7.22	0.05	31.76	19.22	0.12	1.7	3.29	LL-FJM-Q-A-5
37	0-20							4.47	XN-EP-Q-P-1
38	0-20							2.51	XN-EP-P-P-2

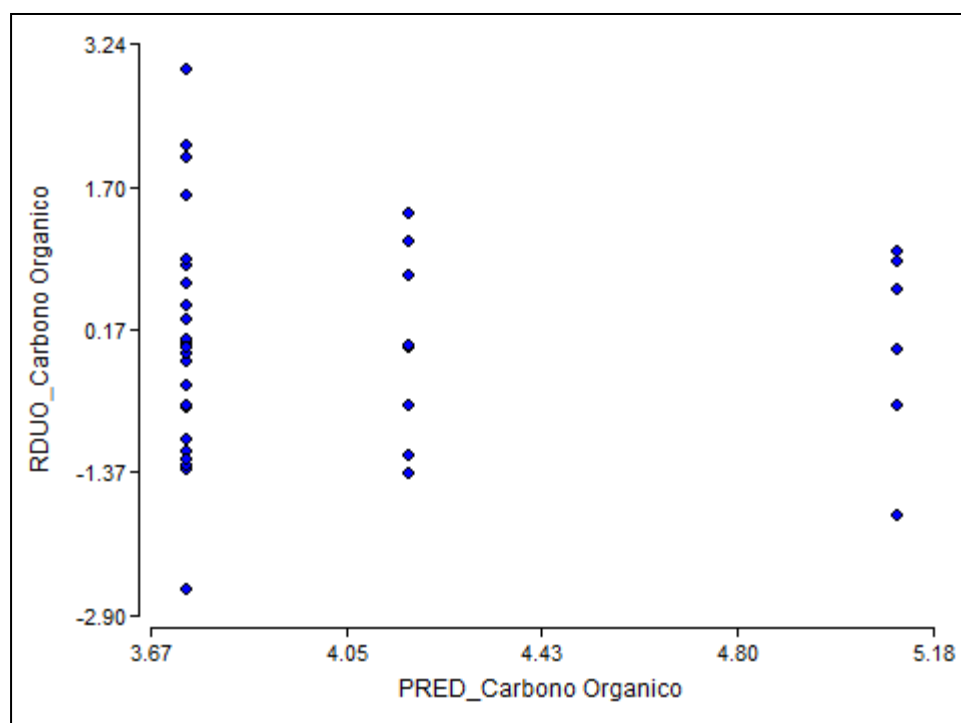
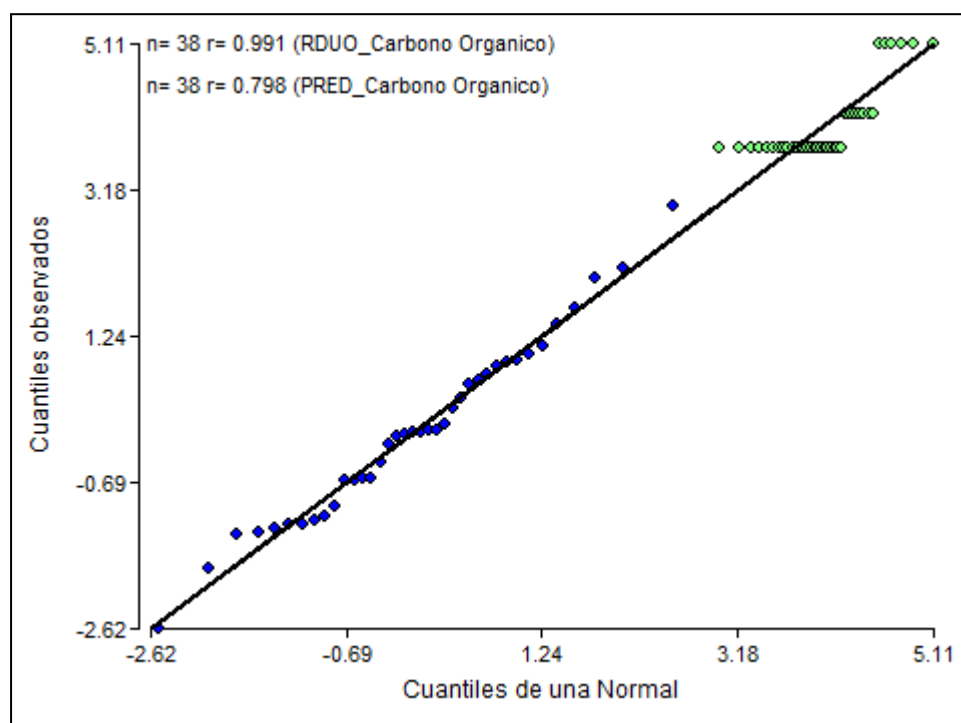
Anexo 14 Supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para variables continuas analizadas por ANAVA











Anexo 15 Entrevista estructurada para obtener información general, variables biofísicas y socioeconómicas en fincas de los productores

**1. Información general**

1.1. Fecha de entrevista	1.2. Hora inicio	hora final
1.3. Nombre entrevistador	1.4. Coord. En NAD 1927 16N:	
1.5. Nombre entrevistado	1.6. Nombre de la Comunidad	
1.7. Ubicación de la parcela en la subcuenca	<b>Alta</b>	<b>Media</b> <b>Baja</b>

1.8. ¿Cuál es el área total de su parcela?

1.9. Su parcela es propia, arrendada o de qué tipo de propiedad:

1.10. ¿Hace cuantos años usted produce en esta parcela?

1.11. ¿Su familia vive en la finca o parcela?

**2. Características de los sistemas productivos**

2.1. Qué área de su parcela dedica a:

Cultivo anual		Bosque		Pastos		Pastos Arboles	Otros
Maíz	frijol	natural	plantación	natural	mejorado		
Especies vegetales presentes en cada cobertura							

2.2. ¿Por qué tiene o no tiene montaña o bosque su finca o parcela?

(Posibles respuestas o solamente llenar en otros; A.- Aumenté el área de agricultura y pasto, B.- Recibí un incentivo monetario o físico para mantener mi bosque, C.- Recibo beneficios de mi bosque, D.- Compre la finca o parcela sin bosque o montaña, E.- Cuando compré limpie el área de bosque, F.- Con el tiempo saque toda la madera y G.- Otros)

**Con estas preguntas es recomendable hacer uso de un “croquis de referencia” con el productor**

- 2.3. ¿Qué usos anteriores tenía usted en su parcela (aproximadamente 5, 10 y 20 años atrás)?
- 2.4. ¿Qué usos anteriores tenían sus vecinos de la finca (aproximadamente 5, 10 y 20 años atrás)?
- 2.5. ¿Cuál eran los usos más comunes anteriormente en su comunidad (aproximadamente 5, 10 y 20 años atrás)?
- 2.6. ¿Cree usted que sus actividades de producción en la parcela generan degradación, bajas en la productividad y contaminación?

### **3. Variables biofísicas, socioeconómicas y de manejo en finca y parcelas**

- 3.1. ¿Qué cantidad de animales mantiene usted pastoreando en su finca?
- 3.2. ¿utiliza otras fincas para el pastoreo del ganado?
- 3.3. ¿Utiliza pasto de corte para la alimentación del ganado?
- 3.4. ¿Utiliza otros suplementos alimenticios adicionales al pastoreo?

3.5. Características del hato ganadero:

<b>Tipo de animal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso</b>
Vaca		
Vaca preñada		
Vaquilla de 2-3 años		
Vaquilla de 1-2 años		
Toro		
Terneros destetado		
Caballo		
Caprino		
Otros		

3.6. En este potrero (parcela) ¿con cuales animales pastorea?

3.7. ¿Cuántos días se usa el potrero?

3.8. ¿Cuántos días de descanso se le da al potrero?

3.9. Dinámica del potrero ¿es igual durante todo el año? O ¿Es diferente en cada época del año?

3.10. Mantiene usted libros, libretas, cuadernos de apuntes respecto al manejo de su ganado o agrícola:

Sistema producción	Respuesta	
Pecuario	SI	NO
Agrícola	SI	NO

3.11. Mantiene y utiliza usted libros, libretas, cuadernos de apuntes respecto a los costos e ingresos en su sistema ganadero o agrícola:

Sistema producción	Respuesta	
Pecuario	SI	NO
Agrícola	SI	NO

3.12. Fertilizantes y/o abonos:

Sistema	Nombre producto 1er aplicación	Cantidad en la 1er aplicación	Nombre producto 2da aplicación	Cantidad en la 2da aplicación	A qué distancia del agua aplica	Donde lava el equipo de aplicación	Otros
Maíz							
Frijol							
P. Natural							
P. Mejorado							
SSP							
Otro							

3.13. Control de plagas y/o enfermedades:

Sistema	Nombre del producto	Tipo de producto	Para el control de:	A qué distancia del agua aplica	Donde lava el equipo de aplicación	Otros
Maíz						
Frijol						
P. Natural						
P. Mejorado						
SSP						

3.14. Control de malezas:

Sistema	Nombre del producto	Tipo del producto	Para el control de:	A qué distancia del agua aplica	Donde lava el equipo de aplicación	Realiza otra practica cultural para control	Otros
Maíz							
Frijol							
P. Natural							
P. Mejorado							
SSP							

- 3.15. Usted practica la rotación en el pastoreo para la alimentación de su ganado: **SI NO** (Observar si en la finca existen divisiones de potreros, para verificar la respuesta que se obtenga)
- 3.16. Usted practica la rotación cultivos para su producción agrícola durante el año: **SI NO** (Especificar cómo)
- 3.17. Qué tipo de obras físicas; como cercos, prácticas de conservación, bebederos, aguadas, silos, bodegas, etc. tiene el productor en su finca (es necesario observar en función al cuadro de referencias)
- 3.18. Qué tipo de equipo utiliza usted para su producción agrícola; bobas matavi, chapeadoras, carros, arador con ganado, etc (podría mostrármelos)
- 3.19. ¿Qué mano de obra, utiliza durante su producción ganadera durante el año?
- 3.20. ¿Qué mano de obra, utiliza durante su producción agrícola durante el año?
- 3.21. Las decisiones en el manejo y administración de la finca las toma solamente usted, o las realiza con el consentimiento de otros miembros de la familia (que otros miembros son)
- 3.22. Usted recibe asistencia técnica de alguna organización: **SI NO**, ¿Quién, cual es el nombre de la organización?
- 3.23. Hace cuanto recibe la asistencia técnica: ¿de qué tipo?

**4. Referencia preliminar para el nivel de riego a la distancia de aplicación de productos químicos y fuentes de agua:**

Menos de 5 m	5 a 15 m	16 a 50 m	51 a 100 m	Más de 100 m
5	4	3	2	1

5. **Percepción general de la degradación del suelo y agua (esta sección es únicamente como elementos para la discusión e información que puede ser de utilidad para la planificación de las ECAs en MESOTERRA, hay una consultoría en marzo que recopilara información relacionada a la adopción de buenas prácticas de manejo de la tierra)**

6.1. Usted observa algún lavado de suelos, pérdida de suelos en sus parcelas:

<b>Sistema producción</b>	<b>Respuesta</b>		<b>A que le atribuye usted el fenómeno</b>
Pecuario	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
Agrícola	<b>SI</b>	<b>NO</b>	

6.2. De qué forma observa usted que existe una pérdida de suelos:

6.3. ¿En qué le perjudica a usted está pérdida de suelo?

6.4. Usted observa alguna contaminación del agua:

<b>Sistema producción</b>	<b>Respuesta</b>		<b>A que le atribuye usted el fenómeno</b>
Pecuario	<b>SI</b>	<b>NO</b>	
Agrícola	<b>SI</b>	<b>NO</b>	

6.5. De qué forma observa usted que existe una contaminación del agua

¿En qué le perjudica a usted está contaminación del agua?