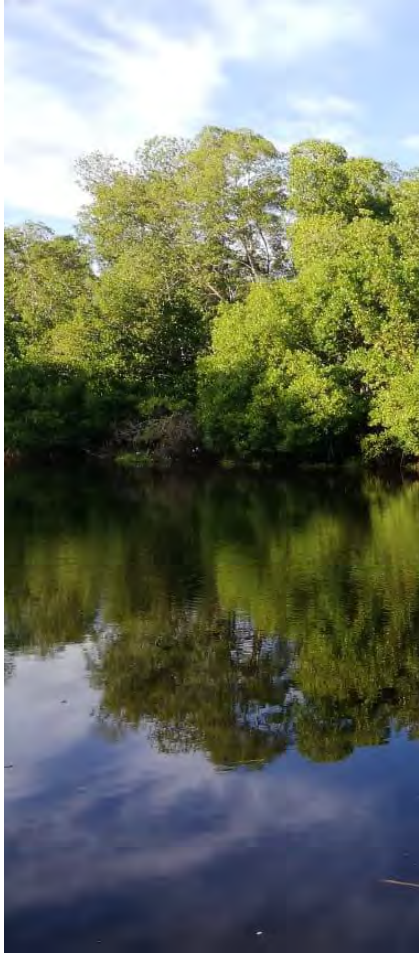




USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO OCOSITO

Proyecto de Biodiversidad de USAID Guatemala

17 de julio de 2020

Esta publicación fue producida para ser revisada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Fue preparada por Chemonics International Inc.

MODELACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO OCOSITO

Contrato No. 72052018C000002

Foto de portada: Los manglares forman parte de la flora característica de la Costa del Pacífico. (Credit: Mario Díaz/USAID).

DISCLAIMER

Los puntos de vista del autor expresados en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional o del Gobierno de los Estados Unidos.

CONTENIDO

ACRÓNIMOS.....	iv
Resumen Ejecutivo.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	2
2.1 General.....	2
2.2 Específicos.....	2
3. METODOLOGÍA	3
3.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	3
3.2 Ecuación Universal de Pérdida del Suelo.....	4
3.2.1 Factor R o erosividad de la lluvia.....	5
3.2.2 Factor K o erodabilidad del suelo.....	6
3.2.3 Factor LS (Longitud e inclinación de la pendiente) o factor topográfico.....	7
3.2.4 Factor CP (cobertura y prácticas de conservación de suelos) o factor de manejo.....	8
3.2.5 Erosión hídrica en la cuenca del río Ocosito.....	9
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1 Principales factores que intervienen en la erosión hídrica.....	11
4.2 Erosión hídrica, escenario actual.....	13
4.3 Erosión hídrica, escenario pesimista.....	14
4.4 Erosión hídrica, escenario optimista.....	16
4.4 Comparativa de escenarios sobre erosión hídrica.....	18
5. PLAN DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO OCOSITO	20
5.1 Cultivos a nivel y cultivos en fajas.....	20
5.2 Terrazas o acequias de infiltración y desagüe.....	23
5.3 Áreas de restauración forestal.....	26
6. CONCLUSIONES	30
8. RECOMENDACIONES	31
9. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	32
10. ANEXOS	36
10.1. Trazado de la cuervas a nivel.....	36
10.1.1 Trazado de curvas a nivel con el nivel o aparato en “A”.....	36
10.1.2 Trazado de curvas a nivel con levantamiento topográfico aéreo o fotogrametría con drones.....	36

.....	37
10. 2 Diseño del cultivo en fajas	38
10.3. Criterios del diseño de acequias de infiltración y de desagüe.....	38
10.3.1 Topografía	38
10.3.2 Escurrimiento superficial	40
10.3.2.1 Coeficiente de escorrentía (C)	40
10.3.2.2 Intensidad máxima de lluvia	41
10.3.3 Diseño hidráulico	41
10.3.3.1 Elementos geométricos de la sección transversal de un canal	42
10.3.3.2 Propuesta de dimensiones de acequias de infiltración y desagüe para la cuenca del río Ocosito.....	43
10. 4 Visita de campo en la subcuenca del río Ocosito	44

ACRÓNIMOS

ANACAFÉ	Asociación Nacional del Café
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CENGICAÑA	Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GIMBOT	Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INAB	Instituto Nacional del Bosque
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
USLE	Universal Soil Loss Equation
SIG	Sistemas de Información Geográfica

RESUMEN EJECUTIVO

Manchón-Guamuchal es el humedal marino costero más grande del Pacífico de Guatemala (13,941 hectáreas), forma parte de las cuencas de los ríos Ocosito y Naranjo, y tiene un papel importante para la retención de sedimentos que transportan los afluentes de estas cuencas. El río Ocosito aporta la mayoría del recurso hídrico por lo que es el que tiene una mayor influencia sobre la dinámica del recurso en el área.

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una modelación hidráulica y mapa de sedimentos que permita proveer de modelaciones, escenarios y recomendaciones técnicas sobre la dinámica del flujo hídrico y de sedimentos que del río Ocosito llegan al humedal de Manchón Guamuchal. Es por ello que se realizó la modelación de la erosión hídrica bajo tres escenarios de cobertura vegetal, esto para identificar las áreas más vulnerables a erosión hídrica que estén aportando mayor cantidad de sedimentos anualmente y con esto proponer estrategias que contribuyan a reducir la cantidad de sedimentos que puedan ser transportados a los afluentes de la cuenca del río Ocosito.

La modelación se trabajó con la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE, por sus siglas en inglés) asociada a un Sistema de Información Geográfica. Este modelo fue alimentado con abundante información de la región, ya que se cuenta con la red de estaciones automáticas meteorológicas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, la cual registra datos meteorológicos cada 15 minutos, distribuidas en la vertiente del Pacífico. Además, se incluyó información relevante de propiedades físicas de los suelos de la vertiente del Pacífico, tanto del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar así como del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

Los resultados de la modelación de la erosión hídrica muestran que la agricultura de la cuenca estaría produciendo el 63% de la erosión hídrica actual. Sin embargo con un buen manejo de cobertura vegetal y la implementación de prácticas de conservación de suelos, la erosión hídrica en toda la cuenca podría estar reduciéndose en 84%. Cabe resaltar que el reforzamiento de áreas forestales y la restauración forestal, principalmente en áreas ribereñas, es la estrategia de manejo sostenible de la cuenca con mayor efecto en la reducción de la erosión hídrica, resultando en una reducción del 38%. Además, la implementación de terrazas o acequias de infiltración, principalmente en áreas agrícolas de la parte alta y media de la cuenca, estarían reduciendo 26% de la erosión, además de contribuir en el manejo de la escorrentía producida en las áreas con precipitaciones extremadamente severas, por su impacto sobre los suelos.

Por lo tanto, el manejo integral de los recursos de la cuenca estaría contribuyendo a la sostenibilidad de sistemas productivos presentes en este territorio, así como en su área de influencia; cuyo reto requerirá la organización y diálogo a todos los niveles para que de manera voluntaria se pueda implementar las medidas que se proponen en el presente estudio.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el 33% de los suelos está degradado (FAO, 2015), reflejándose en la pérdida de fertilidad, las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como también las formas de erosión, la sequía y desertificación (Leiva P., J. M., 2016).

Desde el 2012, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC- ha estado realizando estudios para estimar las tasas de erosión hídrica y validando prácticas y estructuras de conservación de suelos que socios están implementando en áreas agrícolas de Guatemala. Las estructuras de conservación de suelo y agua más destacadas en la vertiente del Pacífico guatemalteco son las acequias de ladera en el cultivo de caña de azúcar, sumando aproximadamente 8,000 hectáreas con estas estructuras.

Se propone la modelación de la erosión hídrica en la cuenca del río Ocosito utilizando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE, por sus siglas en inglés) asociada a un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la priorización de áreas con alta vulnerabilidad a ser erosionadas y enfocar medidas que reduzcan dicho proceso de degradación de los suelos y de esta forma reducir la llegada de sedimentos a la parte baja que afecta sistemas productivos agrícolas, manglares, piscicultura, etc.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Modelar la erosión hídrica en la cuenca del río Ocosito con la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo asociada a un sistema de Información Geográfica.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Generar cartografía específica de la cuenca de los factores principales que intervienen en la erosión hídrica según la USLE
2. Priorizar áreas vulnerables en la cuenca a erosión hídrica
3. Proponer medidas que reduzcan la erosión hídrica en la cuenca del río Ocosito

3. METODOLOGÍA

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Cuenca del río Ocosito se encuentra en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos y Retalhuleu, cuenta con un área de 1,929 kilómetros cuadrados (Km²), equivalentes a 192,898 hectáreas (ha). Colinda con las cuencas de los ríos El Naranjo, al oeste, y Samalá, al este. Se ubica entre los paralelos

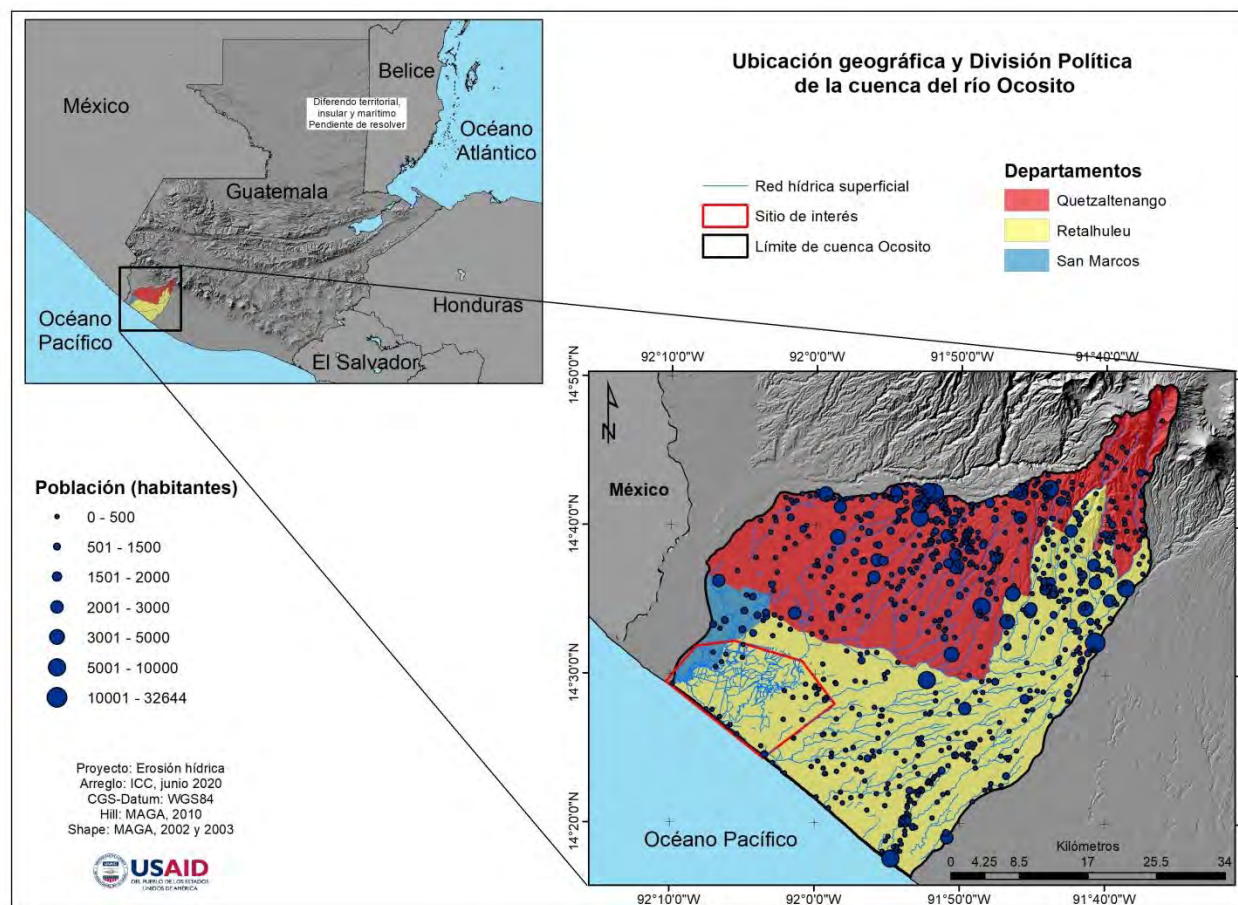


Figura 1: Mapa base de la cuenca del río Ocosito

14°13' y 14°50' latitud y meridianos 91°35' y 92°12' (Galindo et al., 2010), figura 1.

De acuerdo a Molina, A (2017), quien realizó una proyección de la población de la cuenca, para el 2016 se contaba con 351,154 habitantes. Más del 50% de la población se dedica a la actividad agrícola, algunas personas cuentan con propiedades para realizar esta actividad mientras que otras son empleados de las agroindustrias (Molina, A. 2017).

Para este estudio se divide la cuenca del río Ocosito en alta, media y baja (figura 2) de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar (CIP, 2007) y a la distribución de la red hídrica superficial (WWF, 2018). La parte alta de la cuenca comprende una extensión de 47,206 ha (24 % del área total de la cuenca), a una altura máxima de 3,369 metros sobre el nivel del mar (msnm) y una altura mínima de 300 msnm, además es en esta parte se presentan las precipitaciones más elevadas de la cuenca (ICC, 2020) y donde nace el cauce principal. La parte media se extiende a 79,129 ha (41% del área total de la cuenca), comprende un

rango de altitud de 25 hasta 300 msnm, es en esta zona es donde se juntan las agua de las partes altas y dónde empieza el río principal a tener un cauce definido. Finalmente, la parte baja comprende un área de 66,563 ha (35% del área total de la cueca) y corresponde a una altitud menor de 25 msnm y donde el río termina desembocando a ríos mayores, humedales y al mar.

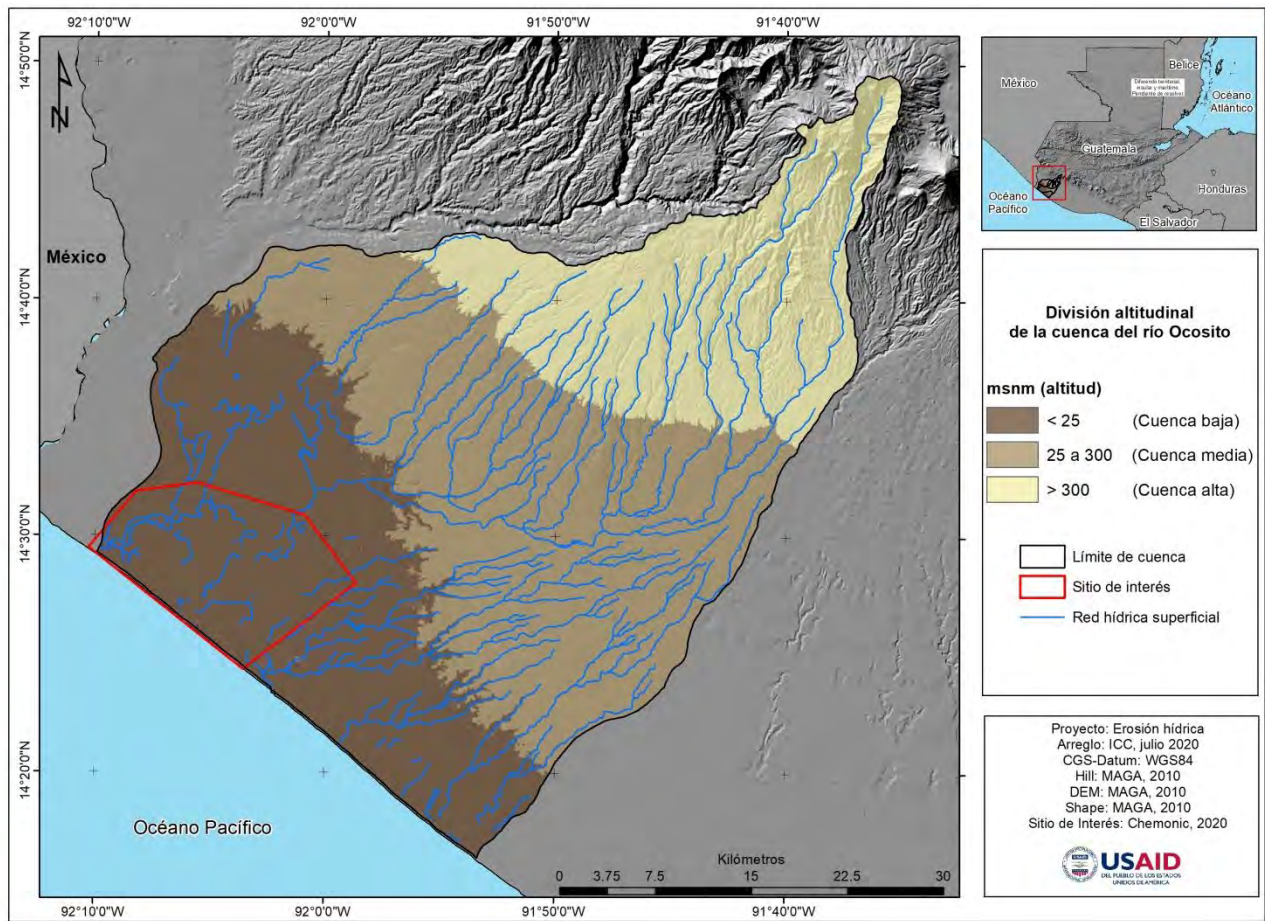


Figura 2: División altitudinal de la cuenca del río Ocosito

3.2 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DEL SUELO

Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), asociada a un sistema de información geográfica ArcGis10.5.1 ® para predecir el riesgo potencial a erosión hídrica de los suelos en la cuenca del río Ocosito. Los resultados de erosión hídrica se basó en la clasificación propuesta por FAO, et al. 1981:

Cuadro I: Niveles de erosión hídrica

Nivel de erosión	Tasa de erosión (t/ha/a)
Nula a ligera	< 10
Moderada	10 - 50
Fuerte	50 - 200
Muy fuerte	> 200

Fuente: FAO et al. 1981

Para la aplicación del método denominado USLE de Wischmeier y Smith (1978), en la cuenca acuerdo a:

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

Siendo:

- A la pérdida de suelo por unidad de superficie (t/ha/año)
- R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ/ha*mm/h)
- K es el factor erodabilidad del suelo (t*ha*h/ha*MJ*mm)
- L es el factor longitud de pendiente (adimensional)
- S es la pendiente (adimensional)
- C es el factor cultivo y/o ordenación y
- P es el factor prácticas de cultivo.

3.2.1 FACTOR R O EROSIVIDAD DE LA LLUVIA

Para obtener la energía erosiva de las lluvias se basó en la siguiente metodología: La determinación del factor "R", está en función de la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos consecutivos y la energía cinética por evento de lluvia. Se utilizó información meteorológica de 28 estaciones de la Red de Estaciones Meteorológicas del ICC, la cual cuenta con registros de acumulado de precipitación a un intervalo de 15 minutos (registros históricos de 01 a 11 años, según establecimientos de la estación, cuadro 2). Las estaciones más cercanas a la cuenca son: Álamo, Chiquirines, Naranjales, Providencia, Tululá y Xolula.

Cuadro 2: Estaciones meteorológicas utilizadas para la estimación del factor R de la USLE

ID	Estación	Abrev	Período (años)	Longitud	Latitud	ID	Estación	Abrev	Período (años)	Longitud	Latitud
1	Alamo	ALA	2	-92.14	14.63	15	La Maquina	MAQ	1	-90.33	13.90
2	Amazona	AMA	10	-90.77	14.07	16	Lorena	LOR	8	-91.42	14.52
3	Bonanza	BON	11	-91.19	14.08	17	Naranjales	NAR	8	-91.48	14.37
4	Bougambilia	BOU	11	-90.94	14.12	18	Peten Oficina	POF	10	-91.41	14.26
5	Cengicaña	CEN	11	-91.05	14.33	19	Providencia	PRO	2	-91.85	14.37
6	Chiquirines	CHI	2	-92.04	14.56	20	Puyumate San	PUY	11	-91.26	14.26
7	Cocales	COC	1	-91.20	14.38	21	Antonio del Valle	SAV	11	-91.20	14.00
8	Concepcion	CON	1	-90.79	14.34	22	San Nicolas	SAN	6	-91.60	14.18
9	Costa Brava	COB	10	-90.92	14.24	23	San Rafael	SAR	9	-90.63	14.02
10	El Balsamo	BAL	11	-91.00	14.28	24	Tehuantepec	TEH	11	-91.10	14.17
11	El Platanar	PLA	5	-90.94	14.56	25	Trinidad	TRI	11	-90.84	14.15
12	Irlanda	IRL	11	-91.43	14.15	26	Trinidad Magdalena	TRIMG	6	-90.26	13.93
13	La Candelaria	CAN	3	-90.56	13.91	27	Tulula	TL	8	-91.59	14.51
14	La Giralda	GIR	4	-90.93	13.98	28	Xolula	XL	6	-91.86	14.48

Fuente: ICC, 2020

La energía cinética se calculó a través de los registros pluviométricos diarios, los cuales se dividieron en segmentos donde se asumió que la intensidad era uniforme. De cada segmento del evento de lluvia a cada 30 minutos, se calculó la intensidad en milímetros por hora. Con la ecuación siguiente se calculó la energía cinética unitaria para cada segmento de lluvia que tenga intensidad uniforme:

$$e = 0.1191 + 0.0873 * \text{Log}10 I \text{ (Logaritmo de base 10 de la Intensidad de lluvia)}$$

Donde I es la intensidad expresada en milímetros por hora de cada uno de los segmentos. Si la intensidad excede los 76 milímetros por hora, se toma la energía cinética directamente como 0.283. Todas las energías unitarias por segmento de lluvia, se sumaron y se obtuvo la energía global por evento de lluvia, que multiplicada por la intensidad en 30 minutos en mm/hora resultó los valores de EI para cada evento de lluvia. Los valores EI de la época lluviosa por un periodo de tiempo variable (entre 1 a 12 años, ideal de 15 a 20 años), se sumaron y se obtuvo una media, la cual es el factor R utilizado en el modelo matemático de la USLE.

La media de R para cada estación se interpoló utilizando ArcMap 10.5.1® de ESRI donde se trabajó con Geostatistical Wizard, utilizando el método de Kriging con la transformación de los datos a una distribución normal con Logaritmo. Finalmente, para la clasificación de la erosividad de las lluvias, se utilizó la propuesta por Rivera, J. H (1991):

Cuadro 3: Clasificación de la erosividad de la lluvia de la USLE.

Clase	Erosividad R (MJ/Ha*mm/h)	Clasificación
1	< 1,000	Natural
2	1,000 - 2,500	Muy baja
3	2,500 - 5,000	Baja
4	5,000 - 7,500	Moderada
5	7,500 - 10,000	Alta
6	10,000 - 15,000	Muy alta
7	15,000 - 20,000	Severa
8	> 20,000	Extremadamente severa

Fuente: Rivera y Gómez, 1991.

3.2.2 FACTOR K O ERODABILIDAD DEL SUELO

Para la estimación de este factor se utilizó la ecuación elaborada por Wischmeier y Smith (1978), citados por Rufino R., F. (2019):

$$K = \frac{2.1 * 10^{-4} * (12 * MO) * M^{1.14} + 3.25 * (S - 2) + 2.5 * (P - 3)}{100}$$

Siendo:

K la erodabilidad del suelo en t h MJ mm

MO el porcentaje de materia orgánica en la capa superficial del suelo

M= (%limo+%arena muy fina)*(100-%arcilla)

S la clase de estructura, que toma los valores de: 1 (gránulo muy fino y grupo fino); 2 (gránulo fino y grumo fino); 3 (gránulo medio y grueso, grumo medio) y 4 (gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso).

P es la clase de permeabilidad, que toma valores de: 1 (muy rápida); 2 (medianamente rápida); 3 (moderada); 4 (moderadamente lento); 5 (lenta) y 6 (muy lenta).

La clasificación tanto de estructura como de permeabilidad de los suelos se trabajó en base a la clase textural de los mismos, para ello se utilizó información secundaria:

Cuadro 4: Clase de permeabilidad de los suelos

Textura del suelo	Clasificación	Infiltración (cm/h)
Arcilloso	Muy lenta	<0.13
Arcilloso limoso	Lenta	0.13-0.3
Francos	Moderadamente lenta	0.5-2
Franco arenoso	Moderadamente	2-6.3
	Moderadamente rápida	6.3-12.7
Arenosos	Rápida	12.7-25
	Muy rápida	>25

Fuente: FAO, sf.

Los valores obtenidos de K fueron ajustados con el valor de 0.1317 como un coeficiente de conversión de unidades del sistema inglés al sistema métrico, propuesto por Foster et al. (1981) citado por Becerra, 1999.

Se trabajó con información geográfica en formato vector de Shapes de punto sobre % materia orgánica, % limo, % arcilla y % arena, acumulando más de 6,800 puntos distribuidos en la vertiente del Pacífico guatemalteco, provenientes de los estudios semidetallados de los departamentos de Sacatepéquez, Chimaltenango y Guatemala del MAGA y de análisis de suelos realizados por el laboratorio agronómico de CENGICAÑA de los años 2015 al 2019, estos valores fueron interpolados utilizando el método de Kriging. Dicha información fue complementada con el shape de polígonos sobre clases texturales de los suelos del Simmons, Tárano y Pinto, 1959. Esta información vectorial se rasterizó y se operó la ecuación del factor K en la calculadora ráster de ArcMap 10.5.1® de ESRI.

3.2.3 FACTOR LS (LONGITUD E INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE) O FACTOR TOPOGRÁFICO

Para este factor se utilizó el Modelo de Elevación Digital (DEM) nacional de una resolución de 15 x 15 metros. Para el factor L o de longitud de la pendiente se utilizó la siguiente ecuación en la calculadora ráster de ArcMap 10.5.1® de ESRI:

$$L = \frac{(A + D^2)^{m+1} - A^{m+1}}{X^m * D^{m+2} * 22.13^m}$$

Siendo:

A el área aportada unitaria a la entrada de un pixel (flujo acumulado)

D es el tamaño del pixel (en este caso 15)

X es el factor de corrección de la forma

El exponente “m” se obtiene con la siguiente ecuación:

$$m = \frac{\frac{\sin \alpha}{0.0896}}{3 * (\sin \alpha)^{0.8} + 0.56} \div \frac{\sin \alpha}{1 + \frac{0.0896}{3 * (\sin \alpha)^{0.8} + 0.56}}$$

Siendo α el ángulo en radianes, por lo que este ángulo corresponde a un ráster de pendiente del área a evaluar en grados, el cual debe ser convertido posteriormente a radianes.

Para el factor S se utilizan los siguientes criterios de acuerdo al ángulo de la pendiente (ráster de la pendiente en grados):

$$S = 10.8 \sin \alpha + 0.03 \quad \text{si} \quad \tan \alpha < 0.09$$

$$S = 16.8 \sin \alpha - 0.5 \quad \text{si} \quad \tan \alpha \geq 0.09$$

Una vez hecho lo anterior se aplicó la fórmula de Moore y Burch (1986) para el cálculo del factor LS con la calculadora ráster:

$$LS = (\text{factor L}) * (\text{factor S})$$

3.2.4 FACTOR CP (COBERTURA Y PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS) O FACTOR DE MANEJO

Para el factor de cobertura se utilizó la información geográfica de GIMBOT, 2012, sobre el uso de la tierra y del área de bosque para el año 2016.

Para cada uso de la tierra definido se realizó una revisión bibliográfica sobre los valores del factor C o de cobertura, así como valores para las prácticas de conservación de suelos que se proponen para reducir la erosión en dicha cuenca (cuadros 5 y 6). Para el caso de agricultura anual, se consideró el cultivo de maíz como la cobertura referente de este uso de la tierra, para árboles dispersos el referente fue bosque con intervención, para cultivos permanentes arbóreos el referente fue árboles frutales y para zonas agrícolas heterogéneas su referente fueron los huertos.

El factor de manejo de la USLE, conformado por los factores C y P toman un valor de 0 a 1, según sea su capacidad de reducir la erosión hídrica por la protección y conservación que ofrecen al recurso suelo. Valores cercanos a 0 representan condiciones muy adecuadas para conservar el suelo y por lo tanto reducir la erosión, mientras que valores cercanos a 1 representan condiciones pobres para la protección y conservación de los suelos.

Finalmente, a partir de la capa de polígono con los valores de C y P se generó una capa raster que representara estos valores.

1 grado sexagesimal es igual a 0.01745 radianes

Cuadro 5: Valores promedio utilizados para el factor C de la USLE

Cobertura	Factor C (valores promedio)	Referencias bibliográficas
Agricultura anual	0.55	Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Árboles dispersos	0.34	Lianes, E. et al. 2009; Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Banano-Plátano	0.06	Lianes, E. et al. 2009; Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Bosque	0.01	FAO, 1979; Gaspari, F. et al. Sf.; Dumas, A. 2012; Lianes, E. et al. 2009; Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Café	0.07	Lianes, E. et al. 2009; Gonzales, C. y Pozo, G. 2007; Mitchell y Bubbenzer, 1980
Caña	0.23	Cooley y Williams, 1985; Uribe, C. 2012; Ibáñez, S. et al. 2012; Guzmán, I. 2012
Cultivos permanentes herbáceas	0.28	Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Cultivos permanentes arbóreos	0.13	Lianes, E. et al. 2009
Hule	0.10	Medina, C. 2009
Palma	0.20	Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Pastizales	0.08	Lianes, E. et al. 2009; Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Vegetación arbustiva baja	0.55	Gonzales, C. y Pozo, G. 2007
Zonas agrícolas heterogéneas	0.60	Gonzales, C. y Pozo, G. 2007

Cuadro 6: Valores utilizados para el factor P de la USLE

Pendiente (%)	Cultivo a nivel	Cultivo en fajas	Cultivo en terrazas	
			a	b
1 a 2	0.6	0.3	0.12	0.05
3 a 8	0.5	0.25	0.1	0.05
9 a 12	0.6	0.3	0.12	0.05
13 a 16	0.7	0.35	0.14	0.05
17 a 20	0.8	0.4	0.16	0.06
21 a 25	0.9	0.45	0.18	0.06
> 25	Cobertura forestal (bosque)			

a= terrazas de desagüe
b= terrazas de infiltración

Fuente: Guzman, L. 2012

3.2.5 EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO OCOSITO

Una vez obtenidos los factores se procedió a realizar la multiplicación de cada uno de los factores en la calculadora ráster de ArcMap 10.5.1® de ESRI, bajo tres escenarios:

1. **Actual;** en este escenario se utilizó la cobertura de uso de la tierra 2012 actualizando el área de bosque 2016, no se consideraron prácticas de conservación de suelos (ya que se desconocen las prácticas actuales implementadas en la zona).
2. **Pesimista;** en este escenario se sustituyó toda el área de bosque por agricultura anual modificando los valores del factor C de cobertura vegetal, los factores R, K, LS fueron los mismos que se utilizaron en el escenario actual. En este escenario tampoco se consideraron prácticas de conservación de suelos (factor P).
3. **Optimista;** para este escenario se trabajó una capa de cobertura de uso de la tierra, basado en cuatro factores: pendientes, nivel de erosión (del escenario actual), capacidad de uso de la tierra y Uso actual de la tierra (ver esquema de la figura 3), además se incluyó el factor de prácticas de conservación de suelos o factor P.

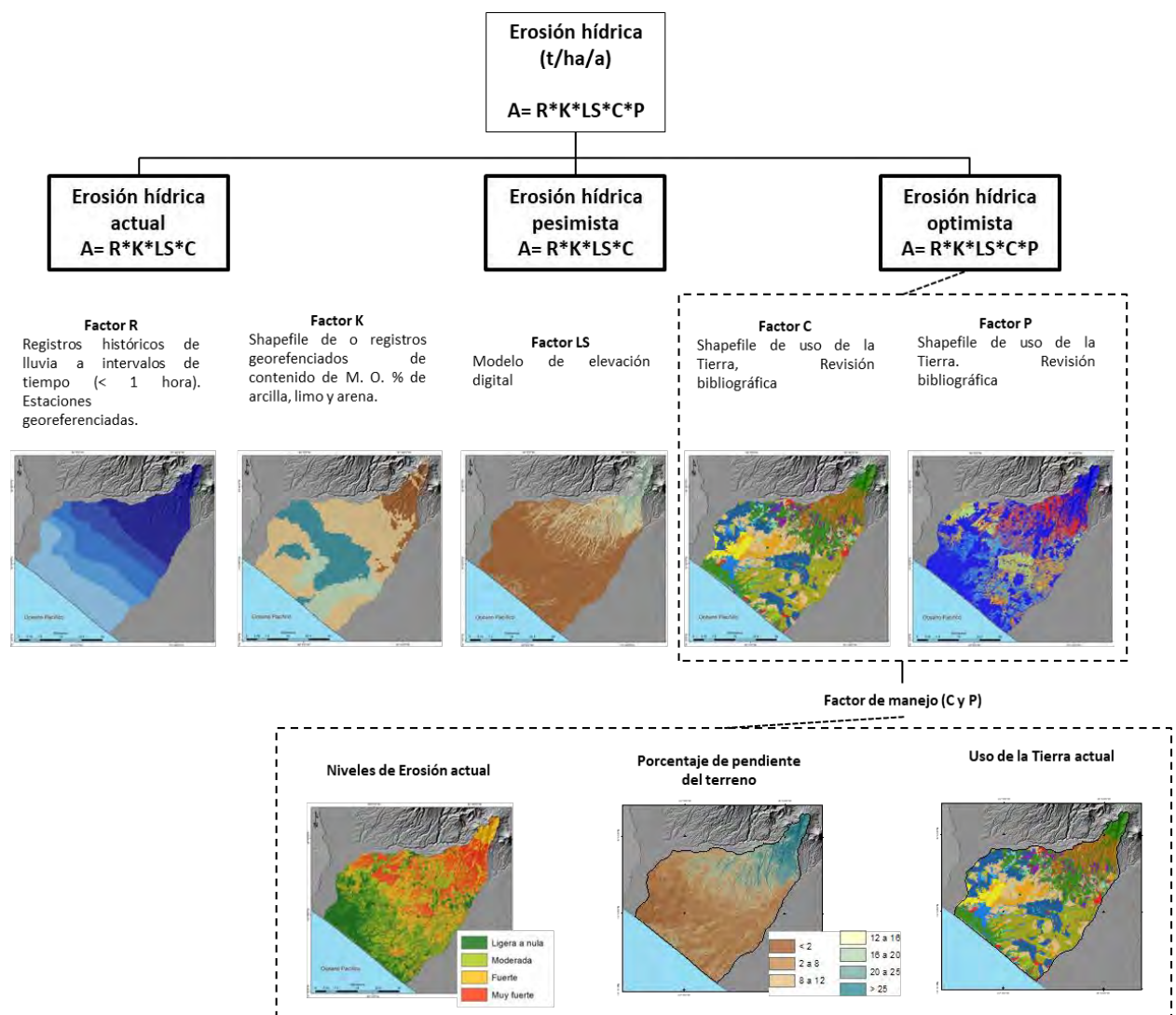


Figura 3: Esquema del proceso de estimación de erosión hídrica en la cuenca del río Ocosito, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA EROSIÓN HÍDRICA

Los resultados obtenidos muestran que la cuenca del río Ocosito presenta lluvias que van de bajas a extremadamente severas, de acuerdo con la clasificación de Rivera y Gómez (1991), esto por el impacto de caída que tienen las lluvias sobre la superficie del suelo (figura 4). Por lo tanto, el 28% (54 mil ha) del área presenta lluvias extremadamente severas encontrándose principalmente en la parte superior de la cuenca, mientras que en la parte media y parte de cuenca baja, las lluvias van de severas a altas, cubriendo el 47% (91 mil ha) del área y finalmente el 25% (48 mil ha) restante del área presenta lluvias moderadas. Este factor contribuye fuertemente en el proceso de erosión hídrica de la cuenca, principalmente en la parte alta de esta.

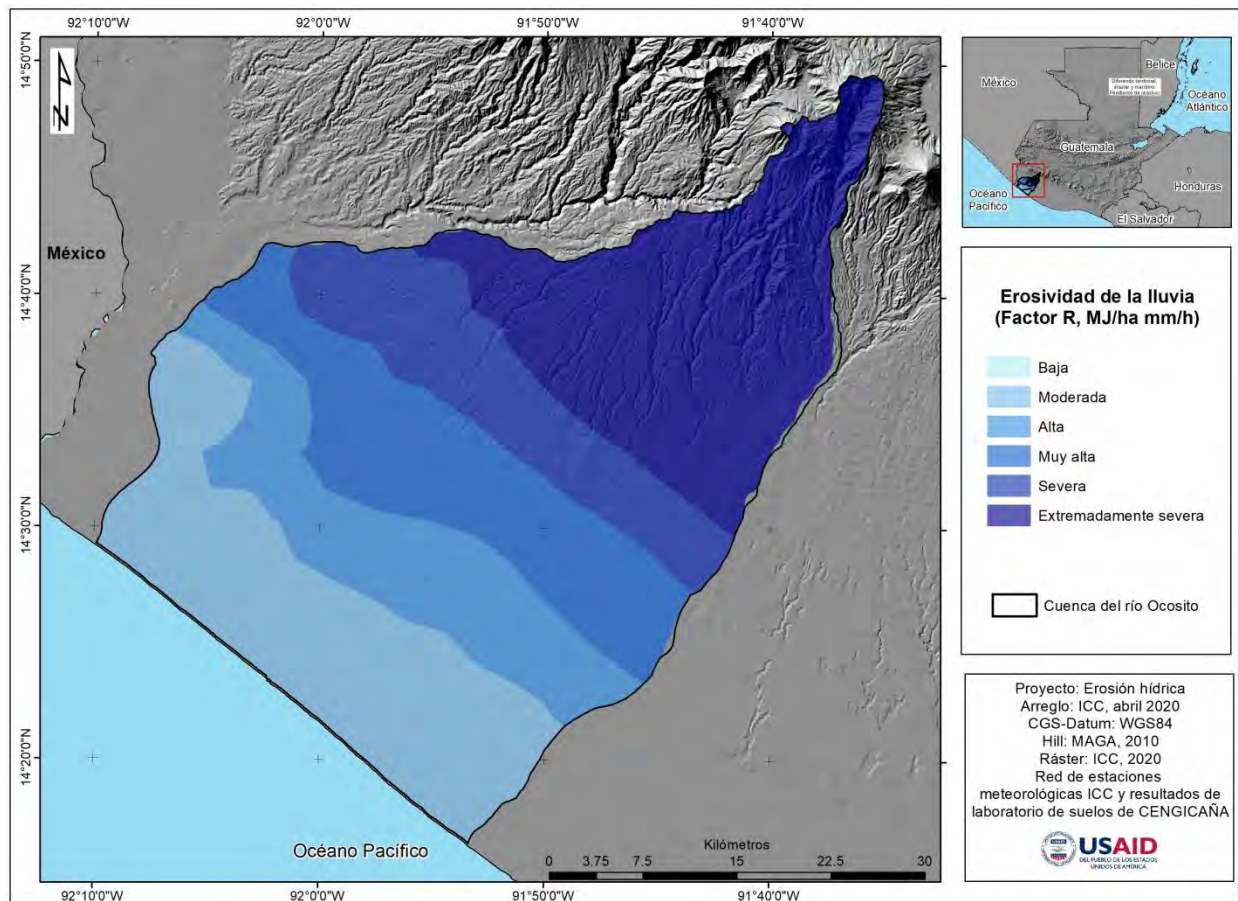


Figura 4: Distribución espacial de las lluvias de acuerdo con su agresividad sobre el suelo (factor R de la USLE)

Cabe resaltar que la ecuación USLE al ser una multiplicación de los factores R, K, LS y CP, los valores que toman dicho factores contribuyen directamente proporcional al resultado final de la erosión hídrica, es decir, a medida que los valores de cada factor aumentan, la erosión hídrica también aumenta.

Para el factor K, erodabilidad del suelo, se tienen valores que van de 0.06 a mayores que 0.082 (valores muy cercanos a cero, figura 5), esto indica que las condiciones edafológicas permiten una buena permeabilidad del agua de lluvia en suelo en gran parte de la cuenca, así como una buena resistencia a los procesos de erosión.

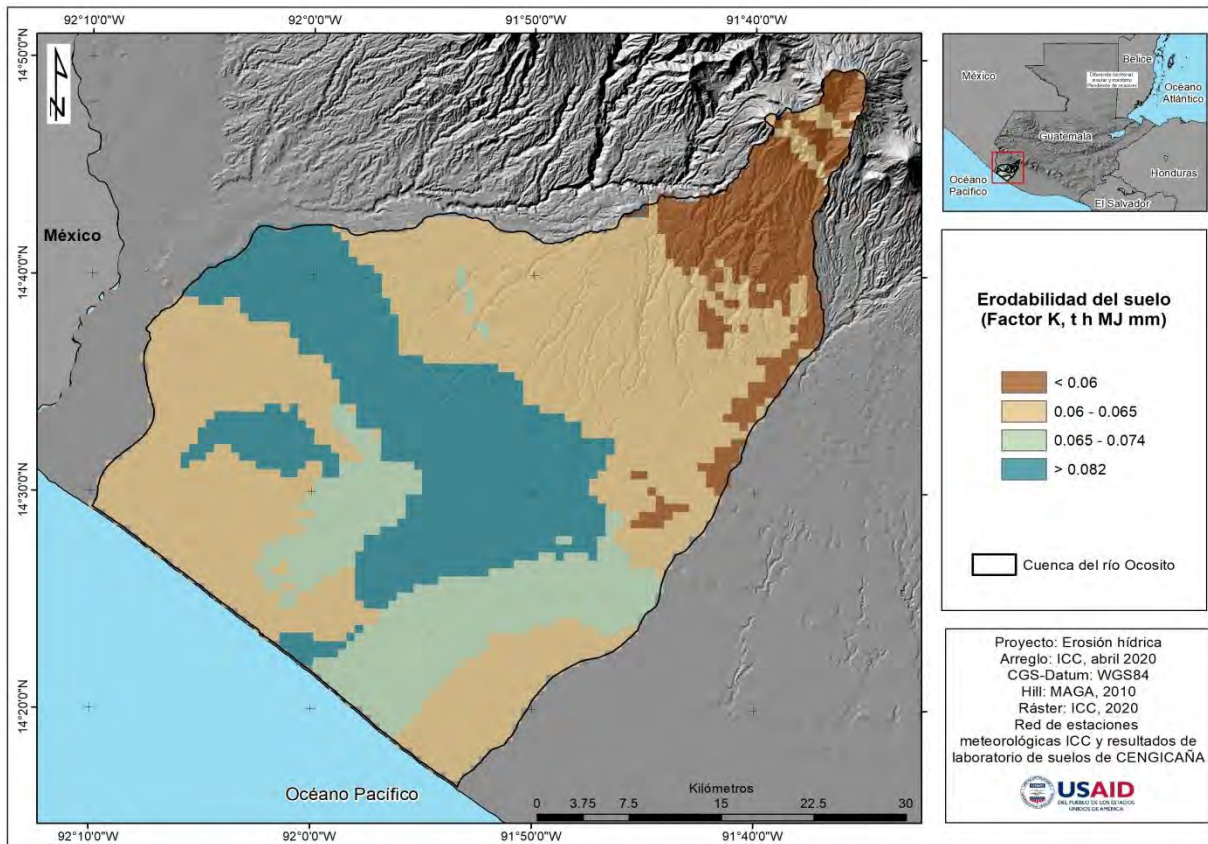


Figura 5: Erodabilidad del suelo en la cuenca del río Ocosito (factor K de la USLE)

Mientras que para el factor topográfico (longitud, l , e inclinación, s , de la pendiente) los valores predominantes son menores que 5 (Figura 6) debido a que la cuenca presenta pendientes del tipo ondulado ($< 16\%$) representando 52 mil ha (82% del área total de la cuenca), nuevamente, este valor que toma el factor topográfico en la cuenca (predominante, < 5), indica que la erosión hídrica total puede multiplicarse 5 veces si no existirá cobertura vegetal alguna y tampoco existirán prácticas de conservación de suelos, correspondiendo a la agresividad total de las lluvias directamente al suelo. Además la erosión estaría aumentando en la parte alta de la cuenca donde el factor topográfico tiene valores hasta de 50, esto debido a que las pendientes son clasificadas como fuertes ($> 25\%$) representando 29,216 ha (15% del área total de la cuenca).

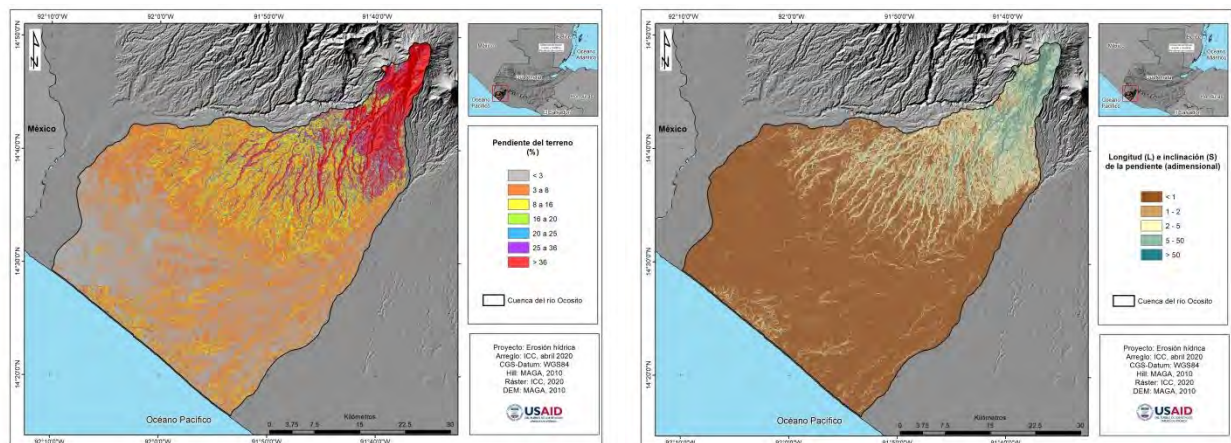


Figura 6: Topografía de la cuenca: Porcentaje de pendientes y factor topográfico (longitud e inclinación de la pendiente) en la cuenca del río Ocosito (factor LS de la USLE).

4.2 EROSIÓN HÍDRICA, ESCENARIO ACTUAL

En el primer escenario de erosión hídrica actual se trabajó con la capa de uso de la tierra 2012 (GIMBOT, 2012). Esta capa fue actualizada con información de bosques del año 2016 (GIMBOT, 2019). Se analizaron 182,794 hectáreas de las 192,898 ha de la cuenca del río Ocosito, debido a que se excluyeron 7,668 ha que corresponden a zonas urbanas y cuerpos de agua, usos de la tierra que no presentan erosión de suelos porque los suelos están cubiertos la mayor parte del tiempo, ya sea por obra gris como carreteras, casas, edificios, etc. (zonas urbanas) y agua (cuerpos de agua), también dentro del análisis se excluyen 2,437 ha, principalmente en la periferia de la cuenca, debido a la resolución de las capas raster (15 por 15 metros cada pixel) y los procesos desarrollados.

Para este primer escenario contabilizaron 100,169 ha (55%) con cobertura agrícola, 33,600 ha (18%) de cobertura arbórea y 49,025 ha (27%) con cobertura de otros usos (figura 7). En este escenario los cultivos de agrícolas predominantes son: caña de azúcar en la parte oriente y media-baja de la cuenca, agricultura anual al occidente y parte media y café en la parte alta de cuenca. En el escenario actual el potencial de erosión hídrica en la cuenca es 33.12 millones de toneladas al año, con una tasa promedio de 181.16 toneladas de suelo erosionado por hectárea al año (t/ha/a). Además, se observa en la figura 8 que los niveles de erosión fuerte y muy fuerte se ubican desde la parte media hacia la parte alta de la cuenca, abarcando el 46% del área total de la cuenca. Los niveles de erosión moderada a ligera o nula se concentran en la parte baja y parte media de la cuenca, representando el 54% del área de la cuenca.

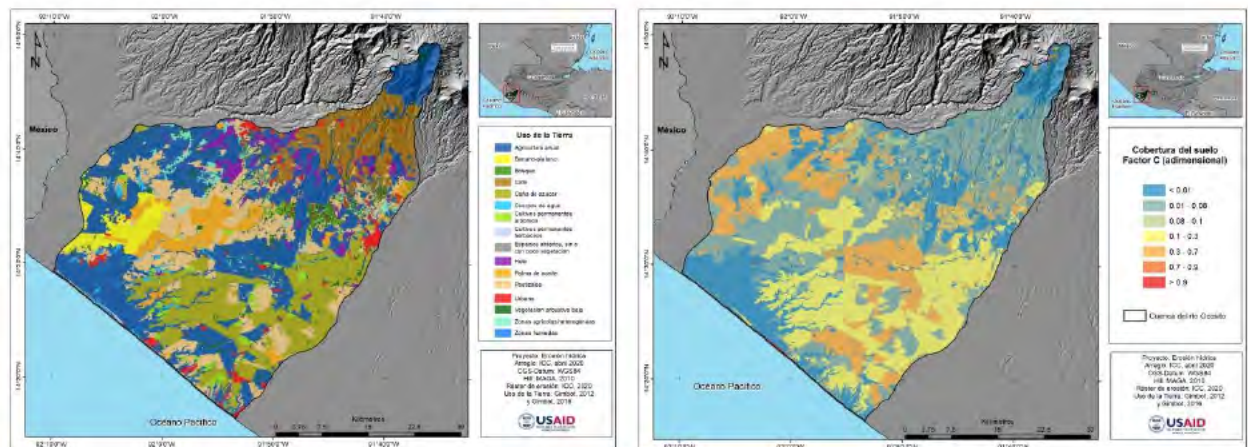


Figura 7: Usos de la tierra y valores de factor C en la cuenca del río Ocosito, escenario actual

En el escenario actual, las coberturas del suelo que estarían produciendo la mayor cantidad de sedimentos por erosión hídrica al año son: la vegetación arbustiva baja -guamil-matorral- (8.2 millones de toneladas), café (7 millones de toneladas) y agricultura anual (6.7 millones de toneladas). Sin embargo, las tasas anuales de erosión indican que los suelos bajo cobertura de vegetación arbustiva baja, zonas agrícolas heterogéneas, café, espacios abiertos, hule y agricultura anual, superan las 200 t/ha/a, mostrando una mayor velocidad de degradación de los suelos por el proceso de erosión hídrica.

Santos V., A. A. (2010) indica que en el municipio de Colomba Costa Cuca (cuenca del río Ocosito), Quetzaltenango, la erosión hídrica en cultivo de café podría alcanzar las 30 t/ha/a, en pendientes de 31 a 40%. Mientras que ICC, 2017, demostró que cultivo de maíz; en San José Calderas (cuencas Achiguate), Chimaltenango, puede alcanzar una erosión anual de 322 t/ha/a en pendientes del 55%.

En la figura 8, se observa delimitada la cuenca del río Ocosito y al centro de esta se observa una de sus subcuencas, con el mismo nombre, la cual abarca 85,504 ha (46% del área total de la cuenca del río

Ocosito). La subcuenca del río Ocosito tiene el potencial de producir 71% de la erosión hídrica actual de la cuenca (23 millones de toneladas al año).

Los usos de la tierra con mayor potencial de producir sedimentos en la subcuenca son: la vegetación arbustiva baja (4,611 ha, 0.01% del área de la subcuenca), zonas agrícolas heterogéneas (1,165 ha, 1.36% del área de la subcuenca), espacios abiertos o con poca vegetación (68 ha, 0.08% del área de la subcuenca), agricultura anual (5,516 ha, 6% del área de la subcuenca) y café (17,012 ha, 20% del área de la subcuenca). Estos usos de la tierra superan las 400 t/ha/a de sedimentos y estarían produciendo 17.4 millones de toneladas de suelos erosionado al año (76% de la erosión de la subcuenca).

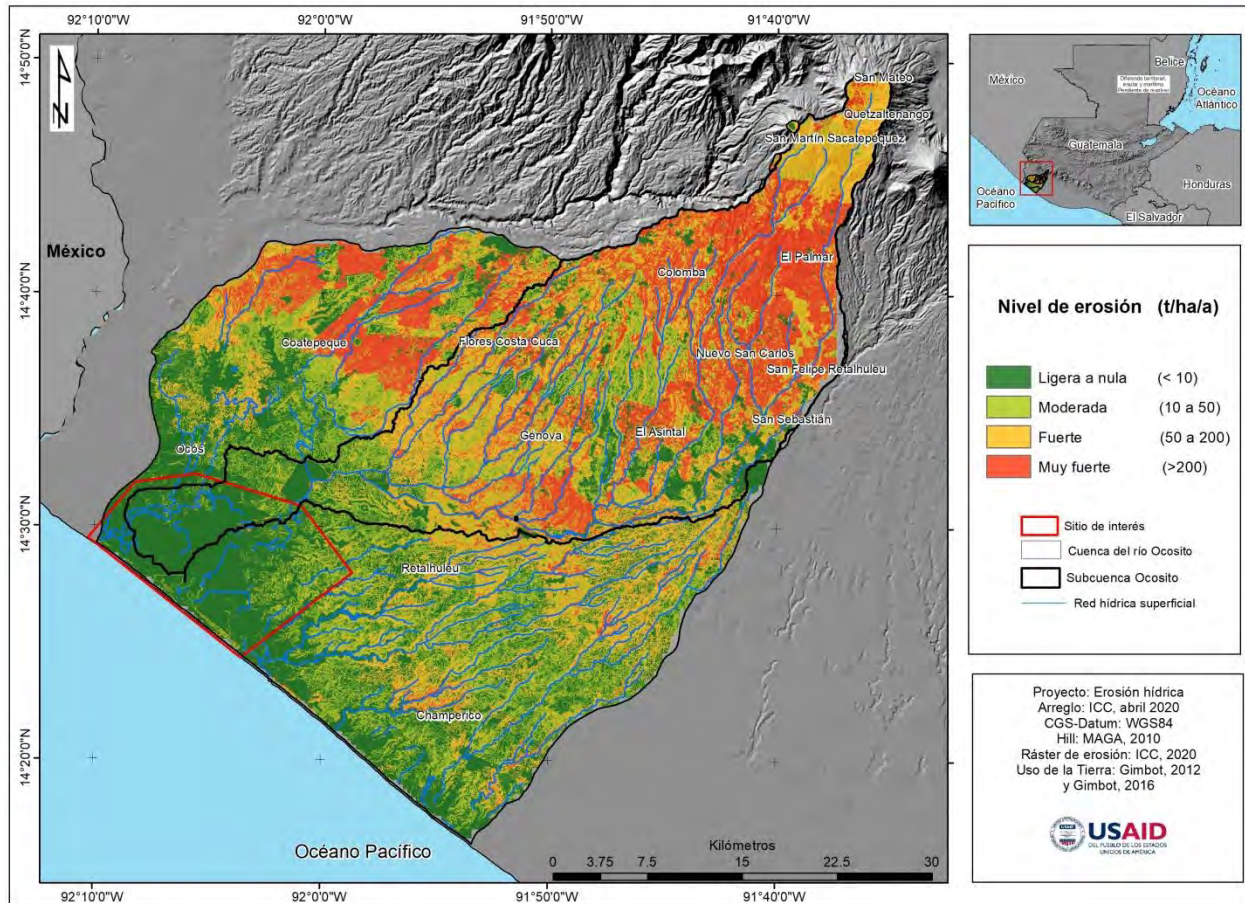


Figura 8: Erosión hídrica en la cuenca del río Ocosito, escenario actual

4.3 EROSIÓN HÍDRICA, ESCENARIO PESIMISTA

El segundo escenario de erosión hídrica evaluado, el Pesimista, se trabajó con la capa de uso de la tierra 2012 (GIMBOT, 2012). Esta capa modificada con información de bosques del año 2016 (GIMBOT, 2019), sustituyendo toda el área de bosque y zonas húmedas por agricultura anual, simulando un escenario pesimista en donde todo el bosque se tala para convertirlo en áreas de producción de agricultura anual. Por las mismas razones descritas en el primer escenario, Actual, el análisis abarcó 182,794 ha.

Para este escenario se contó con 139 mil hectáreas (76%) del área bajo cobertura agrícola y 43.4 mil hectáreas (24%) de cobertura de otros usos (figura 9). En este escenario los cultivos de agrícolas predominantes son: agricultura anual distribuida en toda la cuenca, pastizales al centro de la cuenca y café en la parte alta. Bajo el escenario pesimista la cuenca tiene un potencial de erosión hídrica de 96.33

millones de toneladas al año, con una tasa promedio de 527 toneladas de suelo erosionado por hectárea al año (t/ha/a). Además, se observa en la figura 10 que las áreas con niveles de erosión muy fuerte se concentran en la parte alta y media de la cuenca, mientras que las áreas con niveles de erosión fuerte se ubican desde la parte baja a la parte media, abarcando 58% del área total de la cuenca. Los niveles de erosión moderada a ligera o nula se concentran en la parte baja y media de la cuenca, representando el 52% del área de la cuenca.

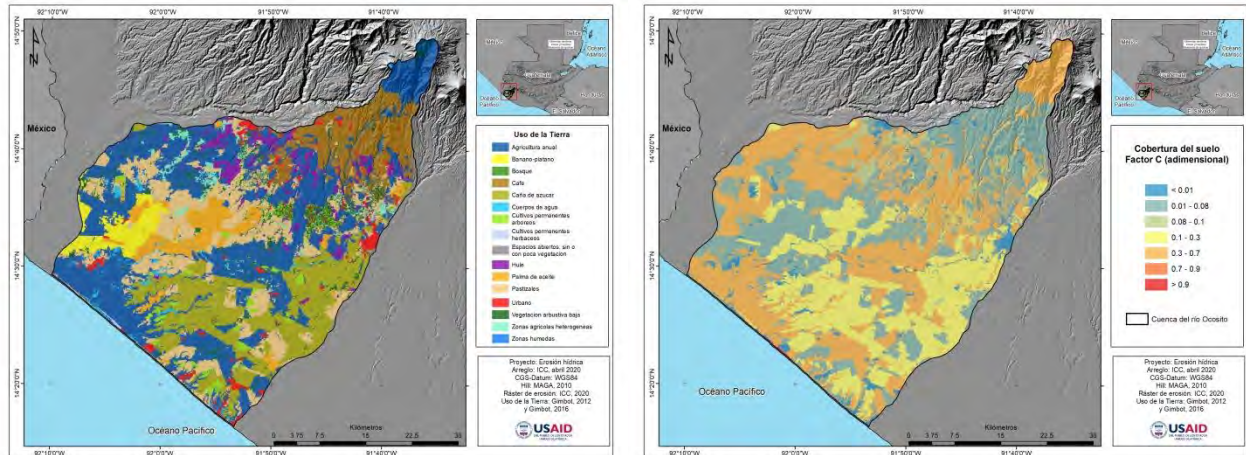
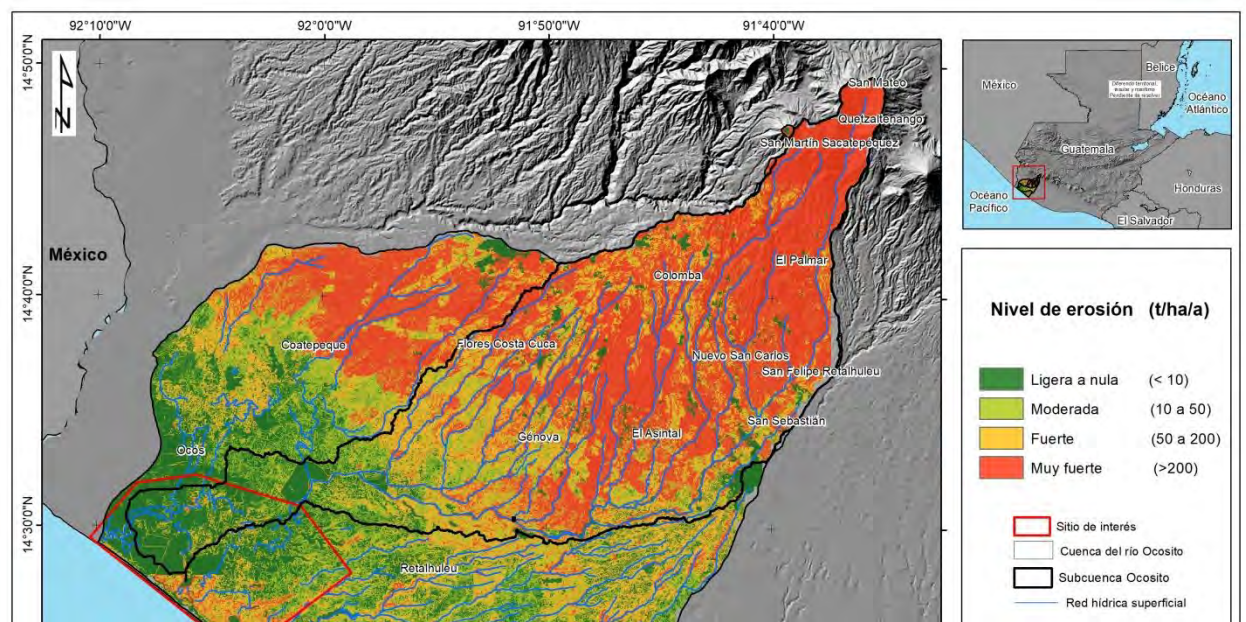


Figura 9: Usos de la tierra y valores de factor C en la cuenca del río Ocosito, escenario pesimista

En el escenario pesimista los tipos de cobertura del suelo que estarían produciendo la mayor cantidad de sedimentos al año por erosión hídrica son: la agricultura anual (70.3 millones de toneladas), vegetación arbustiva baja (8.4 millones de toneladas) y café (7.5 millones de toneladas). En el escenario pesimista las tasas anuales de erosión nos indican que los suelos bajo cobertura de vegetación arbustiva baja, zonas agrícolas heterogéneas, café, espacios abiertos, hule y agricultura anual, superan las 200 t/ha/a mostrando una mayor velocidad de degradación de los suelos por el proceso de erosión hídrica.

En este escenario la subcuenca Ocosito tiene el potencial de producir el 83% de la erosión hídrica de la cuenca (79.6 millones de toneladas al año).

Los usos de la tierra con mayor potencial de producir sedimentos en la subcuenca son: vegetación arbustiva baja (4.611 ha), zonas agrícolas heterogéneas (1,165 ha), espacios abiertos o con poca vegetación (68 ha), agricultura anual (27,341 ha) y café (17,012 ha), las cuales superan las 400 t/ha/a y estarían produciendo 74.7 millones de toneladas de suelos erosionado al año.



4.4 EROSIÓN HÍDRICA, ESCENARIO OPTIMISTA

El tercer escenario de erosión hídrica evaluado fue el Optimista. Este escenario, se trabajó en base a la capa de uso de la tierra resultante de la interacción de los resultados de erosión hídrica actual, el porcentaje de pendientes y el uso actual (capa actualizada del escenario Actual), donde se sustituyeron 9,453 ha de café, 1,470 ha de hule, 1,079 ha de hule, 1,190 ha de vegetación arbustiva baja (guamilmatorral), 406 ha de agricultura anual y 880 ha de otros usos, con bosque, principalmente donde existen pendientes superiores al 25%, niveles de erosión fuertes a muy fuertes y terrenos con vocación forestal, sumando un total de 14,072 ha. Además se propuso la implementación de prácticas de conservación de suelos en 83,000 hectáreas, enfocadas a reducir la erosión de los suelos.

Para el escenario optimista se cuantificó 88,416 hectáreas (48%) bajo cobertura agrícola, 47,672 hectáreas (26%) de cobertura forestal y 46,705 hectáreas (26%) de cobertura de otros usos (figura 11). En este escenario los cultivos de agrícolas predominantes son: caña de azúcar, agricultura anual y palma de aceite (figura 11).

Bajo el escenario optimista el potencial de erosión hídrica en la cuenca es de 5.3 millones de toneladas al año, con una tasa promedio de 29 toneladas de suelo erosionado por hectárea al año (t/ha/a). Además, se observa en la figura 13 que el nivel de erosión fuerte se concentra en la parte alta y media de la cuenca, extendiéndose en el 15% del área total de la cuenca, mientras que los niveles de erosión moderada a ligera o nula se concentran en la parte baja y parte media de la cuenca, representando el 85% del área de la

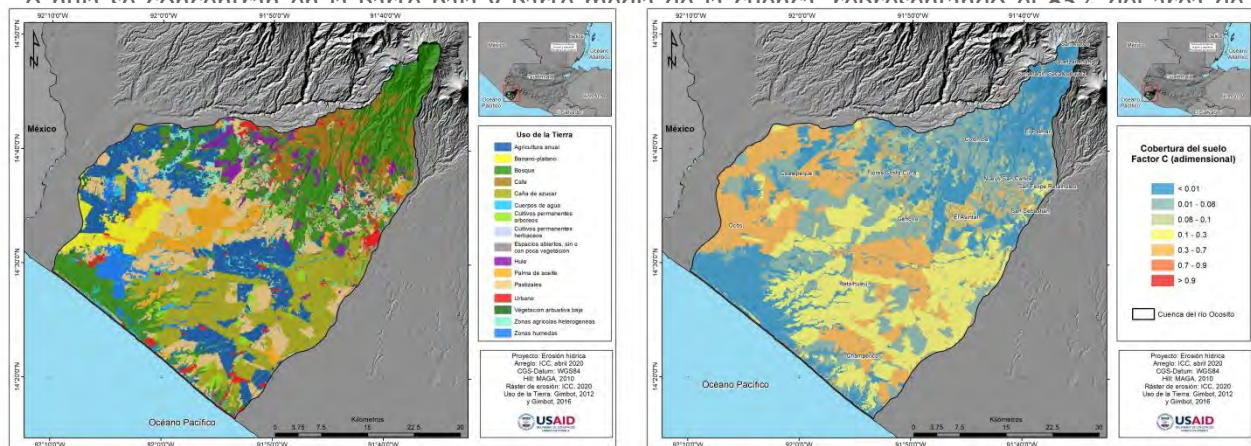


Figura 11: Usos de la tierra y valores de factor C en la cuenca del río Ocosito, escenario optimista

En el escenario optimista las coberturas que producen la mayor cantidad de sedimentos al año por erosión hídrica son: bosque (1.8 millones de toneladas), pastizales (0.7 millones de toneladas) y agricultura anual (0.68 millones de toneladas). Sin embargo, las tasas anuales de erosión indican que los suelos bajo cobertura de: vegetación arbustiva baja, zonas agrícolas heterogéneas y espacios abiertos superan las 50 t/ha/a, mostrando una mayor velocidad de degradación de los suelos por el proceso de erosión hídrica.

Las prácticas de conservación de suelos propuestas para reducir la erosión hídrica en la cuenca son cultivos a nivel (29 mil hectáreas), recomendadas principalmente para caña de azúcar y palma de aceite ubicadas en la parte baja de la cuenca; terrazas o acequias de infiltración (22 mil hectáreas) recomendadas para cultivo de café, principalmente en la parte media y alta de la cuenca; terrazas o acequias de desagüe (21 mil hectáreas) para caña de azúcar y agricultura anual en la parte baja de la cuenca y suelos pesados o arcillosos, cultivos en fajas (11 mil hectáreas) principalmente para agricultura anual y restauración forestal (14 mil hectáreas), cuadro 7 y figura 12.

Cuadro 7: propuesta de prácticas de conservación de suelos por uso de la tierra (hectáreas)

Uso de la tierra	Restauración forestal	Acequias de infiltración	Acequias de desagüe	Cultivos en fajas	Cultivos a nivel
Agricultura anual	406.13	2,795.53	9,760.46	6,309.40	3,228.21
Banano-plátano	6.21	26.38	9.83	0.15	1,910.52
Café	9,453.37	5,517.70	2.15	8.38	1,850.34
Caña de azúcar	105.89	1,671.17	10,265.47	213.22	9,137.11
Cultivos permanentes arbóreos	9.41	658.46	9.46	11.19	605.51
Cultivos permanentes herbáceos	4.90	8.28	---	---	66.77
Espacios abiertos	36.06	24.24	34.41	24.42	4.34
Hule	1,470.48	2,700.67	5.17	9.97	2,234.38
Palma de aceite	114.41	1,338.85	4.22	2.42	5,507.14
Pastizales	1,079.22	3,697.42	37.13	1,132.01	3,351.97
Vegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	1,190.44	2,192.29	955.76	1,360.46	943.91
Zonas agrícolas heterogéneas	195.39	974.33	252.18	1,641.87	224.46
Total	14,071.90	21,605.32	21,336.26	10,713.48	29,064.63

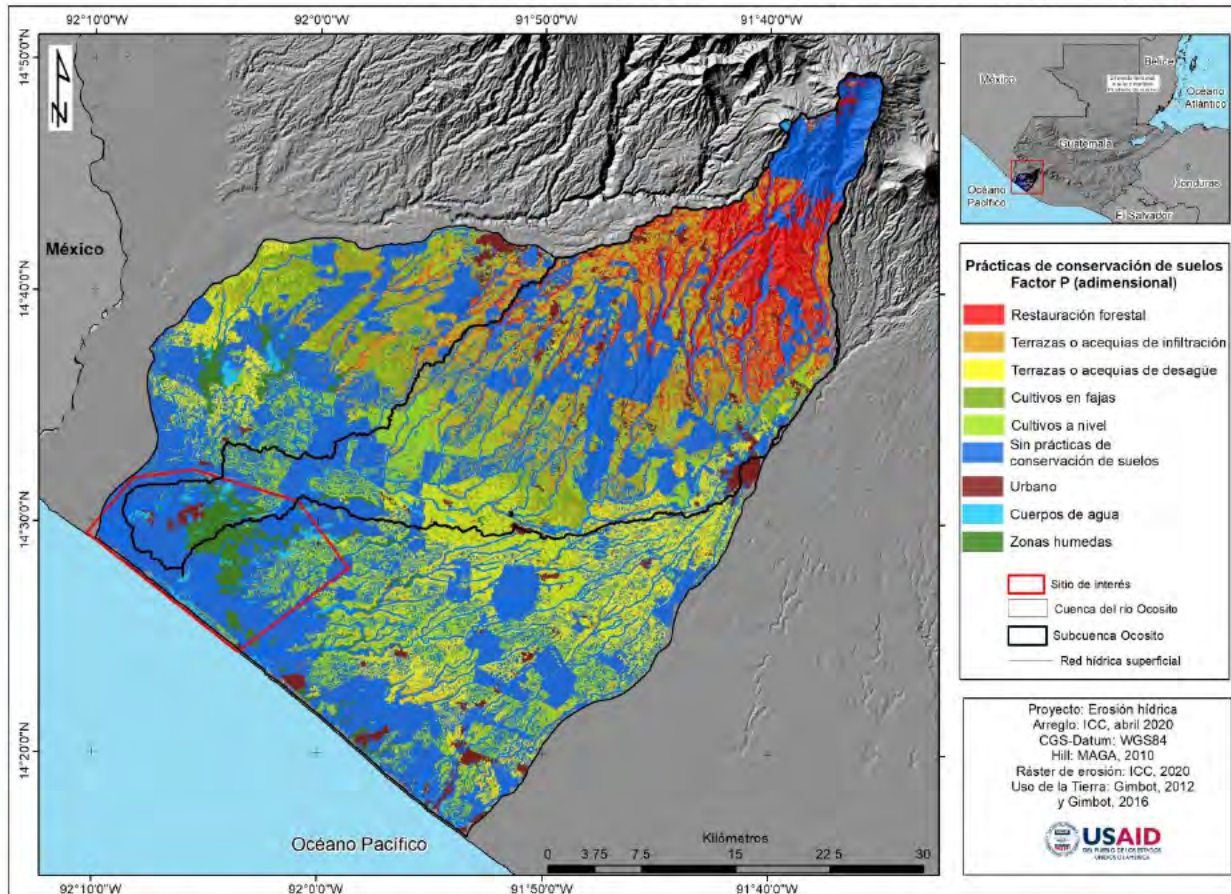


Figura 12: Propuesta de prácticas de conservación de suelos en la cuenca, escenario optimista

La restauración forestal es la estrategia que aporta mayor beneficio en la conservación de los suelos, reduciendo la erosión en 38%. Por otro lado, las terrazas o acequias de infiltración estarían reduciendo la erosión actual en 26%, mientras que el cultivo en fajas reduciría la erosión hídrica en un 9%. Además, las terrazas o acequias de desagüe reducirían en 6% de la erosión actual y finalmente los cultivos en contorno estarían reduciendo la erosión hídrica en un 3%.

Por otro lado, bajo el escenario optimista la subcuenca Ocosito tiene el potencial de producir el 69% de la erosión hídrica de la cuenca Ocosito (3.6 millones de toneladas al año). Los usos de la tierra con mayor potencial de producir sedimentos en la subcuenca son: vegetación arbustiva baja (2,620 ha), zonas agrícolas heterogéneas (2,720 ha) y bosque (27,330 ha). Estos usos de la tierra superan las 50 t/ha/a. En la subcuenca del río Ocosito las terrazas o acequias de infiltración son las predominantes en cuanto al área propuesta para su implementación (48,830 ha), seguida de la restauración forestal (13,000 ha) y los cultivos a nivel (12,757 ha) y finalmente cultivos en fajas (4,300 ha) y terrazas o acequias de desagüe (3,561 ha).

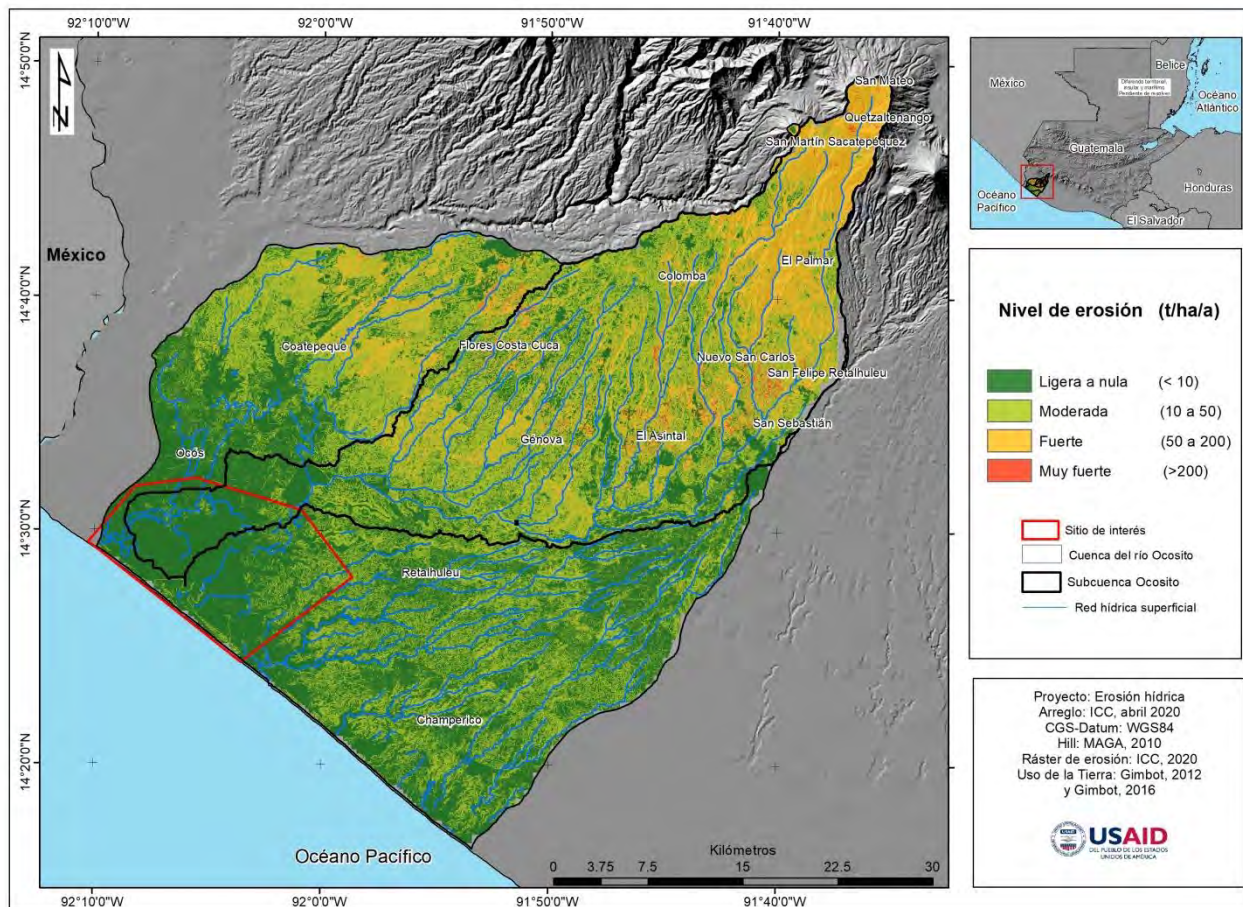


Figura 13: Erosión hídrica en la cuenca del río Ocosito. escenario actual

4.4 COMPARATIVA DE ESCENARIOS SOBRE EROSIÓN HÍDRICA

Los resultados indican que si la cuenca no contara con cobertura forestal, como es el caso bajo el escenario pesimista, los niveles de erosión fuerte a muy fuerte (> 50 t/ha/a) se presentarían en 111,000 hectáreas (1.3 veces más que en el escenario actual). Además la erosión pasaría de 33.2 millones de toneladas en el escenario actual a 96.4 millones de toneladas de suelo erosionado al año en el escenario pesimista, con

un aumento de la erosión del 90%. Este aumento de erosión hídrica en el escenario pesimista se debe a la sustitución del área boscosa y zonas húmedas de la cuenca por agricultura anual (39 mil hectáreas).

Bajo el escenario optimista, al aumentar el área forestal en 14,000 hectáreas respecto al escenario actual e implementar prácticas de conservación de suelos en 83,000 hectáreas, la erosión hídrica en la cuenca se reduce a 5.3 millones de toneladas al año (84% menos del escenario actual). El sector cafetalero sería el que tendría mayores cambios en este escenario (Cuadro 8)

Cuadro 8: Área afectada y sedimentos producidos por uso de la tierra en la cuenca del río Ocosito

Uso de la tierra	Escenario actual		Escenario pesimista		Escenario optimista	
	Área (ha)	Sedimentos (t)	Área (ha)	Sedimentos (t)	Área (ha)	Sedimentos (t)
Agricultura anual	26,131	6,784,496	65,368	70,389,256	25,725	688,065
Banano-plátano	6,549	45,410	6,549	45,727	6,543	29,100
Bosque	33,600	1,607,080	0	0	47,672	1,829,176
Café	17,074	6,986,424	17,074	7,551,170	7,621	260,252
Caña de azúcar	30,739	1,768,008	30,739	1,784,748	30,633	364,594
Cultivos permanentes arbóreos	4,029	356,394	4,029	374,010	4,020	98,843
Cultivos permanentes herbáceos	120	6,885	120	9,004	115	2,058
Espacios abiertos, sin o con poca vegetación	185	66,343	185	67,839	149	2,464
Hule	6,697	1,838,735	6,697	2,083,578	5,226	189,108
Palma de aceite	9,636	979,177	9,636	984,132	9,521	284,340
Pastizales	31,464	2,078,838	31,464	2,152,590	30,385	706,665
Vegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	7,590	8,196,967	7,590	8,469,191	6,399	466,010
Zonas agrícolas heterogéneas	3,343	2,395,583	3,343	2,415,120	3,148	362,060
Zonas húmedas	5,637	5,420	0	0	5,638	2,869
Total	182,794	33,115,759	182,794	96,326,365	182,794	5,285,602

5. PLAN DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO OCOSITO

La actividad humana en el territorio será determinante, ya sea para mejorar las condiciones de conservación de suelos (y poder lograr llegar al escenario optimista) o para empeorar la situación (incluso llegar al escenario pesimista). Por ello, las estrategias de conservación de suelos que se plantean a continuación deberían ser presentadas a diferentes niveles en la cuenca, en cuyo diálogo deberán incluirse a la diversidad de actores que en la actualidad llevan a cabo sus actividades productivas en el territorio.

Este mapeo de actores deberá realizarse incluyendo a autoridades locales a diferentes niveles (por ejemplo: departamentales, municipales y a nivel de COCODES); así como entidades públicas de apoyo técnico a los productores locales (tales como el MAGA, INAB, CONAP entre otros). Como complemento a los esfuerzos Gubernamentales, se deberán incluir a las organizaciones no gubernamentales y de cooperación externa que trabajen en el área, especialmente las que trabajen en la asistencia técnica a los sistemas productivos de la región. Deberá considerarse también la participación del sector privado a nivel de los diferentes tipos de cultivos o actividades productivas en el área.

Puede planificarse la conformación de mesas técnicas de trabajo, las que pueden conformarse según el tipo de sistema productivo e incluir en esas mesas a la diversidad de actores que en la actualidad son parte de ello, sin excluir al sector gobierno, productores y entidades de apoyo técnico. El propósito de estas mesas será lograr la implementación voluntaria de las prácticas de conservación del suelo, buscando mejorar los ingresos de los productores y a la vez propiciando la sostenibilidad de los sistemas productivos del lugar.

Ya habiendo considerado los actores que en el territorio planificarán y desarrollarán los esfuerzos por mejorar la gestión del suelo, se describen a continuación las prácticas y medidas para manejar y conservar los suelos en la cuenca del río Ocosito.

5.1 CULTIVOS A NIVEL Y CULTIVOS EN FAJAS

Se llama curva de nivel o en contorno a una línea trazada en el terreno, que une puntos de igual altura sobre el nivel del mar. La técnica de cultivos en curvas de nivel, por lo tanto, es aquella en la cual las operaciones de labranza y siembra se realizan siguiendo esa línea (UNLP, 2018). La función de la siembra en curvas a nivel es cortar la pendiente de forma que cada surco o cada planta representan un obstáculo al avance del agua, aumentando la retención o infiltración del agua de lluvia.

Los resultados muestran que el cultivo de caña de azúcar puede implementar su siembra en curvas a nivel en 9 mil hectáreas, principalmente en los municipios de Retalhuleu y Champerico; Palma de aceite podría implementar la siembra en curvas a nivel, esto en 5.5 mil hectáreas, principalmente en los municipios de Coatepeque, Génova y Retalhuleu y agricultura anual podría extender esta práctica de conservación de suelos en 3 mil hectáreas, principalmente en los municipios de Retalhuleu y Coatepeque, cuadro 9.

Cuadro 9: Área (ha) potencial principal a ser intervenida con cultivos a nivel como prácticas de conservación de suelos y agua.

Municipio	Agricultura anual	Banano-plátano	Café	Caña de azúcar	Hule	Palma de aceite
Champerico	297.92	---	---	3,647.74	---	363.42
Coatepeque	638.39	793.15	38.53	5.45	788.52	2,055.88

Colomba	0.21	---	649.95	---	109.74	---
El Asintal	3.13	0.46	197.33	32.81	470.12	152.91
El Palmar	0.44	---	132.46	---	15.80	3.49
Flores Costa Cuca	1.79	---	160.33	0.07	228.62	57.74
Génova	446.46	---	295.04	1.11	316.41	1,582.47
Nuevo San Carlos	2.59	---	266.68	0.08	132.44	---
Ocós	239.33	238.65	---	---	---	0.11
Retalhuleu	1,592.90	878.25	1.62	5,437.00	141.06	1,165.37
San Felipe Retalhuleu	3.81	---	90.18	5.47	22.76	125.73
San Martín	0.83	---	11.55	---	---	---
Sacatepéquez	0.38	---	6.68	7.39	8.89	0.02
Total	3,228.21	1,910.52	1,850.34	9,137.11	2,234.38	5,507.14

La siembra de cultivos a nivel se propone implementar, distribuida prácticamente en toda la cuenca del río Ocosito, figura 14, esto por la complejidad del relieve de la cuenca, la interacción de los niveles de la erosión hídrica moderada (escenario actual) y las pendientes (< 8%) muestran la implementación de esta práctica en 29 mil hectáreas.

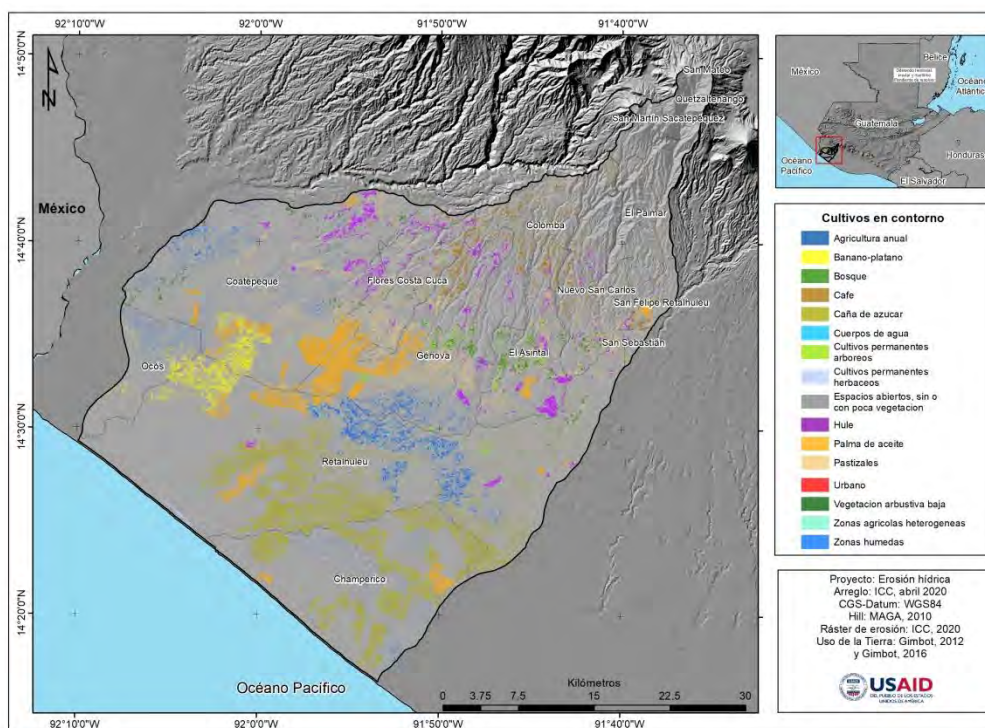


Figura 14: Propuesta de cultivos en contorno como prácticas de conservación de suelo y agua en usos de la tierra de la cuenca del río Ocosito

Por otro lado el cultivo en fajas consiste en la siembra en fajas de cultivos anuales, de distinto porte y ciclo de crecimiento, en lo que constituye una forma de cultivos intercalados en fajas (UNLP, 2018). Por su parte IICA (1988), indica que la siembra intercalada de maíz junto a especies de leguminosas como: Terciopelo (*Mucuna*), Canavalia, Caballero, Caupí, Frijol Mungo, Guandul, Ayote, Pipián y otras, contribuyen al control de las malezas, protegen el suelo y aportan nitrógeno al cultivo siguiente.

Para la cuenca del río Ocosito se propone la implementación del cultivo en fajas en 10,713 hectáreas, principalmente en el cultivo de agricultura anual ubicada en los municipios de Coatepeque, Génova y Retalhuleu, así como 1,600 hectáreas en zonas agrícolas heterogéneas.

Cuadro 10: Área (ha) potencial principal a ser intervenida con cultivos en fajas como prácticas de conservación de suelos y agua.

Municipio	Agricultura anual	Pastizales	Vegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	Zonas agrícolas heterogéneas
Champerico	42.58	38.35	13.84	
Coatepeque	3,928.86	204.20	301.51	1,073.82
Colomba	2.14	29.86	7.51	2.75
El Asintal	64.29	123.04	272.50	99.35
El Palmar	1.43	33.71	0.82	
Flores Costa Cuca	19.32	240.82	96.32	93.06
Génova	1,450.94	231.00	382.85	64.20
Nuevo San Carlos	40.78	195.83	63.24	75.86
Ocós	8.35		0.33	
Quetzaltenango	0.03		0.03	
Retalhuleu	690.35	32.49	220.16	115.45
San Felipe Retalhuleu	54.48	1.99		13.67
San Martín			1.34	
Sacatepéquez	2.74			
San Sebastián	3.10	0.71		103.72
Total	6,309.40	1,132.01	1,360.46	1,641.87

La propuesta de esta práctica en la cuenca del río Ocosito se centra en la parte media de dicha cuenca, principalmente en la zona agrícola, figura 15.

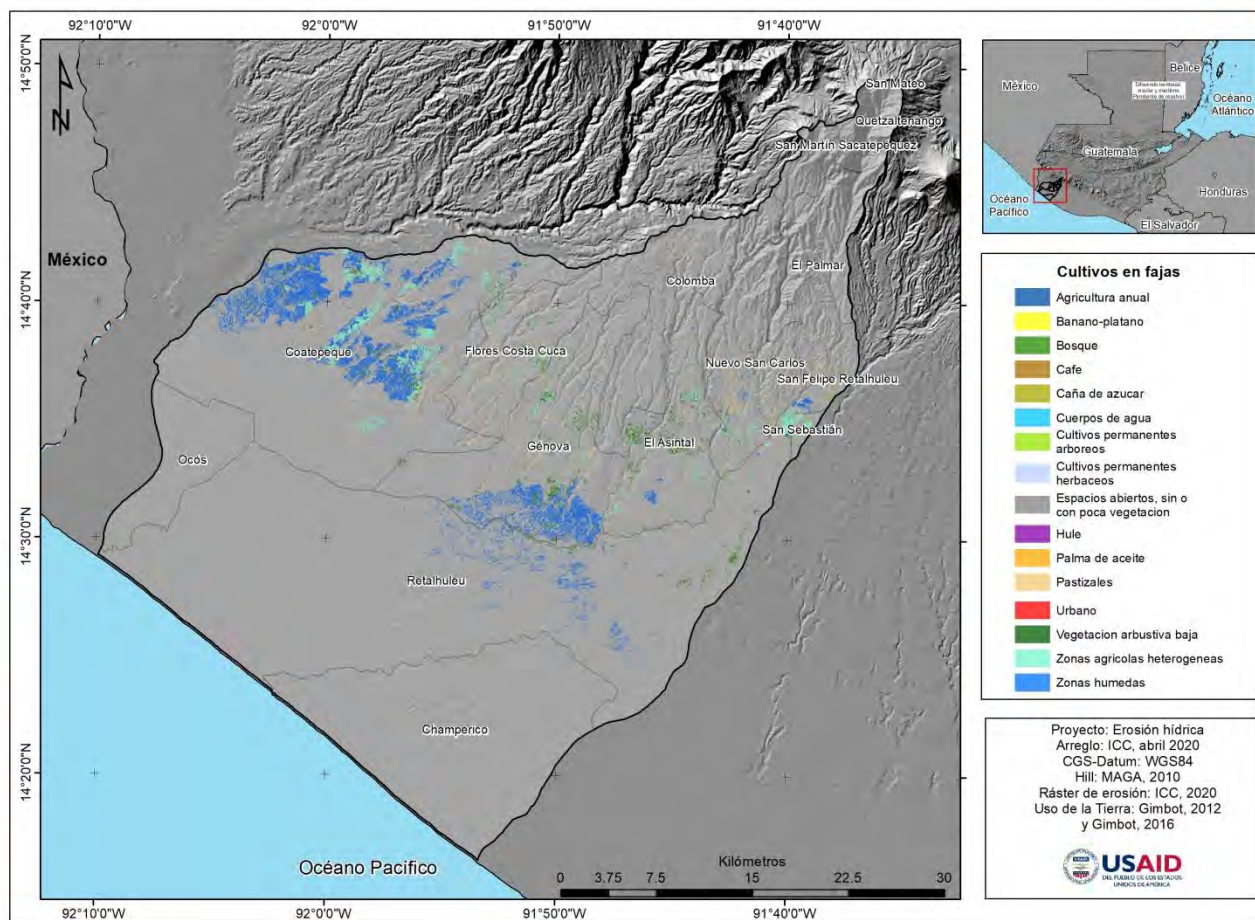


Figura 15: Propuesta de cultivos en fajas como prácticas de conservación de suelo y agua en usos de la tierra de la cuenca del río Ocosito

5.2 TERRAZAS O ACEQUIAS DE INFILTRACIÓN Y DESAGÜE

Las terrazas o acequias de infiltración son estructuras de conservación de suelo y agua, consisten en canales que se construyen a nivel, en dirección transversal a la pendiente, para retener, conservar y ayudar a infiltrar el agua de lluvia que cae sobre las laderas (IICA, 1999). Se recomienda para zonas con baja precipitación, sin embargo en la costa Sur de Guatemala se ha utilizado principalmente en áreas extremadamente lluviosas, para reducir la velocidad de la escorrentía y contribuir a la infiltración del agua de lluvia (Barneond, C. y Ramírez, A. 2018), teniendo resultados satisfactorios para los productores agrícolas que han implementado estas estructuras, por esta razón se propone la implementación en 21,605 hectáreas dentro de la cuenca del río Ocosito con estas estructuras.

Los resultados muestran que en 5,517 hectáreas de café deben diseñarse terrazas o acequias de infiltración, principalmente en los municipios de Colomba y Nuevo San Carlos, otras 2,795 hectáreas en agricultura anual, principalmente en el municipio de Coatepeque y 1,100 hectáreas en cultivo de caña de azúcar ubicada en el municipio de Retalhuleu, como áreas de mayor extensión a ser intervenidas.

Cuadro II: Área (ha) potencial principal a ser intervenida con terrazas o acequias de infiltración como estructuras de conservación de suelos y agua.

Municipio	Agricultura anual	Café	Caña de azúcar	Hule	Palma de aceite	Pastizales	Vegetación arbustiva baja
Champerico	373.55	---	246.89	---	56.06	35.13	148.46
Coatepeque	1,467.22	32.58	6.60	964.16	500.42	924.25	310.98
Colomba	15.18	2,543.41	---	235.97	---	52.05	36.71
El Asintal	57.18	398.15	206.04	245.67	62.87	387.49	492.58
El Palmar	3.77	706.28	0.04	90.02	2.54	42.92	10.14
Flores Costa Cuca	59.01	224.38	0.29	522.31	48.04	819.76	288.44
Génova	416.57	404.83	24.56	337.07	512.71	902.94	440.83
Nuevo San Carlos	119.28	1,015.75	0.83	275.90	---	379.84	267.00
Ocós	42.27	---	---	---	---	---	5.36
Quetzaltenango	0.12	---	---	---	---	---	0.06
Retalhuleu	191.78	0.41	1,099.49	8.07	65.03	142.01	181.28
San Felipe Retalhuleu	12.68	73.17	83.12	21.50	91.18	7.72	---
San Martín	36.72	116.23	---	---	---	---	10.45
Sacatepéquez	0.20	2.52	3.31	0.02	0.00	3.32	---
San Sebastián	0.20	2.52	3.31	0.02	0.00	3.32	---
Total	2,795.53	5,517.70	1,671.17	2,700.67	1,338.85	3,697.42	2,192.29

La figura 16 muestra que la propuesta de implementar dichas estructuras de conservación de suelo y agua se ubica en la parte alta y media de la cuenca del río Ocosito, principalmente porque en estas áreas los niveles de erosión van de fuerte a muy fuertes (erosión actual) debido principalmente a que en esta zona se tienen las precipitaciones más elevadas así como pendientes pronunciadas (del 8% al 25%).

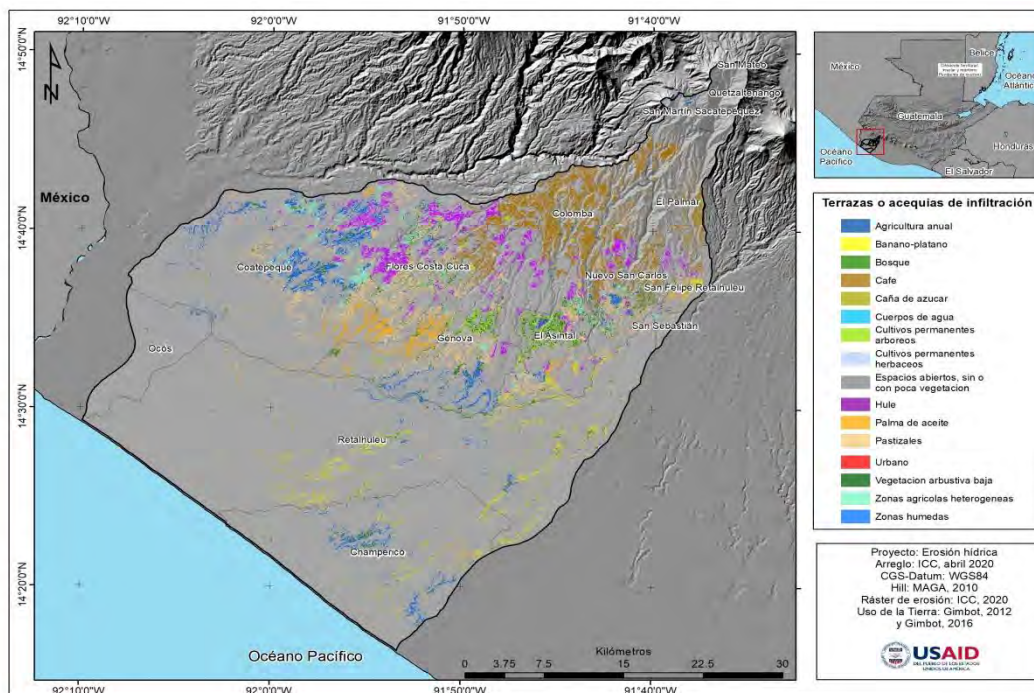


Figura 16: Propuesta de terrazas o acequias de infiltración como estructuras de conservación de suelo y agua en usos de la tierra de la cuenca del río Ocosito

Las terrazas o acequias de desagüe también son zanjas o canales construidos con un desnivel interno de dichos canales, esto contribuye en la recepción de la escorrentía y drenar el exceso fuera del área de cultivo, estas estructuras se recomiendan para zonas con alta precipitación lluviosa y suelos con baja capacidad de infiltración (IICA, 1999).

Los resultados muestran que en 10,265 hectáreas de caña de azúcar deben diseñarse terrazas o acequias de desagüe, principalmente en el municipio de Retalhuleu y otras 9,760 hectáreas en agricultura anual, principalmente en los municipios de Champerico, Retalhuleu y Coatepeque.

Cuadro 12: Área (ha) potencial principal a ser intervenida con terrazas o acequias de desagüe como estructuras de conservación de suelos y agua.

Municipio	Agricultura anual	Caña de azúcar	Hule	Palma de aceite	Pastizales	Zonas agrícolas heterogéneas
Champerico	2,821.68	763.71	---	0.64	7.53	---
Coatepeque	2,214.66	154.67	1.50	1.26	6.64	144.76
El Asintal	7.38	522.34	1.46	0.22	1.29	3.77
Flores Costa Cuca	1.69	---	0.15	---	1.92	5.20
Génova	895.80	23.49	0.57	0.28	4.10	3.06
Nuevo San Carlos	1.07	0.73	0.25	---	0.96	3.32
Ocós	955.95	---	---	---	0.54	0.02
Retalhuleu	2,859.52	8,698.51	1.04	1.59	13.60	85.91
San Felipe Retalhuleu	2.27	49.86	0.08	0.20	0.12	0.75
San Sebastián	0.16	52.15	0.12	0.03	0.39	5.38
Total	9,760.46	10,265.47	5.17	4.22	37.13	252.18

Se observa en la figura 17 la propuesta de implementar dichas estructuras de conservación de suelo y agua, las cuales se ubican en la parte media y baja de la cuenca del río Ocosito, principalmente porque en estas áreas los suelos son pesados en su mayoría y las pendientes suaves < 3%.

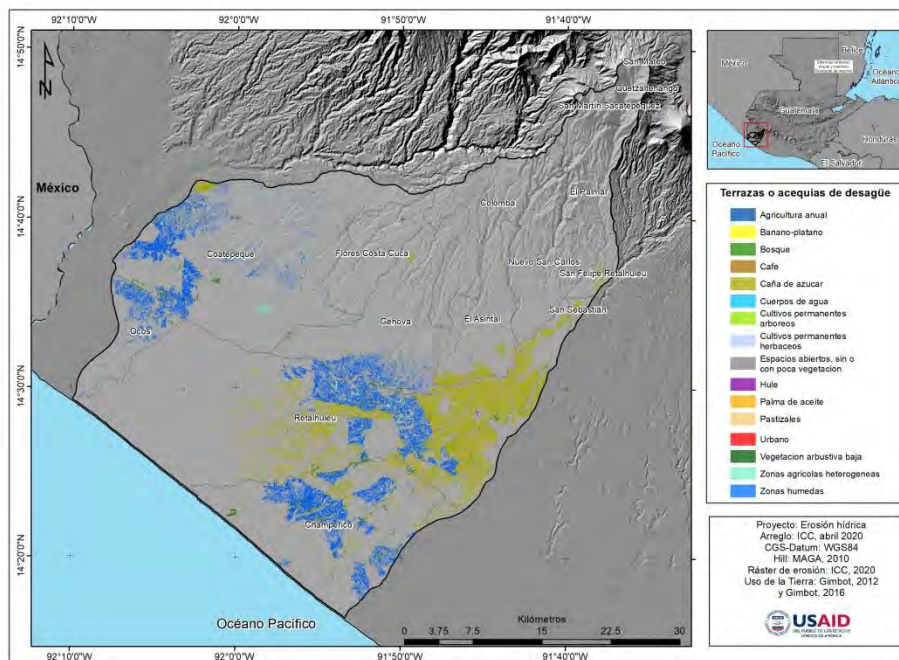


Figura 17: Propuesta de terrazas o acequias de desagüe como estructuras de conservación de suelo y agua en usos de la Tierra de la cuenca del río Ocosito

5.3 ÁREAS DE RESTAURACIÓN FORESTAL

La dinámica forestal indica que de 2010 a 2016 se perdieron 5,293 hectáreas y se ganaron 9,777 hectáreas de bosque en la cuenca del río Ocosito (Figura 18) (GIMBOT, 2016).

Las áreas protegidas que se encuentran dentro de la cuenca, tienen una ganancia de bosque de 1,701 hectáreas y una pérdida de 854 hectáreas (GIMBOT, 2016). Además las áreas protegidas representan el 30% (10,093.73 hectáreas) del bosque de la cuenca (GIMBOT, 2012).

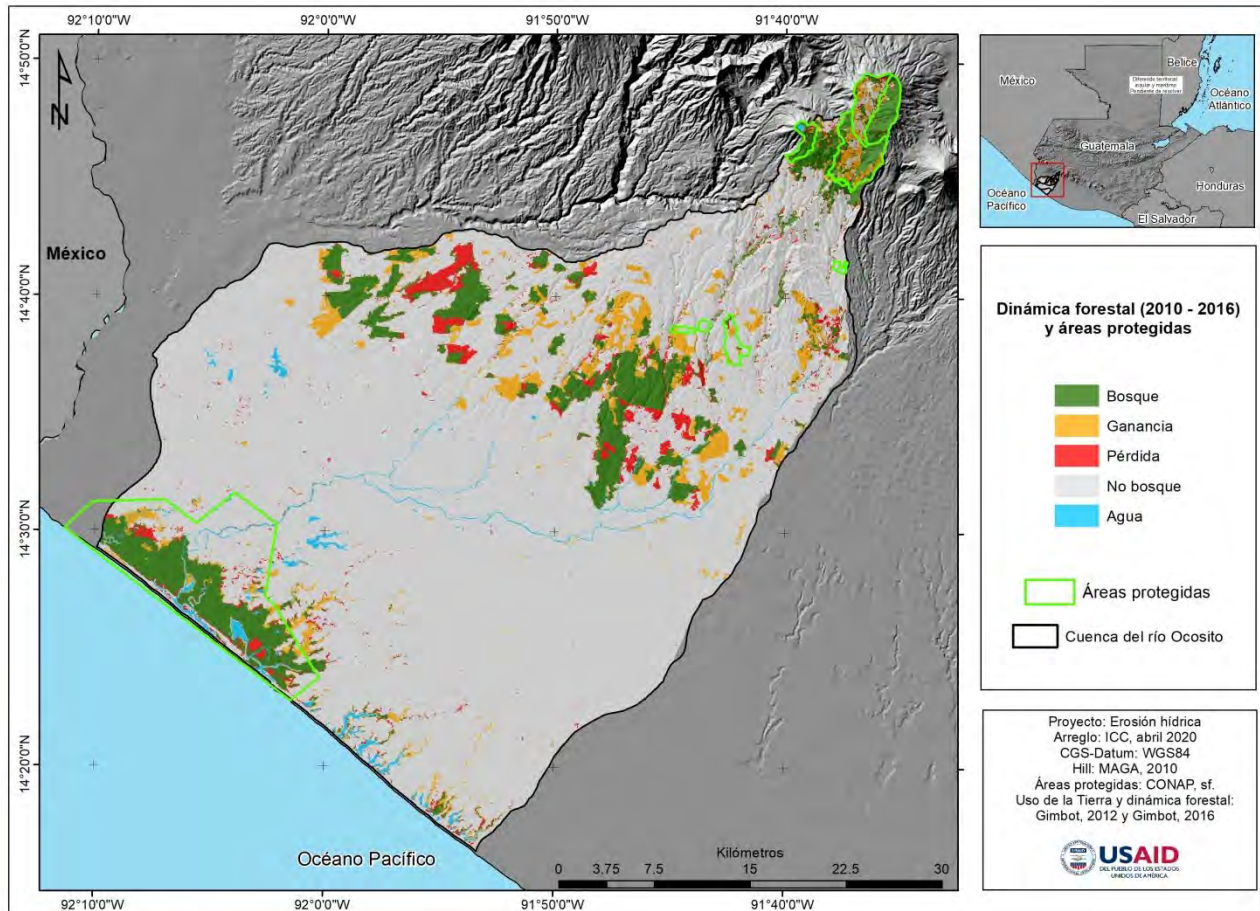


Figura 18: Dinámica forestal (período del 2010 al 2016) y áreas protegidas en la cuenca del río Ocosito

La restauración del paisaje forestal se ha venido consolidando como un movimiento mundial con beneficios nacionales y locales desde el año 2011, cuando surge la iniciativa del Desafío de Bonn. Según la Mesa Nacional de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala (2018), el país se ha comprometido con la restauración de 1.2 millones de hectáreas en el territorio, con el fin de contribuir al desarrollo integral y sostenible del país y el bienestar de su población.

Entre los conceptos y definiciones más sobresalientes a la restauración forestal se tienen los siguientes: “La restauración del paisaje forestal es el proceso a largo plazo de restituir la funcionalidad ecológica y mejorar el bienestar humano en los paisajes forestales degradados” (UICN/WRI 2014) y “la restauración es el proceso destinado a recuperar la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en zonas deforestadas o paisajes forestales degradados” (OIMT/UICN 2015), ambos conceptos citados por la Mesa Nacional de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala (2018).

La Mesa Nacional de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala (2018), identifica ocho categorías de bosques para la República, siendo estas las siguientes: ribereños, manglares, tierras forestales de protección, tierras forestales de producción, agroforestería con cultivos permanentes, agroforestería con cultivos anuales, sistemas silvopastoriles y áreas protegidas.

Los resultados de la propuesta de restauración forestal para la cuenca del río Ocosito de este documento, han permitido identificar 14 mil hectáreas, donde 9,400 de estas hectáreas corresponden a cultivo de café, ubicadas principalmente en los municipios de El Palmar, Colomba y Nuevo San Carlos, cuadro 13:

Cuadro 13: Áreas potenciales para la restauración forestal

Municipio	Agricultura anual	café	Caña de azúcar	Hule	Pastizales	Vegetación arbustiva baja
Champerico	10.77	0.00	12.43	0.00	15.34	10.46
Coatepeque	149.51	12.96	0.06	291.26	102.77	75.36
Colomba	29.36	2,880.80	0.00	180.91	63.73	96.70
El Asintal	6.47	276.38	10.65	97.38	90.28	147.73
El Palmar	0.21	3,520.52	0.00	182.14	91.16	42.78
Flores Costa Cuca	55.50	74.68	0.06	293.01	200.47	183.50
Génova	16.73	177.89	2.59	144.79	155.70	110.23
Nuevo San Carlos	66.40	2,152.89	0.61	257.28	345.99	322.19
Ocós	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
Quetzaltenango	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
Retalhuleu	10.18	0.00	44.80	0.10	10.34	20.84
San Felipe Retalhuleu	2.48	97.87	34.69	23.62	3.41	0.00
San Martín Sacatepéquez	56.03	259.27	0.00	0.00	0.00	180.05
San Sebastián	0.00	0.11	0.00	0.00	0.02	0.00
Total	406.13	9,453.37	105.89	1,470.48	1,079.22	1,190.44

Sin embargo, Anacafé (sf.), indica que el sistema de café es reconocido en Guatemala como un sistema agroforestal que se caracteriza por: a) su alta densidad y cobertura de sombra, b) ser un sistema estable, con una tasa de cambio de uso de la tierra muy bajo 0, c) funciona como corredor biológico, d) favorecer la conservación y generación de bienes y servicios y e) contribuir con la adaptación y mitigación del cambio climático, entre otros.

Por lo anterior se recomienda la priorización de bosque ribereño de las áreas de restauración forestal en esta zona de café y la incorporación de estructuras de conservación de suelos como las acequias de infiltración. Además, se recomienda el complemento con especies forestales en arreglos que favorezcan los requerimientos de sombra del cultivo.

Las 14 mil hectáreas que se proponen para restauración forestal están enfocadas a reducir la erosión hídrica ya que el 98% de estas se encuentran con pendientes mayores al 25% y niveles de erosión fuertes a muy fuertes (> 50t/ha/año).

Cuadro 14: Clasificación del área (ha) con potencial a restauración forestal de acuerdo al uso actual y pendientes con el fin de reducir los niveles de erosión hídrica

Uso de la tierra	Porcentaje de pendiente						
	< 3	3 a 8	8 a 16	16 a 20	20a 25	25 a 36	> 36
Agricultura anual	0.02	0.13	0.44	0.61	1.57	225.33	174.36
Banano-plátano	---	---	---	---	---	3.93	2.28
Café	1.52	8.21	38.25	43.13	106.80	2,702.69	6,487.10
Caña de azúcar	---	0.00	0.08	0.23	0.30	80.07	24.67
Cultivos permanentes arbóreos	0.00	0.02	0.09	0.09	0.19	2.49	6.53
Cultivos permanentes herbáceos	---	---	0.00	0.00	0.00	2.66	2.24
Espacios abiertos, sin o con poca vegetación	14.65	17.43	0.76	0.07	0.05	1.88	0.46
Hule	0.12	0.35	1.61	1.77	4.91	651.11	807.93
Palma de aceite	0.00	0.03	0.04	0.04	0.10	86.08	27.50
Pastizales	0.02	0.10	0.46	0.46	1.06	621.37	455.71
Vegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	0.04	0.16	0.91	0.93	2.09	428.76	750.53
Zonas agrícolas heterogéneas	---	0.00	0.00	0.00	0.03	122.99	72.37
Zonas húmedas	---	---	---	---	---	12.60	3.95
Total	16.37	26.43	42.64	47.32	117.10	4,941.96	8,815.62

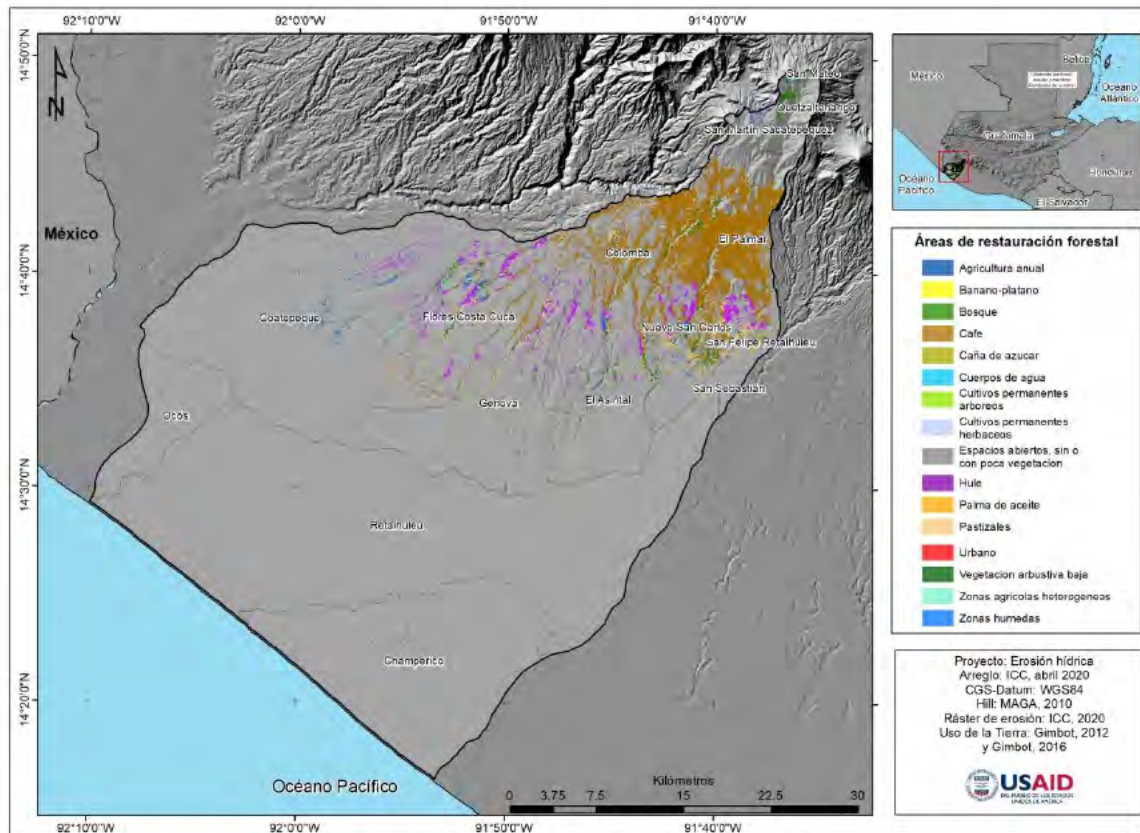


Figura 19: Área propuesta para restauración forestal

Las zonas de vida predominantes en la cuenca del río Ocosito son: bosque muy húmedo subtropical (cálido), bosque húmedo subtropical (cálido), bosque muy húmedo montano bajo subtropical y bosque seco subtropical. El 95% del área (13,367 hectáreas) propuesta para restauración forestal se encuentra dentro de la zona de vida de bosque muy húmedo subtropical (cálido), figura 20.

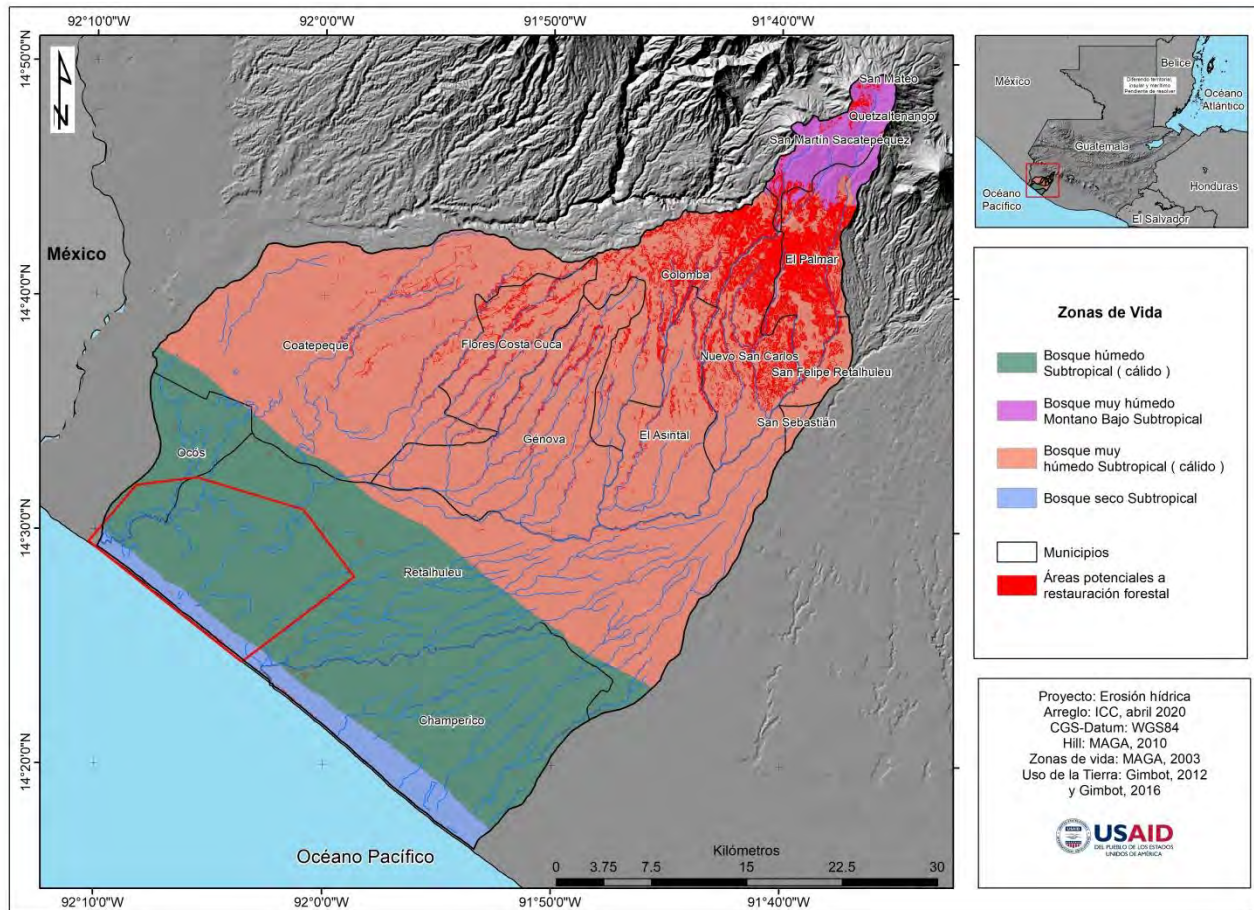


Figura 20: Zonas de vida de la cuenca del río Ocosito y área propuesta para restauración forestal

De acuerdo con IICA (1994), la zona de vida bosque muy húmedo subtropical (cálido) bmh-S(c) presenta una precipitación media anual que varía de 1,400 a 4,700 mm y la temperatura media anual es de 21° a 30° C. La precipitación en época seca se estima en 200 a 800 mm y en época húmeda de 1,500 a 3,500 mm, con menos de 4 meses de déficit de lluvias al año. La vegetación indicadora de esta zona de vida incluye especies como: volador (*Terminalia oblonga*), conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), puntero (*Sickingia salvadorensis*), mulato (*Triplaris malaenodendrum*), palo blanco (*Cyrtosperma donnell-smithii*), chaperno (*Andira inermis*) y otras. Por ello se recomienda incluir estas especies en los arreglos espaciales de las áreas a restaurarse.

6. CONCLUSIONES

1. Las lluvias están clasificadas como extremadamente severas, principalmente en la parte alta de la cuenca del río Ocosito, cuya energía cinética impacta con mayor fuerza el suelo, por lo que se considera el principal factor que contribuye con el proceso de erosión hídrica en la cuenca.
2. En la parte alta y media de la cuenca se tienen los niveles de erosión hídrica más altos, superando las 50 toneladas de suelo por hectárea por año. La agricultura anual, zonas agrícolas heterogéneas, vegetación arbustiva baja y cultivo de café son los usos de la tierra que presentan las tasas de degradación del suelo más elevadas y por lo tanto son las áreas que deben priorizarse para hacer cambio en el manejo de los suelos para reducir su degradación.
3. La modelación de la erosión hídrica bajo el escenario actual revela una erosión potencial de 33.2 millones de toneladas de suelo erosionado al año. Bajo el escenario pesimista, la falta de cobertura forestal en la cuenca llevaría a producir 96.4 millones de toneladas de suelo erosionado al año, es decir, que aumentaría la erosión hídrica en 190%.
4. Bajo el escenario optimista o ideal en cuanto a manejo de la cobertura vegetal y prácticas de conservación de suelos dentro de la cuenca en estudio se tiene un potencial de reducir la erosión en 28 millones de suelo erosionado al año, es decir, se reduciría la erosión actual un 84%.
5. El manejo tanto de la cobertura vegetal como las prácticas de conservación de suelos, es fundamental para reducir la erosión hídrica, es evidente que un buen manejo puede reducir la erosión hídrica significativamente, en el caso de la agricultura se observa que la tasa de degradación puede pasar de 260 t/ha/año a 27 t/ha/a con prácticas de conservación de suelos adecuadas.
6. Las estrategias de manejo sostenible de la cuenca que mayor impacto tendrían sobre la erosión hídrica serían la restauración forestal y las terrazas o acequias de infiltración, ya que estas al ser implementarlas en la cuenca reducirían la erosión actual en 38% y 26% respectivamente.
7. Por contarse con diversos tipos de uso de la tierra, la articulación de actores de todos los sectores será clave para la implementación de las estrategias planteadas en el presente estudio y lograr así reducir la erosión según las cuantificaciones previstas en estas modelaciones.

8. RECOMENDACIONES

1. Las áreas protegidas albergan el 30% de los bosques de la cuenca, por lo que se recomienda que su preservación sea de las acciones prioritarias, especialmente los bosques ubicados en la parte alta de la cuenca en lo que corresponde al "volcán Chicabal" y al "volcán Siete Orejas" donde la erosión podría ser severa sin esta cobertura arbórea.
2. Se recomienda la articulación de instituciones y sociedad civil para la preservación de los bosques que están presentes en la cuenca, cuya cobertura está evitando la erosión de 70 millones de toneladas de suelo cada año.
3. En sistemas agroforestales ya establecidos se recomienda enfocarse en los bosques de ribera para mejorar las condiciones de estas áreas especialmente usando especies nativas.
4. Recomendar la participación de los productores en los distintos programas de incentivos forestales que promueve el Gobierno de Guatemala a través del INAB, tanto para restaurar áreas sin bosque como también para preservar los bosques naturales que están presentes en el territorio.
5. Enfocar esfuerzos de desarrollo de capacidades, económicos y de apoyo técnico para la conservación de los recursos naturales de la cuenca, principalmente en los usos con niveles de erosión fuerte a muy fuerte.
6. Realizar un mapeo de actores locales, tanto gubernamentales como de sociedad civil y propiciar la implementación voluntaria del plan de manejo de suelos que se propone en este documento, de acuerdo a las condiciones sociales y económicas de cada actor.
7. Desarrollar un proceso de divulgación articulado con actores a nivel de las máximas autoridades institucionales de Gobierno y tomadores de decisiones; en cuyo proceso se presenten los resultados del presente estudio así como el plan de conservación de suelos planteado en el documento. Se recomienda que en este proceso de divulgación y socialización se incluyan todos los estudios que en la actualidad se están desarrollando por el presente proyecto en la cuenca del río Ocosito.
8. Se recomienda propiciar la conformación de mesas técnicas de trabajo, las que pueden organizarse según el tipo de sistema productivo e incluir en esas mesas a la diversidad de actores que en la actualidad son parte de ellos. En ellas deberá incluirse al sector gobierno, productores locales, así como entidades de apoyo técnico no gubernamentales. Su propósito será lograr la implementación voluntaria de las prácticas de conservación de suelos según las condiciones de cada productor.
9. Realizar estudios específicos a la cuenca o territorio sobre los factores de manejo para la modelación de erosión hídrica, es decir sobre el efecto de las diversas coberturas vegetales presentes en la zona sobre la erosión hídrica, así como las prácticas de conservación de suelos que se implementan.
10. De acuerdo a las condiciones de los productores se debe buscar el manejo integral del suelo para mantener la sostenibilidad de los sistemas productivos, se deben implementar en combinación las prácticas de conservación de suelos incluyendo abonos verdes y rotación de cultivos.

9. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Anacafé (Asociación Nacional del Café, GT). Sf. Política de ambiente y cambio climático para el sector café de Guatemala. Consultado el 12 de junio de 2020. Disponible en <https://www.anacafe.org/uploads/file/c9abfaf7d81846e08b59d19875de5f6e/Politica-Ambiental-Anacafe.pdf>

Barneond, C. y Ramírez, A. 2018. Cosecha de agua. ATAGUA. Consultado el 09 de junio de 2020. Disponible en https://www.atagua.org/presentaciones/XIVCongresoNacional2017/agronomia/cosecha_de_agua_f_barn_eond.pdf

Becerra, M. A. 1999. Erosión del suelos. México. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de suelos.

Bouwman, A y Langdon, R. 1984. Manual para prácticas de conservación de suelos. PNUD-FAO. Consultado el 08 de junio de 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/ar758s/ar758s.pdf>

Dumas Salazar, Á. 2012. Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo. Tesis MSc. TIC. España, Universidad Complutense de Madrid. 48 p.

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, MX). 2016. Manual para trazo de curvas de nivel. Consultado el 10 de junio de 2020. Disponible en http://conservacion.cimmyt.org/en/component/docman/doc_view/2004-manual-curvas-de-nivel

CIP (Centro Internacional de la Papa, Pe). 2007. Gestión Integral de Cuenca: La experiencia del proyecto regional Cuencas Andinas. Moreno Díaz, Alonso; Renner, Isabel (editores). Consultado el 9 de julio de 2020. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=jWJzjucuibwC&pg=PT24&dq=definir+parte+alta%2Bmedia%2Bbaja%2Bcuenca&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjOnrmwxMDqAhUEd98KHRhkCBwQ6AEwBHoECAQQAg#v=onepage&q=definir%20parte%20alta%2Bmedia%2Bbaja%2Bcuenca&f=false>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, R). S.F. Permeabilidad del suelo. Consultado el 06 de abril 2020. Disponible en http://www.fao.org/tempref/Fl/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, R). 2015. El trabajo de la FAO sobre el cambio climático: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2015. Consultado el 06 de mayo 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>

FAO-PNUMA-UNESCO. 1981. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Memoria y mapas. Roma.

Galindo, J. C., Rodas, W., Melendez, C., y Argueta, G. (2010). Evaluación preliminar de los Ríos Ocosito y Pacayá en el área cercana a la desembocadura, 30.

Gaspari, F; Delgado, M; Denegri, G. 2009. Revista tierra latinoamericana: Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. (en línea). México, Universidad Autónoma de Chapingo. Consultado 8 abr 2020. Disponible en <http://www.chapingo.mx/terra/articulos.php?id=MjcxMDQz>.

Geodrones. 2018. Cómo hacer topografía con drones (5 pasos). Consultado el 10 de junio de 2020. Disponible en <https://geodronesmx.com/como-hacer-topografia-con-drones/>

GeoSystems. Sf. Levantamiento topográfico aéreo Trimble UX5. Consultado del 10 de junio de 2020. Disponible en https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/Trimble_UX5_presentacion_2016.pdf

GIMBOT (Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra, GT). 2014. Mapa de bosques y uso de la tierra 2012. Formato ráter. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

GIMBOT (Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra, GT). 2018. Mapa de bosques 2016 y dinámica forestal 2010-2016. Formato ráter. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

González E., C. J. y Pozo M., G. J. 2007. Evaluación de la erosión hídrica en el sistema productivo de café (*Coffea arabica* L.) de la Finca El Jardín y el efecto del uso y manejo de la tierra en la quebrada del río El Cairo, Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Consultado el 02 de febrero de 2020. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/35164845.pdf>

Guzman, L. 2012. Análisis técnico sobre los usos, tenencia y estado de las Tierras para definir las modalidades de conservación (componente de conservación). SERNAP, Perú. 87 p.

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT y SV). 2017. Informe de labores 2017. Consultado el 28 de mayo de 2020. Disponible en <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/05/ICC-Informe-Laboral-2017-low.pdf>

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). 2020. Red de estaciones meteorológicas ICC. Consultado el 20 de febrero de 2020. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 1999. Obras de conservación de suelos y agua en laderas. Consultado el 04 de junio de 2020. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/b3470e/b3470e.pdf>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 1994. Diagnóstico preliminar de las cuencas fronterizas Guatemala-México. Consultado el 12 de junio de 2020. Disponible en [https://books.google.com.gt/books?id=7d4qAAAAYAAJ&pg=PA17&lpg=PA17&dq=zona+de+vida%2Bbmh-S\(c\)&source=bl&ots=UVXGCqcp4r&sig=ACfU3U1kYI_TznTf272IMxL0rxtrl4SHYA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewjvpfD0IfzpAhWpSDABHeIFDmcQ6AEwCHoECAkQAQ#v=onepage&q=zona%20de%20vida%2Bbmh-S\(c\)&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=7d4qAAAAYAAJ&pg=PA17&lpg=PA17&dq=zona+de+vida%2Bbmh-S(c)&source=bl&ots=UVXGCqcp4r&sig=ACfU3U1kYI_TznTf272IMxL0rxtrl4SHYA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewjvpfD0IfzpAhWpSDABHeIFDmcQ6AEwCHoECAkQAQ#v=onepage&q=zona%20de%20vida%2Bbmh-S(c)&f=false)

INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso: Aplicación de una metodología para Tierras de la República de Guatemala. Consultado el 28 de marzo de 2020. Disponible en http://portal.inab.gob.gt/images/centro_descargas/manuales/Clasificaci%C3%B3n%20de%20tierras%20por%20capacidad%20de%20uso.pdf

INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 1988. Curvas de duración-intensidad-frecuencia. Consultado el 08 de junio de 2020. Disponible <http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/INFORME%20de%20intensidades%20de%20lluvia%20Guatemala.pdf>

La Unión. 2020. Topografía y diseño de campo ingenio La Unión, S. A. Superintendencia de campo, departamento de Sistemas de Información Geográfica. Presentación Power Point ®.

Leiva P., J. M. 2016. Pérdida acelerada de tierras agrícolas en Guatemala. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, FAUSAC. 12 p.

Lianes, E; Marchamalo, M; Roldán, M. 2009. Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica. Costa Rica, CIA (Centro de investigaciones Agronómicas). 235 p.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2017. Estudios semidetallado de suelos del departamento de Guatemala, formato vector. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo/Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2013a. Estudios semidetallado de suelos del departamento de Sacatepéquez, formato vector. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo/Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2013b. Estudios semidetallado de suelos del departamento de Sololá, formato vector. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo/Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2010. Modelo de elevación digital, formato ráster. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo/Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Medina, C. 2009. Modelos numéricos y teledetección en el lago de Izabal, Guatemala. Tesis PhD. España, UCA (Universidad de Cádiz). 294 p

Mesa Nacional de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala. 2018. Oportunidades de restauración del paisaje forestal en Guatemala. Consultado el 12 de junio de 2020. Disponible en <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/11560.pdf>

Mitchell, J. K. y Bubenzer, G. D. 1984. Estimación de la pérdida del suelo. México. D. F. Limusa. 35-88 p. 29.

Molina, A. (2017). Análisis de las inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Ocosito: Su impacto sobre los cultivos y la percepción del riesgo comunitario. Tesis. Facultad de Agronomía, USAC

Moore I.D., Burch, G.J. (1986). Physical basis of the length - slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society American Journal, 50, 1294- 1298.

Pizarro B., J. 2013. Diseño hidráulico de canales. Universidad Nacional de San Martín. Perú. Consultado el 8 de junio de 2020. Disponible en <https://es.slideshare.net/brayanfernandoguzmantomanguillo/diseo-hidraulico-de-canales-exponer#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20hidr%C3%A1ulico%20de%20canales,por%20el%20sistema%20de%20riego.>

Rivera, P.J.H. y A.A. Gómez. 1991. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Cenicafe 42(2): 37-52.

Robles R. J. A. 2017. Diseño de campo para reducir la erosión hídrica en suelos de la agroindustria azucarera guatemalteca. Agua, Saneamiento y Ambiente. Vol. 13. Consultado el 04 de junio de 2020. Disponible en <http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/rcasa/article/view/887>

Rufino R., F. 2019. Calibración del factor K/USLE en una unidad de suelo y dos condiciones de uso en Aguascalientes, México. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Consultado el 04 de marzo de 2020. Disponible en <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/1723/437056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santos V., A. A. 2010. Determinación de la erosión hídrica para diferentes rangos de pendientes en finca Santa Albina, municipio de Colomba Costa Cuca, departamento de Quetzaltenango. Universidad Rafael Landívar. Consultado el 28 de mayo de 2020. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2010/06/17/Santos-Alfredo.pdf>

Simmons Ch.S., Tárano J.M. y Pinto J.H. 1959. Estudio de clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Formato vector. MAGA.

UNLP (Universidad Nacional de La Plata, Ar). 2018. Unidad didáctica B3 Erosión hídrica. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Consultado el 03 de junio de 2020. Disponible en https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/38002/mod_resource/content/1/UDB%20B3%20Erosi%C3%B3n%20H%C3%ADdrica.pdf

Uribe, C. 2012. Estimación de la erosión hídrica y recomendaciones para la conservación de suelos en la reserva de la biósfera Barranca de Metzititlán. México. Universidad de Chapingo. 84 p.

Villón Béjar, M. 2006. Drenaje. Costa Rica, Universidad Tecnológica de Costa Rica. 554 p.

WWF (World Wildlife Fund). 2018. Glosario Ambiental: ¿Qué es una cuenca? Consultado el 09 de julio de 2020. Disponible en <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=323450>

10. ANEXOS

10.1. TRAZADO DE LA CUERVAS A NIVEL

Para la construcción, lo primero que debe realizarse es el trazado de las curvas de nivel del terreno en función de la distancia que tendrá el cultivo entre hileras. Para el trazado de las curvas a nivel existen distintos métodos, sin embargo la experiencia muestra que el método más práctico y de fácil comprensión por parte del agricultor a pequeña escala es el empleo del nivel de “A”, de acuerdo con Bouwman, A y Langdon, R. (1984).

10.1.1 TRAZADO DE CURVAS A NIVEL CON EL NIVEL O APARATO EN “A”

IICA (1988) y CIMMYT (2016), detallan los materiales para la construcción: Dos palos rectos o reglas de madera o bambú de 2 metros de largo para las patas. Un palo recto o reglas de madera o bambú de 1.5 metros de largo para el travesaño. Una pequeña piedra amarrada con una cuerda a la parte superior del Aparato A, que es la que da el nivel del suelo.

Se elige un punto X en la parte alta de un extremo del terreno. Allí se clava una estaca para que sirva de referencia a la primera curva a nivel.

En este punto se sitúa una de las patas del nivel A. Se mueve la otra pata en sentido lateral, hasta tocar un punto en el suelo que coincida con la marca central trazada en el travesaño del aparato A. En este punto se coloca otra estaca.

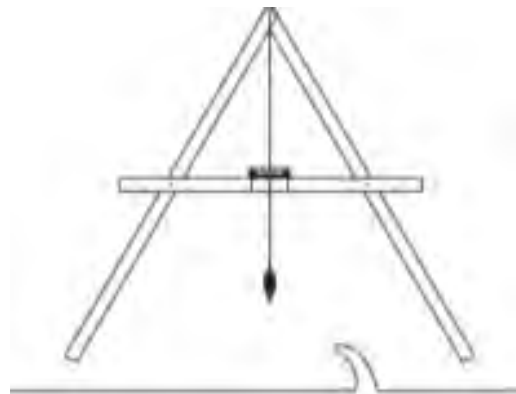


Figura 21: Nivel en “A”. Fuente: CIMMYT, 2016

Desde la segunda estaca se sigue moviendo en forma lateral el nivel A, como si se tratara de un compás, hasta hacer coincidir un nuevo punto de nivel en el suelo. Allí se planta una nueva estaca. Este proceso de repite a lo largo de toda la curva y en todo el terreno de cultivo, hasta trazar todas las curvas.

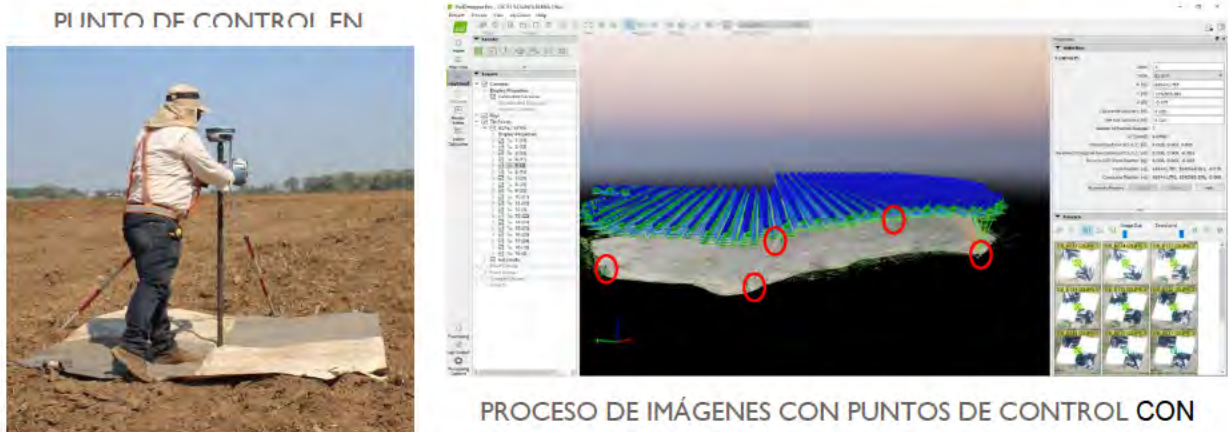
10.1.2 TRAZADO DE CURVAS A NIVEL CON LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AÉREO O FOTOGRAMETRÍA CON DRONES

De acuerdo con GeoSystems (sf.), es un sistema de levantamiento topográfico aéreo de alta precisión, compuesto por un avión no tripulado (UAV), mejor conocidos como drones, que toma imágenes durante su vuelo y mediante un software permite el análisis y procesamiento digital de las imágenes. Este procedimiento se adecua a agricultores poseedores de grandes extensiones de cultivo.

Geodrones (2018), explica cómo hacer topografía con drones (fotogrametría con drones):

1. Inspección de la zona de estudio: se recomienda que sea una visita en campo, no ser posible se puede utilizar un archivo KMZ montado en el Google Earth® del lugar, es importante considerar la presencia de vegetación y la morfología del terreno (si la superficie es plana o una montaña o zona con pendientes pronunciadas)

2. Puntos de apoyo y control terrestre: para poner puntos de control se necesita un sistema de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) diferencial o RK (Posicionamiento cinemático en tiempo real). Los puntos deben estar marcados (algunos lo hacen con cal, pintura, etc.) para que se aprecien en las imágenes aéreas.
3. Planeación y ejecución del vuelo: Existen muchas aplicaciones móviles para planear vuelos de drones. Algunas de las aplicaciones más aceptadas son Map Pilot y Groud Station Pro. Por otro lado el eBee que es un dron de ala fija permite la planeación de vuelos a través de su aplicación eMotion. Otras aplicaciones muy comunes son Pix4D Capture y Drone Deploy. Se debe considerar las condiciones meteorológicas del día del vuelo, no se recomienda volar con velocidades del viento mayores a los 10 m/s.
4. Procesamiento fotogramétrico de la información: algunos del software más comunes o más utilizado para procesar imágenes de drones son Pix4D y Agisoft PhotoScan (Ahora Metashape). Ambos permiten generar, nubes de puntos, modelos digitales de superficie, curvas de nivel, ortomosaicos, entre otros.



PIX 4D	QGIS	CMIL 3D	AGROCAD	FARM WORKS	ARC MAP
					
Para procesar las imágenes tomadas con el dron	Dibujar los levantamientos con dron sobre las imágenes procesadas	Importar puntos de topografía, hacer curvas a nivel, modelos de levación digital, calcular áreas	Para calcular las longitudes de los surcos y el número de giros de la maquinaria	Trazar las líneas de surcado del diseño y guardar los archivos para el tractor	Analizar información (Red de drenaje principal y secundaria, modelos de elevación del

Figura 22: Resumen del proceso fotogramétrico con drones. Fuente. Ingenio La Unión, 2020

10.2 DISEÑO DEL CULTIVO EN FAJAS

Para el diseño de esta práctica de conservación de suelos debe considerarse las curvas a nivel. Para determinar el ancho de las fajas se logra en función de la pendiente del terreno, según Bouwman, A y Langdon, R. (1984):

Cuadro 15: Ancho de las fajas en función de la pendiente del terreno

Pendiente del terreno (%)	Ancho de Fajas (m)
5	50
10	30
15	23
20	20

Fuente: Bouwman, A y Langdon, R. (1984)

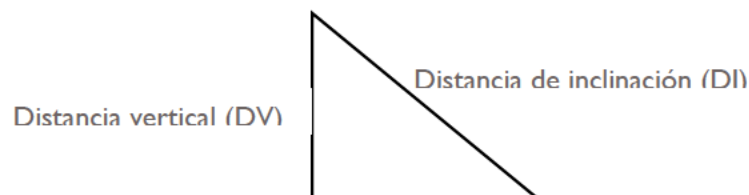
Del cuadro anterior se desprende que a mayor pendiente del terreno, el ancho de las fajas será menor ya que a mayor pendiente del terreno el agua al recorrer una menor distancia alcanza una velocidad turbulenta o altamente erosiva.

10.3. CRITERIOS DEL DISEÑO DE ACEQUIAS DE INFILTRACIÓN Y DE DESAGÜE

De acuerdo con Robles R, J. A. (2017), los criterios básicos para el diseño de estructuras de conservación de suelos son: topografía, los registros históricos de las precipitaciones del lugar y condiciones de los suelos.

10.3.1 TOPOGRAFÍA

Bouwman, A y Langdon, R. (1984), indican que conocer la distancia entre estructuras es lo primero que se debe determinar, para ello es necesario calcular las distancias verticales o diferencial de altitud que deberá existir entre estructuras de conservación de suelo y agua:



De acuerdo con UNLP (2018), existen diferentes fórmulas empíricas utilizadas para el cálculo de la distancia vertical (DV), en esta propuesta se utilizó la del Servicio de Conservación de suelos de USDA:

$$DV = (a * S + b) * 0.3$$

Donde:

a= 0.4 a 0.8 para áreas de altas y bajas precipitaciones respectivamente. Para la cuenca del río Ocosito se utilizó 0.6

b= 1 a 4 según características del suelo, cultivos y prácticas de manejo. 1 para condiciones de alto potencial de escorrentía y 4 para condiciones contrarias. Para la cuenca del río Ocosito se utilizó 2 ya que las condiciones texturales de la cuenca tienden de arcillosos a suelos francos (Simmons Ch.S., Tárano J.M. y Pinto J.H. 1959)

S= gradiente de la pendiente, en porcentaje

El modelo de elevación digital (15 metros) fue utilizado para generar el mapa de pendientes que se utilizó en la fórmula. Los resultados indican que la distancia vertical entre estructuras de conservación de suelos puede ser a cada 3 a 5 metros, por lo que se recomienda considerar una diferencia vertical entre estructuras de conservación de suelos a cada 5 metros (distancia vertical). Figura 23.

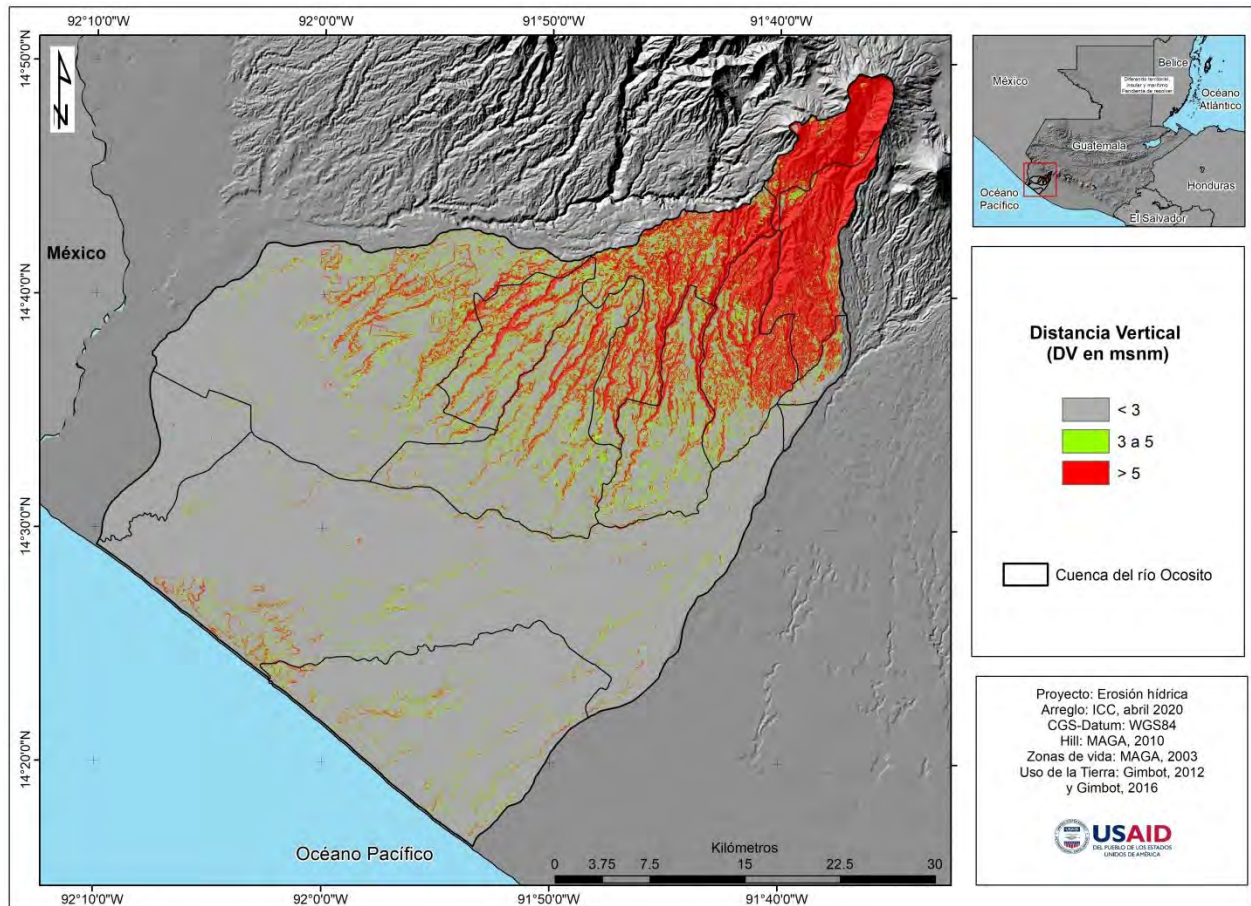


Figura 23: Propuesta de distanciamiento vertical entre estructuras de conservación de suelos en la cuenca del río Ocosito.

Si se desea utilizar la Distancia de Inclinación (DI) en lugar de la distancia vertical se puede utilizar la siguiente fórmula, según Bouwman, A y Langdon, R. (1984).

$$DI = \frac{DV * 10}{S}$$

Manuales como el de IICA (1999), proporcionan tablas con las distancias de inclinación (DI) entre obras de conservación de suelos según el porcentaje de la pendiente, como:

Cuadro 16: Distancia entre obras de conservación de suelos

Obras de conservación de suelos	Pendiente suave hasta 15%	Pendiente moderada 15 a 30 %	Pendiente fuerte 30 a 50%
Acequias	10-20 metros	8 - 10 metros	6 - 8 metros

10.3.2 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Se debe estimar el máximo caudal de escurrimiento superficial esperable para una zona determinada (UNLP, 2018). Villón Béjar (2006), indica que existe una gran variedad de métodos empíricos; en general todos se derivan del método racional, es por ello que se utilizará dicho método:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Q= Caudal máximo, m³/s

C= coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelos, adimensional o lámina de escorrentía mm (Q_e)/lámina de precipitación mm

I=Intensidad máxima de lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración y para un período de retorno, mm/h

A= área, ha

10.3.2.1 Coeficiente de escorrentía (C)

La escorrentía, es decir, el agua que llega al cauce de evacuación, representa una fracción de la precipitación total. A esa fracción se le denomina coeficiente de escorrentía que puede ser determinada según Martínez, 2005 por el cuadro 17, que no tiene dimensiones.

Cuadro 17: Valores del coeficiente de escorrentía C

Tipo de vegetación	Pendiente (%)	Franco arenosa	Franco-arcillo-limosa-franco-limosa	Arcillosa
Forestal	0 a 5	0.1	0.3	0.4
	5 a 10	0.25	0.35	0.5
	10 a 30	0.3	0.5	0.6
Praderas	0 a 5	0.1	0.3	0.4
	5 a 10	0.15	0.35	0.55
	10 a 30	0.2	0.4	0.6
Terrenos cultivados	0 a 5	0.3	0.5	0.6
	5 a 10	0.4	0.6	0.7
	10 a 30	0.5	0.7	0.8

10.3.2.2 Intensidad máxima de lluvia

Se recomienda utilizar las curvas de Duración Intensidad y Frecuencia (DIF) de estaciones de referencia del lugar. El INSIVUMEH tiene ecuaciones para 23 estaciones meteorológicas, para la cuenca del río Ocosito se tiene de referencia la estación Retalhuleu ((14.52, -91.695). Para la estimación de la intensidad el INSIVUMEH (1988), presenta la siguiente fórmula:

$$i_{Tr} = \frac{A}{(B + tc)^n}$$

Donde:

i_{Tr} = intensidad de lluvia, mm/h, asociada a una frecuencia de ocurrencia, representada por el período de retorno (Tr)

tc = es la duración, min, conocido como tiempo de concentración (es el tiempo necesario para que una gota de agua que cae en el punto hidrológicamente más alejado de aquella, llegue a la salida o estación de aforo).

A, B y n son parámetros de ajuste (obtenidos mediante regresión no lineal), cuadro 18

Cuadro 18: Parámetros de ajuste para la estación Retalhuleu para distintos periodos de retorno (Tr)

Tr	2	5	10	20	25	30	50	100
A	5,543	1,991	1,150	1,321	1,315	1,221	1,215	1,217
B	25	14	11	13	13	12	12	12
n	1.037	0.769	0.616	0.633	0.63	0.613	0.61	0.609
R^2	0.998	0.988	0.976	0.975	0.975	0.974	0.974	0.974

El tiempo de concentración del área tributaria puede estimarse mediante fórmulas que se basan en parámetros morfométricos o en base a aspectos hidráulicos de las corrientes (INSIVUMEH, 1988). Una de las fórmulas es la Kirpich:

$$Tc = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (minutos)

L = máxima longitud de recorrido (m)

H = diferencia de elevación entre puntos extremos (m)

10.3.3 DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico consiste en realizar el dimensionamiento y la forma geométrica del canal en función al caudal que transporta, de acuerdo con Pizarro B., J. (2013).

10.3.3.1 Elementos geométricos de la sección transversal de un canal

La forma más conocida de la sección transversal de un canal es la trapezoidal, como la que se muestra en la figura 24:

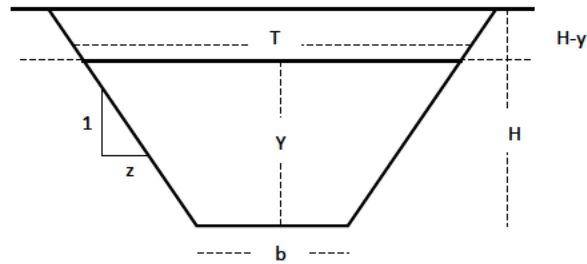


Figura 24: Elementos geométricos básicos de la sección transversal de un canal

Donde:

- Y= tirante de agua, altura que el agua adquiere en la sección transversal, m
- b= base del canal o ancho de solera, m
- T= espejo de agua o superficie libre de agua, m
- H= profundidad total del canal, m
- H-Y= borde libre, m
- Z:l = talud, horizontal:vertical, m:m

La relación del talud en suelos francos es recomendada de 1:l y en suelos arcillosos es de 0.5:l

Se calculó la superficie ocupada por el líquido en una sección transversal del canal o acequia, es decir el área mojada o área hidráulica (A), con la siguiente fórmula:

$$A = (b + ZY)Y$$

Para calcular la parte del contorno del canal o acequia que estaría en contacto con el líquido, es decir, el perímetro mojado (P), se utilizó la siguiente fórmula:

$$P = b + 2 * Y * \sqrt{1 + (Z)^2}$$

Para calcular la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado, conocido como radio hidráulico (R), se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A}{P}$$

Finalmente se calcula el caudal teórico del canal (Q), con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} \sqrt{S}$$

Donde:

n= es el coeficiente de rugosidad superficial o coeficiente de Manning (para esta cuencas n= 0.025, cuadro 19)

S= pendiente del canal (m/m), esto para las acequias de desagüe (en nuestro caso fue de 1 por mil, es decir 0.0001%)

Cuadro 19: Coeficiente de rugosidad (Manning) en canales abiertos y conducciones elevadas

Condiciones del caudal de agua	n
Canales de tierra sin revestir	
Tierra limpia y uniforme; canales recién ultimados	0.017
Curvatura suave, arcilla sólidos, con depósitos de fango, sin crecimiento de vegetación, en condiciones normales	0.025
Hierba corta, pocas malezas	0.024
Malezas densas en aguas profundas	0.032
Suelo accidentado con piedras	0.035
Mantenimiento escaso, malezas tupidas en lodo la altura del caudal	0.04
Fondo limpio, arbustos en los taludes	0.07
Canales revestidos	
Ladrillos de mortero de cemento	0.02
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0.015
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0.013
Ladrillos, paredes rugosas	0.015
Ladrillos, paredes bien construidas	0.013
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0.015
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0.013
Tablas bien cepilladas y firmemente fijadas	0.011
Membrana de plástico sumergida	0.027
Conducciones elevadas/canaletas/acueductos	
Hormigón	0.012
Metal liso	0.015
Metal ondulado	0.021
Madera y bambú (lisos)	0.014

Fuente: FAO, sf.

10.3.3.2 Propuesta de dimensiones de acequias de infiltración y desagüe para la cuenca del río Ocosito

Se evaluaron dos condiciones de suelo, siendo suelos franco arenosos y suelos arcillosos, con cultivo en hileras (pudiendo ser caña de azúcar o maíz), áreas de cultivo o de drenaje (área entre acequias o estructuras de conservación de suelos) iguales o menores a 8 hectáreas. La distancia Vertical entre estructuras de conservación de suelos de 5 metros.

La estación de referencia que se utilizó para estimar el caudal máximo (Q) producidos en el terreno o área de cultivo fue la estación meteorológica Retalhuleu (Longitud -91.696, Latitud 14.522 y altitud 218 msnm) con un tiempo de retorno de 10 años. Precipitación de diseño 205 mm/día, fue el evento máximo registrado por la estación Tzulá (Longitud -91.586761, Latitud 14.508232 y altitud 253 msnm) de la red de estaciones meteorológicas de ICC en agosto de 2014. Precipitación de diseño 205 mm/día, fue el evento máximo registrado por la estación Tzulá (Longitud -91.586761, Latitud 14.508232 y altitud 253 msnm) de la red de estaciones meteorológicas de ICC en agosto de 2014. Obteniendo para estas condiciones los siguientes caudales:

Suelos francos arenosos= 2.84 m³/s
 Suelos arcillosos= 3.57 m³/s

Las dimensiones recomendadas de las acequias de infiltración y desagüe son las siguientes:

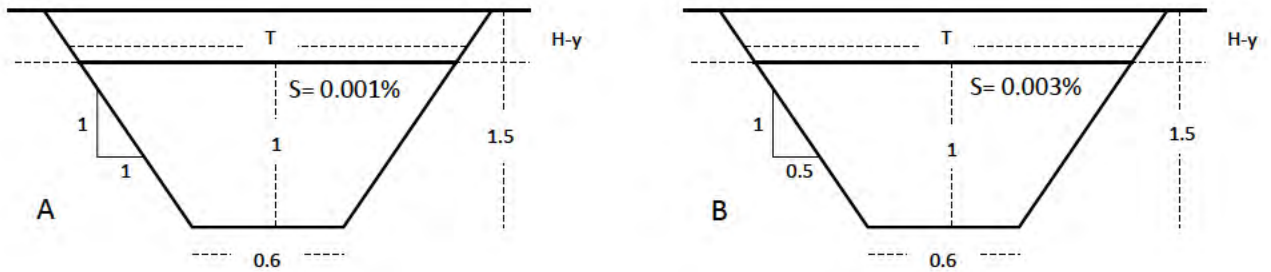


Figura 25: Dimensiones recomendadas de acequias de infiltración y desagüe. A) Suelos francos y B) suelos arcillosos

10. 4 VISITA DE CAMPO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO OCOSITO

El lunes 23 de junio de 2020, se realizó la visita de campo por uno de los técnicos del programa de Manejo Integrado de Cuencas de ICC. Se llegaron a 24 puntos dentro de la subcuenca del río Ocosito (figura 26), dentro de las áreas cultivadas se tienen: café, hule, caña, banano, maíz, palma de aceite, pastizales y ribera del río.

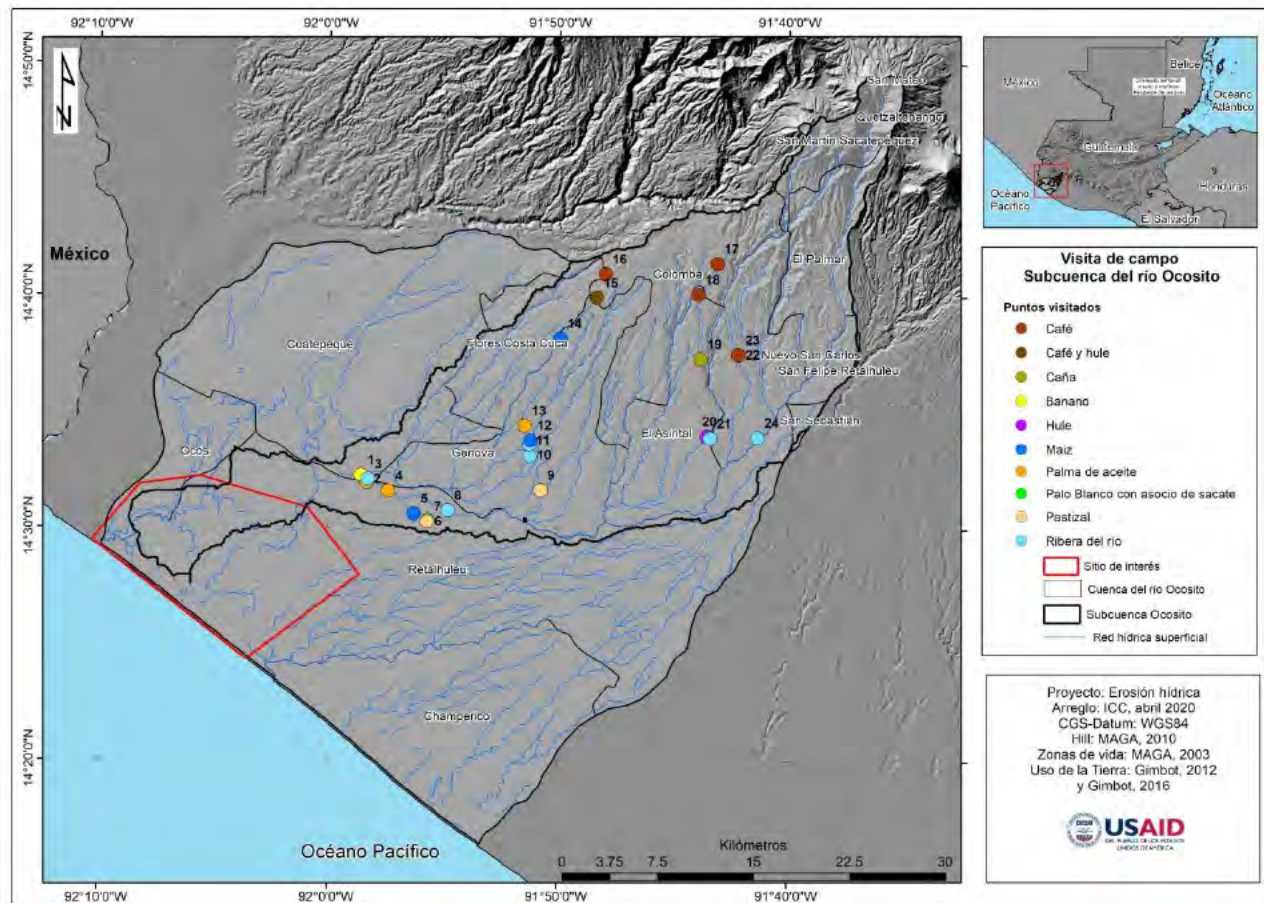


Figura 26: Puntos visitados en la subcuenca del río Ocosito

Las áreas visitadas muestran distintos tipos de manejo, entre los que destaca la presencia de cultivos a nivel, principalmente en cultivo de caña de azúcar (punto 19) y café (punto 16); también se observó la presencia de sistemas agroforestales en pastizales (punto 6) y asocio de café con hule (punto 15). La presencia de erosión hídrica observada durante la visita que se realizó se observó en maíz (punto 14), en la que se observó la formación de una cárcava, así como pedestales en cultivo de café (punto 22). A continuación se presentan las fotografías de los puntos mencionados:



Figura 27: Cultivos sembrados a nivel. Punto 19 (izquierda), en caña de azúcar y punto 16 en café (derecha). Fotografías: Luis López, 2020



Figura 28: Sistema agroforestal (punto 6, izquierda) y asocio de café con hule (punto 15, derecha). Fotografías: Luis López, 2020



Figura 29: Presencia de erosión hídrica en la subcuenca del río Ocosito. Formación de cárcava en cultivo de maíz (punto 14) y formación de pedestales y erosión en bordes de caminos en café (punto 22)