



Instituto Privado de Investigación  
sobre Cambio Climático



# Estimación de la erosión hídrica del suelo a partir del modelo USLE en la vertiente del Pacífico de Guatemala

Febrero, 2023



## **Cita bibliográfica**

### **Documento**

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2023). Informe de estimación de la erosión hídrica del suelo a partir del modelo USLE en la vertiente del Pacífico. Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.

### **Capa ráster**

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2022). Erosión de la vertiente del Pacífico al año 2021 [Capa digital]. Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.

### **Elaborado por:**

Alma Santos, Investigadora en Suelos del ICC hasta enero de 2023.

### **Revisado por:**

Marco Tax, Coordinador del programa Sostenibilidad de Sistemas Productivos.

### **Aportes al documento:**

Giovanni González, Programa Manejo Integrado de Cuencas.

**ISBN 978-9929-8208-7-6**

## Índice general

I. Introducción .....	1
II. Metodología .....	2
2.1 Factor R o erosividad de la lluvia .....	2
2.2 Factor K o erodabilidad del suelo .....	4
2.3 Factor LS (Longitud e inclinación de la pendiente) o factor topográfico .....	5
2.4 Factor CP (cobertura y prácticas de conservación de suelos) o factor de manejo .....	6
III. Resultados y discusión .....	9
3.1 Erosión hídrica en la vertiente del Pacífico .....	9
3.2 Erosión según uso de la tierra .....	9
3.3 Erosión según cuencas hidrográficas .....	11
IV. Conclusiones y recomendaciones .....	13
V. Referencias .....	14
VI. Anexos .....	15

## I. Introducción

Los suelos son el depósito natural de nuestras reservas de agua potable y proporcionan los nutrientes que las plantas necesitan para crecer, además juegan un importante papel en la regulación de la temperatura terrestre y en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (UNCCD 2014). La FAO (2015), indica que el suelo es un recurso no renovable en la línea del tiempo humana, es decir, que no se puede reemplazar todo el suelo saludable que se pierde, debido a que se toma aproximadamente 1,000 años para formar sólo 1 cm de suelo. Es importante indicar que la degradación de la tierra abarca la pérdida de fertilidad y 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).

Por erosión de suelos se entiende la remoción y pérdida del suelo, por la acción del agua y del viento, con disminución de sus componentes minerales y orgánicos más finos (Almorox J. et al., 2010). Reportan que en Guatemala la vertiente del Pacífico es la más erosionada (710 t/ha/año), duplicando la tasa de erosión de la vertiente del Golfo de México (330 t/ha/año) y casi seis veces más que la vertiente del Atlántico (122 t/ha/año) (MARN 2009). Leiva P. (2016), indica que el promedio nacional de pérdida de suelos por erosión hídrica alcanza 149 millones de toneladas anuales, que representan un valor monetario aproximado a 727 millones de quetzales.

Existen esfuerzos nacionales de promover el manejo sostenible de los suelos, en esta línea de apoyo, el ICC desde el 2012 ha estado realizando estudios para estimar las tasas de erosión hídrica y validando prácticas y estructuras de conservación de suelos que socios están implementando. Este año se generó cartografía de riesgo potencial a erosión hídrica en la vertiente del Pacífico actualizando el uso de la tierra para el año 2020.

Los resultados de la modelación de la erosión hídrica en la vertiente del Pacífico muestra que la tasa promedio de erosión hídrica es de 543 t/ha/a, siendo más baja a la reportada por MARN, 2009, de 710 t/ha/a.

## II. Metodología

Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), asociada a un sistema de información geográfica ArcGis10.5 ® para predecir el riesgo potencial a erosión hídrica de los suelos. Para la aplicación del método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos de Wischmeier y Smith (1978), se trabajó de acuerdo con:

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

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.

### 2.1 Factor R o erosividad de la lluvia

La determinación del factor "R" (erosividad de la lluvia), está en función de la intensidad máxima de lluvia en 30 minutos consecutivos y la energía cinética por evento de lluvia. El factor R se determinó analizando los registros de estaciones meteorológicas específicas de ICC e Insivumeh, distribuidas en la vertiente del Pacífico, con esta información se interpoló con el método de IDW<sup>1</sup> (Distancia Inversa Ponderada) para conocer su distribución espacial y generar los mapas de erosividad de las lluvias e isoclinas de R.

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 pluviograma, 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:

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

---

<sup>1</sup> La influencia de la variable interpolada es inversamente proporcional a la distancia, es decir, que la influencia de la variable disminuye a mayor distancia desde su ubicación de muestra.

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  $EI^2$  para cada evento de lluvia. Los valores EI de la época lluviosa por un periodo de tiempo variable (entre 1 a 9 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 dónde 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 1:** 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.

---

<sup>2</sup> Energías unitarias por segmento de lluvia (MJ/ha)

## 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):

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

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 2:** 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
Arenosos	Moderadamente rápida	6.3-12.7
	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, información proveniente 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 transformó a formato ráster y se operó la ecuación del factor K en la calculadora ráster de ArcMap 10.5.1® de ESRI.

### 2.3 Factor K o erodabilidad del suelo

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:

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

Siendo  $\alpha$  el ángulo en radianes,<sup>3</sup> 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.

---

<sup>3</sup> 1 grado sexagesimal es igual a 0.01745 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:

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

## **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 MAGA, 2021, sobre cobertura vegetal y uso de la tierra para el año 2020.

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 podrían proponer en el futuro 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 representará estos valores.

**Cuadro 3:** 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 Bubenzer, 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

Los resultados obtenidos sobre las tasas de erosión hídrica fueron clasificados de acuerdo a la clasificación de las pérdidas de suelo propuestas por FAO, PNUMA-UNESCO (1981):

**Cuadro 4:** 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

### III. Resultados y discusión

#### 3.1 Erosión hídrica en la vertiente del Pacífico

Los resultados de la modelación de la erosión hídrica en la vertiente del Pacífico muestra que la tasa promedio de erosión hídrica es de 543 t/ha/año, siendo más baja a la reportada por MARN, 2009, de 710 t/ha/año. Estas diferencias pueden estar relacionados principalmente a que en el presente estudio se contó con información más específica y detallada a las condiciones de este territorio, tal es el caso de la información sobre uso de la tierra (2020), suelos (muestreo de puntos específicos y actualizados desde el 2011), intensidades de precipitaciones (estaciones específicas de ICC e INSIVUMEH).

El 41% de la vertiente presenta erosión en las categorías entre nula a ligera, hasta moderada. El 59% restante serían las áreas donde habrá que poner atención para conservar y restaurar los suelos. Los diferentes tratamientos u opciones para realizarlo dependerá especialmente del uso de la tierra en cada una de las áreas con esas tasas de erosión mayores.

**Cuadro 5.** Niveles de erosión en la vertiente del Pacífico

Nivel de erosión	% del Área	Sedimentos (t)	Tasa de erosión (t/ha/a)
Nula a ligera	26%	1,866,227.85	2.98
Moderada	15%	9,545,343.96	27.65
Fuerte	21%	52,258,672.38	104.22
Muy fuerte	38%	1,219,884,192.64	1,370.33

#### 3.2 Erosión según uso de la tierra

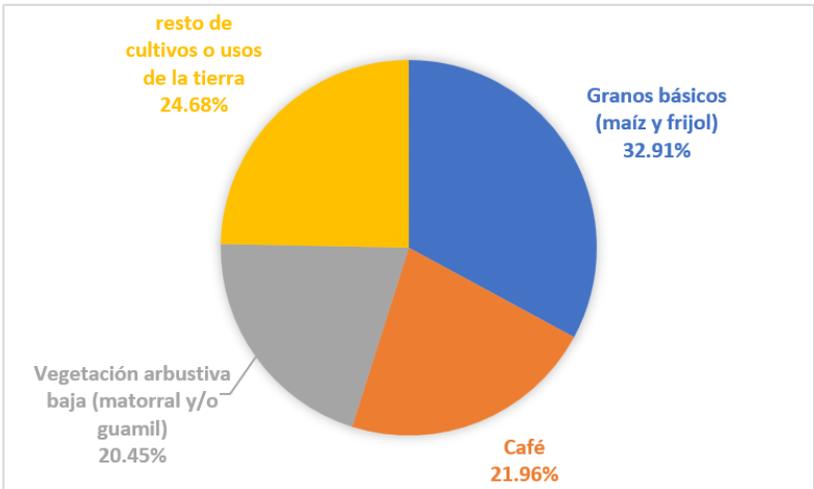
Respecto al uso de la tierra, se encontró que el 75.32% de los sedimentos en la vertiente están relacionados a tres usos de la tierra: Granos básicos, café y matorrales. Estas representan el 37.23% del área de la vertiente y presentan una tasa de erosión en la categoría de “muy fuerte”, debido a que se ubican principalmente en áreas de cuencas altas, con pendientes altas (mayores a 15) en su mayoría. Esta información será valiosa al momento de definir y priorizar las estrategias y planes de acción para la gestión de las diferentes cuencas en esta vertiente.

**Cuadro 6.** Niveles de erosión en la vertiente del Pacífico

USO DE LA TIERRA	ÁREA (ha)	% ÁREA	TASA EROSIÓN (t/ha/año)	% SEDIMENTOS
Granos básicos (maíz y frijol)	229,591.6875	10.50%	1,837.35	32.91%
Café	316,409.9850	14.46%	889.82	21.96%
Vegetación arbustiva baja (matorral y/o guamil)	268,325.3925	12.27%	976.79	20.45%
resto de cultivos o usos de la tierra	1,373,248.3275	62.77%	202.21 (ponderado)	24.68%

Los granos básicos representan el 32.91% de los sedimentos en esta vertiente, y son la categoría de uso de la tierra que más sedimentos representa. Habrá una urgencia de implementar planes de conservación y restauración del suelo en estas áreas, tomando en cuenta su importancia estratégica en la seguridad alimentaria del país.

Áreas bajo cultivo de café podrían ser sujetas a implementación de estructuras para conservación de suelos, así como mejoras en lo relacionado al manejo de la sombra. Esfuerzos de restauración forestal podrían implementarse en las áreas con vegetación arbustiva baja o matorral, dependiendo de las especies nativas de cada lugar.

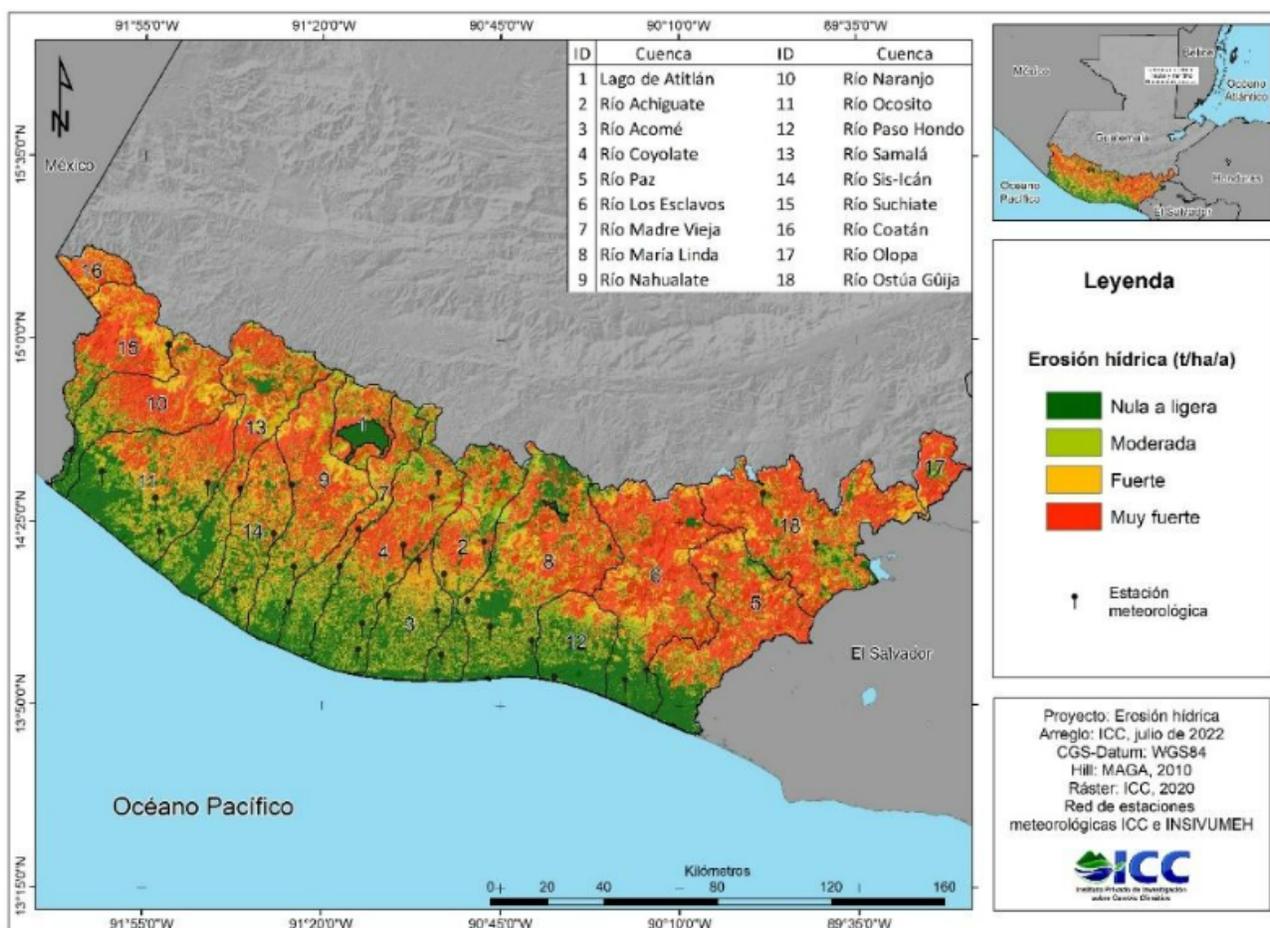


**Figura 1.** Usos de la tierra que aportan la mayor proporción de sedimentos.

Las áreas y tasas de erosión para el resto de categorías de uso de la tierra se presentan en los anexos, de donde fueron encontrados 56 usos de la tierra según lo definido por el MAGA para esta vertiente (MAGA, 2021).

### 3.3 Erosión según cuencas hidrográficas

A nivel de cuenca, la cuenca Güija aporta el 20% de la producción de sedimentos anuales en la vertiente, sin ser la más extensa en territorio, así como la cuenca Los Esclavos con un 15%, esto nuevamente debido a las condiciones de topografía y uso de la tierra, donde predomina la vegetación arbustiva baja o Güamil. Además, en cuanto a la velocidad de degradación de las cuencas, se tiene que la cuenca Coatán es la que presenta una tasa superior a las 2,000 t/ha/año en contraste con la cuenca del río Acomé, donde se presenta una tasa de erosión de 60 t/ha/año, explicando esta variación principalmente en el relieve, siendo en la cuenca de Coatán pendientes pronunciadas y la cuenca Acomé, una cuenca de pendientes planas.



**Figura 2:** erosión hídrica en la vertiente del Pacífico al año 2021, modelada con la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo -USLE-, por sus siglas en inglés.

En el cuadro 7, se observan los aportes por cuenca hidrográfica, así como las tasas de degradación de cada cuenca:

**Cuadro 7.** Erosión por cuenca, en la vertiente del Pacífico.

CUENCA	Área (ha)	Sedimentos (t)	Tasa erosión (t/ha/año)
Río Coatán	25,561.53	60,622,524.85	2,371.63
Río Olopa	29,375.87	41,353,602.84	1,407.74
Río Ostúa Gûija	209,881.67	255,605,933.21	1,217.86
Río Suchiate	100,192.50	93,697,262.35	935.17
Río Paz	169,144.65	154,302,106.66	912.25
Río Los Esclavos	226,988.01	193,044,978.75	850.46
Río Naranjo	125,910.18	69,040,912.52	548.33
Río Samalá	159,624.83	76,331,717.15	478.19
Lago de Atitlán	53,670.78	24,357,683.49	453.84
Río Nahualate	169,847.33	66,512,984.92	391.60
Río María Linda	245,740.19	86,124,327.69	350.47
Río Achiguate	121,924.33	36,079,121.91	295.91
Río Coyolate	176,982.32	45,040,765.82	254.49
Río Madre Vieja	87,001.49	16,815,306.71	193.28
Río Ocosito	191,611.15	35,664,054.16	186.13
Río Sis-Icán	101,898.02	14,751,056.71	144.76
Río Paso Hondo	78,839.46	8,893,137.70	112.80
Río Acomé	88,226.33	5,321,557.87	60.32

## IV. Conclusiones y recomendaciones

1. De los 23,624.21 km<sup>2</sup> de área en estudio, el 59% del área de la vertiente presenta tasas de erosión fuertes a muy fuertes (> 50 t/ha/a).
2. La tasa promedio de erosión hídrica es de 543 t/ha/a, siendo más baja que la presentada por MARN 2009, de 710 t/ha/a; se recomienda validar la información con métodos directos o de campo.
3. La tasa de erosión más alta se presenta en la cuenca del río Coatán la cual es superior a 2,000 t/ha/a esto, principalmente por el relieve de la cuenca, en comparación con otras que presentan pendientes más planas.
4. Se recomienda considerar esta información como insumo para la formulación de los planes de manejo de cuencas, especialmente en lo relacionado a la conservación y restauración de suelos, como fuente de riqueza para la sociedad guatemalteca.
5. Para estudios de mayor detalle o casos puntuales a nivel local se recomienda la implementación de métodos directos que involucren la erosión en campo. Esto, considerando que este estudio es una estimación a nivel regional.
6. Se recomienda prestar especial atención a las áreas con cultivos de granos básicos, café y matorrales, las que representan el 37.23% del área de la vertiente pero aportan 75.32% de los sedimentos.
7. Se recomienda socializar y divulgar el presente estudio, para orientar a los tomadores de decisiones en cada territorio, según los diferentes niveles de administración y gestión tanto pública como privada.

## V. Referencias

1. Almorox, J.; López, F. y Rafaelli, S. 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Universidad de Murcia. 384 p.
2. 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.
3. FAO-PNUMA-UNESCO. 1981. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Memoria y mapas. Roma.
4. 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/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)
5. 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>.
6. 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>
7. 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.
8. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). 2016. Riesgo potencial a erosión hídrica para la planificación del manejo y conservación de suelos de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala. 15 p.
9. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). 2022. Red de estaciones meteorológicas ICC. Consultado el 18 de Julio de 2022. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/>
10. 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>
11. Leiva P., J. M. 2016. Pérdida acelerada de tierras agrícolas en Guatemala. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, FAUSAC. 12 p.
12. 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.

- 13.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.
- 14.\_\_\_\_\_. 2013a. Estudios semidetallado de suelos del departamento de Sacatepéquez, formato vector. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo/Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- 15.\_\_\_\_\_. 2013b. Estudios semidetallado de suelos del departamento de Sololá, formato vector. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo/Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- 16.\_\_\_\_\_. 2017. Estudios semidetallado de suelos del departamento de Guatemala, formato vector. Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo/Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- 17.\_\_\_\_\_. 2021. Determinación de la Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a escala 1:50,000 de la Republica de Guatemala, año 2,020. 260 p.
- 18.MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2009. Informe ambiental del estado: GEO Guatemala. Guatemala, MARN. 286 p.
- 19.Mitchell, J. K. y Bubenzer, G. D. 1984. Estimación de la pérdida del suelo. México. D. F. Limusa. 35-88 p.
- 20.Rivera, P.J.H. y A.A. Gómez. 1991. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Cenicafé 42(2): 37-52.
- 21.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.
- 22.UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2010. Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas: Volumen 1. PHI-LAC (Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe). 144 p.
- 23.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.

## VI. Anexos

**Cuadro 8.** Erosión según usos de la tierra en vertiente del Pacífico.

USO DE LA TIERRA	ÁREA (ha)	% ÁREA	SEDIMENTOS TOTALES (t)	TASA EROSIÓN (t/ha/año)	% SEDIMENTOS
Granos básicos (maíz y frijol)	229,591.69	10.50%	421,840,605.13	1,837.35	32.91%
Café	316,409.99	14.46%	281,548,893.52	889.82	21.96%
Vegetación arbustiva baja (matorral y/o guamil)	268,325.39	12.27%	262,097,681.83	976.79	20.45%
Otras hortalizas (papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga y otros)	41,286.51	1.89%	38,739,519.91	938.31	3.02%
Hule	97,914.76	4.48%	38,268,312.57	390.83	2.99%
Caña de azúcar	321,037.92	14.68%	35,027,485.69	109.11	2.73%
Rocoso o lavas	6,744.67	0.31%	34,049,836.94	5,048.41	2.66%
Espacio con vegetación escasa (tierras desnudas y degradadas)	3,887.57	0.18%	31,357,102.47	8,065.99	2.45%
Árboles dispersos	20,806.20	0.95%	25,937,402.37	1,246.62	2.02%
Café y banano	10,120.01	0.46%	16,734,197.33	1,653.58	1.31%
Huerto	23,733.38	1.08%	14,751,375.63	621.55	1.15%
Bosque mixto	123,228.43	5.63%	11,782,699.27	95.62	0.92%
Piña	9,884.43	0.45%	10,091,214.99	1,020.92	0.79%
Pasto natural	296,046.36	13.53%	10,000,973.80	33.78	0.78%
Bosque latifoliado	136,306.58	6.23%	9,437,353.13	69.24	0.74%
Playas, dunas o arenales	3,125.93	0.14%	5,371,047.79	1,718.23	0.42%
Macadamia	3,981.13	0.18%	5,159,728.26	1,296.05	0.40%
Bosque de coníferas	32,440.82	1.48%	4,535,959.46	139.82	0.35%
Palma de aceite	39,977.75	1.83%	4,338,668.70	108.53	0.34%
Café y macadamia	5,397.21	0.25%	3,236,316.12	599.63	0.25%
Zonas de extracción minera (canteras)	1,273.88	0.06%	2,951,757.08	2,317.13	0.23%
Mango	11,582.03	0.53%	2,644,535.22	228.33	0.21%
Tabaco	26,362.35	1.21%	2,212,514.03	83.93	0.17%
Jocote	1,052.96	0.05%	1,732,524.72	1,645.39	0.14%
Tomate	3,265.63	0.15%	1,480,693.76	453.42	0.12%

USO DE LA TIERRA	ÁREA (ha)	% ÁREA	SEDIMENTOS TOTALES (t)	TASA EROSIÓN (t/ha/año)	% SEDIMENTOS
Mashán	463.16	0.02%	1,293,126.42	2,791.95	0.10%
Café y aguacate	1,977.41	0.09%	943,774.43	477.28	0.07%
Cacao	1,105.76	0.05%	544,762.40	492.66	0.04%
Pasto cultivado	52,534.85	2.40%	504,978.49	9.61	0.04%
Banano-Plátano	60,804.25	2.78%	492,461.58	8.10	0.04%
Melón	4,577.15	0.21%	473,593.21	103.47	0.04%
Mosaico de cultivos	819.63	0.04%	445,978.17	544.12	0.03%
Plantación de conífera	9,614.88	0.44%	307,586.72	31.99	0.02%
Arroz	4,491.97	0.21%	278,326.70	61.96	0.02%
Café y hule	768.24	0.04%	270,210.89	351.73	0.02%
Zona quemada	27.47	0.00%	213,767.04	7,781.13	0.02%
Cítricos	2,739.65	0.13%	171,266.24	62.51	0.01%
Flores y follajes	630.18	0.03%	116,309.60	184.57	0.01%
Mangostán	81.20	0.00%	80,261.63	988.41	0.01%
Aguacate	3,317.06	0.15%	73,665.91	22.21	0.01%
Cardamomo	53.06	0.00%	67,684.39	1,275.74	0.01%
Plantación de latifoliada	6,734.63	0.31%	63,786.58	9.47	0.005%
Otros cultivos permanentes arbóreos	81.07	0.00%	42,497.26	524.22	0.003%
Café y cacao	58.79	0.00%	42,122.40	716.46	0.003%
Mora	88.38	0.00%	26,358.70	298.24	0.002%
Loroco	11.00	0.00%	24,605.11	2,236.32	0.002%
Hule y cacao	30.96	0.00%	21,096.87	681.42	0.002%
Sandía	999.07	0.05%	19,880.86	19.90	0.002%
Coco	431.96	0.02%	16,682.62	38.62	0.001%
Fresa	16.81	0.00%	13,561.01	806.84	0.001%
Rambután	786.56	0.04%	10,099.00	12.84	0.001%
Pashte	154.98	0.01%	8,630.81	55.69	0.001%
Uva	8.55	0.00%	6,406.55	749.30	0.0005%
Frutales decíduos	268.11	0.01%	6,215.61	23.18	0.0005%
Papaya	109.35	0.00%	3,087.41	28.23	0.0002%
Pejibaye	5.72	0.00%	2,802.71	490.41	0.0002%



**Instituto Privado de Investigación  
sobre Cambio Climático**

[www.icc.org.gt](http://www.icc.org.gt)

ISBN 978-9929-8208-7-6



9 789929 820876