

Artículo Científico

Impacto del cambio de uso de la tierra en la producción de sedimentos, en la parte alta de la cuenca del río Pixcayá, usando la ecuación MUSLE para los años 2003 y 2012

Manuel Fernando Luna Lemus

Ingeniero Agrónomo, MSc en Estudios Ambientales

MSc en Recursos Hidráulicos Opción en Gestión Integrada de Recursos Hídricos ERIS-USAC, Guatemala.

Dirección para recibir correspondencia: mfluna12@gmail.com

Recibido el 18 de agosto de 2016 Aceptado 19 de julio de 2017

Resumen

En la parte alta de la cuenca del río Pixcayá, se observa el aumento de áreas utilizadas para actividades agrícolas (sin prácticas de conservación de suelos) en zonas que presentan pendientes no aptas para la agricultura, lo cual causa erosión hídrica, que implica pérdida o degradación de los suelos por el arrastre de sedimentos hacia los cuerpos de agua. En el presente artículo muestra la producción de sedimentos resultado del cambio de uso de la tierra, en base a la ecuación modificada de pérdida de suelo MUSLE por sus siglas en Inglés, aplicando Sistemas de Información Geográfico –SIG-. Se utilizó información de uso de la tierra de los años 2003 y 2012. Los resultados obtenidos indican que, para los años estudiados, en la parte alta de la cuenca del río Pixcayá, se incrementaron las áreas agrícolas en 6.90 km² y las áreas pobladas en 4.87 km² y que la producción de sedimentos se incrementó en 61%, pasando de doscientas treinta y cinco mil toneladas en 2003 a trescientas ochenta y seis mil toneladas en 2012. En la cuenca del río Pixcayá el uso de la tierra tiene una relación directa con la producción de sedimentos, ya que influye en la variación del número de curva (proporción de agua escurrida para un área dada) y en el factor C (la resistencia que ofrece la cobertura del suelo a la erosión).

Palabras clave: curva número, erosión, sedimentos, sistemas de información geográfica.

Abstract

In the higher part of the Pixcayá river basin, there is an increase in areas used for agricultural activities (without soil conservation practices) in areas with slopes not suitable for agriculture, which causes water erosion, which implies loss or degradation of the soils by the dragging of sediments towards the bodies of water. In the present article, the production of sediments resulting from the change of land use, based on the modified equation of loss of soil MUSLE by its acronym in English, applying Geographic Information Systems -GIS-. Land use data from 2003 and 2012 were used. The results indicate that, for the years studied, in the upper part of the Pixcayá river basin, agricultural areas increased by 6.90 km² and areas populated by 4.87 km² and that sediment production increased by 61%, from two hundred and thirty-five thousand tons in 2003 to three hundred and eighty-six thousand tons in 2012. In the watershed of the Pixcayá river land use has a direct relationship with the production of sediments, as it influences the variation of the number of curve (proportion of water drained for a given area) and factor C (the resistance offered by soil cover to erosion).

Key words: Curve Number, erosion, sediments, geographic information system.

Introducción

El artículo tiene como objetivo determinar si el cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Pixcayá incide en la producción de sedimentos, utilizando la información de uso de la tierra para los años 2003 y 2012 disponibles en formato raster.

Se realizó una modelación de la producción de sedimentos en la parte alta de la cuenca del río Pixcayá, usando como base el estudio realizado por (Luna, 2016). Los diversos estudios realizados en la cuenca del río Pixcayá, en los últimos 25 años, denotan la importancia estratégica que tiene la

cuenca, ya que abastece de agua a la ciudad de Guatemala.

La metodología se basa en la aplicación de la ecuación MUSLE y el uso de sistemas de información geográfico, permitiendo el análisis de las variables a un nivel espacial de detalle, de acuerdo a la resolución de las diferentes capas utilizadas.

Los resultados muestran que los cambios en el uso de la tierra, principalmente la reducción de las áreas de bosque (0.80 km²) y el incremento de las zonas urbanas (5.0 km²), repercuten en un mayor

incremento de caudales, una mayor erosión y por consiguiente en el incremento de los sedimentos.

Antecedentes ubicación

La cuenca del río Pixcayá, es una subcuenca de la cuenca del río Motagua, que pertenece a la vertiente del mar Caribe. El área analizada se encuentra localizada en el departamento de Chimaltenango en el altiplano central de Guatemala y constituye la parte alta de la cuenca del río Pixcayá (Figura 1), la geomorfología presenta las regiones fisiográficas: Altiplano hidro-volcánico y Montaña volcánico-erosional.

La superficie del área analizada es de 156 km², con un perímetro de 64 kilómetros, hasta el punto de la presa El Tesoro. Según INE (2003) al momento del censo 2002 en la cuenca habían 43,555 habitantes. De acuerdo a la proyección de población, en 2012 habían 58,090 habitantes.

La parte alta de la cuenca del río Pixcayá se considera estratégica, ya que forma parte de la zona de aportación del proyecto Xayá-Pixcayá, que suministra 140,000 m³/día de agua a la ciudad de Guatemala, que constituye el 39% del agua que abastece la Empresa Municipal de Agua –EMPAGUA- (Municipalidad de Guatemala, 2014).

Dada su importancia, existen varias investigaciones de la zona de aportación del proyecto Xayá- Pixcayá, entre las que se encuentran, un diagnóstico físico realizado por (Granados, 1983), (Alvarado et al., 1988) realizaron un diagnóstico como parte de una priorización que se realizó de cuencas a nivel nacional, MAGA (2001), elaboró un diagnóstico y un plan estratégico de la cuenca, (Rosales, 2005) hace un estudio de la disponibilidad de agua subterránea en la parte alta de la cuenca del río Pixcayá, (IARNA & TNC, 2013) hacen un diagnóstico del abastecimiento de agua en la ciudad de Guatemala aplicando el modelo Water Evaluation and Planning System –WEAP-, desarrollado por el Stockholm Environment Institute, en el estudio se consideraron

también otras fuentes de agua, (Luna, 2015) centra su estudio en la cuenca del río Pixcayá, estimando la erosión hídrica en 120 T/(ha*año)⁻¹ y la producción de sedimentos en 11 T/(ha*año)⁻¹ aplicando las herramientas SIG.

La carga de sedimentos influye en el detrimento de la calidad del agua, por el incremento de la masa sólida y principalmente por el incremento de sustancias químicas asociadas a las partículas coloidales (Luna, 2015).

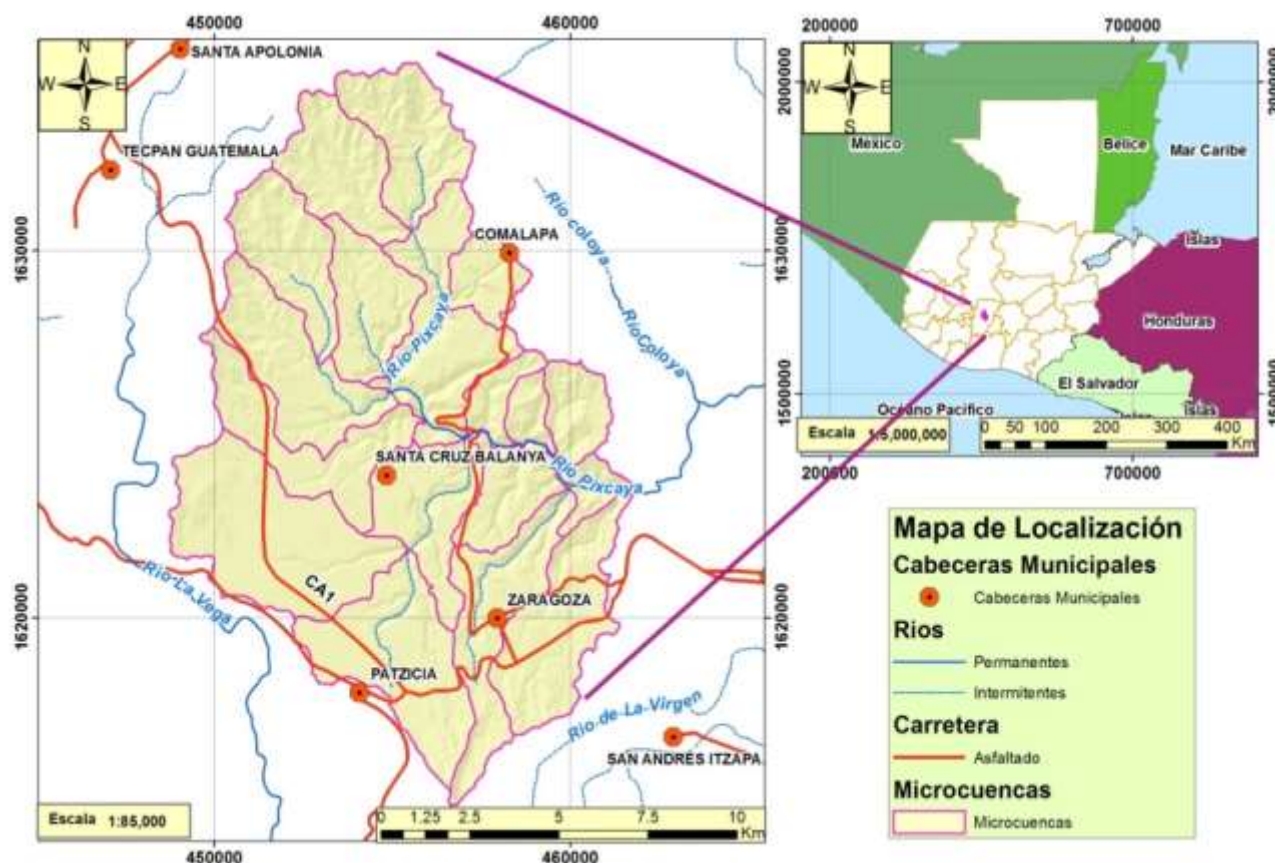
Metodología

La metodología permite analizar el efecto que tiene el uso de la tierra en la producción de sedimentos a nivel de cuenca, considerando dos años: a) el 2003, con el mapa de Uso de la Tierra, publicado por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación en formato Raster, elaborado con imágenes Landsat 7 de 2002 y 2003, con una resolución de 30 metros por pixel (MAGA, 2006), b) el 2012, con el mapa de uso de la tierra generado por el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra, el cual se basó principalmente en imágenes Rapid-Ey, del satélite Spot con una resolución de 5 metros por pixel (GIMBOT, 2014). (Ver Figura 2).

Los Sistemas de Información Geográfica, permiten la realización de operaciones a variables espaciales (por medio de la herramienta de álgebra de mapas), con lo cual se logra obtener resultados con un alto nivel de detalle, ofreciendo ventajas importantes en comparación con los métodos tradicionales de asignar valores generales a toda una microcuenca.

En la investigación se utilizó la herramienta Arcgis 10.3.

Figura 1. Localización del área de estudio.



La producción de sedimentos fue calculada a nivel de microcuencas, con base a la clasificación de 18 microcuencas de la parte alta de la cuenca del río Pixcayá.

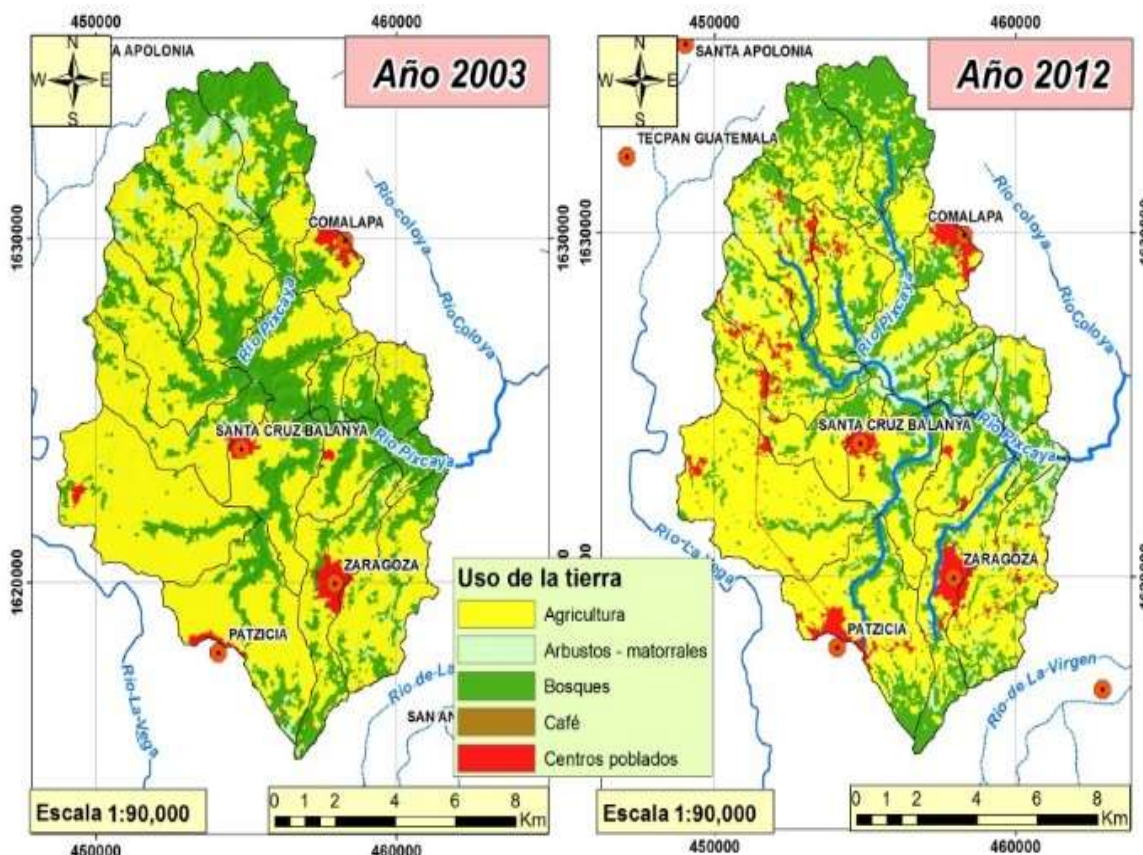
El modelo empleado para el cálculo de la producción de sedimentos se basó en la ecuación universal de pérdida de suelo modificada –MUSLE–, en la cual se cambia el factor R (erosividad de la lluvia) por los factores: volumen total escurrido (Q) y caudal pico (qp). Esta ecuación puede ser utilizada para estimar la producción de sedimentos diaria, mensual y anual Williams and Berndt, (1976), citado por (Williams, 1977). La ecuación es expresada como:

$$Y = 11.8(Q * q_p)^{0.56} K L S C P \quad (1)$$

En donde:

- Y= Sedimentos aportados a una sección del cauce para un período de tiempo (tormenta, día semana, mes, etc) determinada sobre la cuenca (T/ha).
- Q = Volumen total escurrido en el período utilizado (m³)
- qp = Caudal pico (m³/s)
- K = Erodabilidad del suelo [(T/ha) * (MJ*mm/ha/h)]
- L = Longitud de la pendiente (adimensional)
- S = Grado de la pendiente (adimensional)
- C = La resistencia que ofrece la cobertura del suelo a la erosión (adimensional)
- P = Prácticas mecánicas de control de la erosión (adimensional).

Figura 2. Comparación de mapas de uso de la tierra simplificados año 2003 y 2012.



Para la estimación de caudales a nivel de microcuenca se empleó el método de número de curva (Mockus, 1969). Los valores de NC fueron determinados con la herramienta de álgebra de mapas, usando las capas de grupo hidrológico de suelos y el uso del suelo.

El mapa de grupo hidrológico de suelo, se determinó a partir del mapa de taxonomía de suelos del departamento de Chimaltenango, (MAGA, 2010), utilizando las propiedades de textura del suelo y siguiendo la clasificación establecida por el servicio de Conservación de Suelos citada por (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Para el uso de la tierra se emplearon las capas de uso de la tierra del año 2003 y la capa de uso de la tierra del año 2012.

Con la interacción de las dos capas anteriores se obtuvieron los valores de uso de la tierra y grupo hidrológico de suelos, con lo cual se asignó el número de curva de acuerdo las tablas existentes.

Los datos de lluvia fueron obtenidos a partir del mapa de distribución espacial de lluvia media mensual para el período de 1965 a 2011 del (INSIVUMEH, 2014), el mapa fue elaborado a partir de estaciones a nivel nacional con registro para el período analizado. En la cuenca se encuentra la Estación de Santa Cruz Balanyá.

El valor medio del factor K (erodabilidad), para la cuenca es de 0.02846 [(T/ha) * (MJ*mm/ha/h)], sin embargo, el estudio comprendió los valores específicos para cada subcuenca (Luna, 2015).

El factor K depende directamente de las propiedades del suelo y por lo tanto no tiene variación con el uso de la tierra. Se utilizaron los resultados obtenidos por (Luna, 2015), basados en el modelo de elevación digital de la república de Guatemala, con una resolución 15 metros por pixel (MAGA, 2007). (Tabla 1).

Tabla 1. Factores K, LS ponderados por microcuenca.

Microcuenca	K	LS
Río Chicoj	0.027	4.43
Pixcaya Alto	0.033	6.02
Xetomax	0.032	5.52
Comalapa	0.023	2.87
Panabajal	0.025	3.88

Para el factor C se adaptaron los valores establecidos por (Lianes, Marchamalo, & Soriano, 2009), ya que fueron aplicados en una cuenca con similares condiciones (Tabla 2).

Tabla 2. Factor C empleado de acuerdo con los diferentes usos de la tierra.

CATEGORIAS	Factor C
Urbano (poblados)	0.001
Bosques	0.037
Cuerpos de agua	0.001
Agricultura anual	0.519
Pastizales	0.015
Espacios abiertos, sin o con poca vegetación	0.100
Cultivos permanentes herbáceos	0.450
Cultivos permanentes arbóreos	0.300
Vegetación arbustiva baja (guamil-matorral)	0.459
Arboles dispersos	0.459
Café	0.300

El factor P no fue aplicado, ya que no se identificaron prácticas de conservación de suelos generalizadas en la cuenca del río Pixcayá (Luna, 2015). Se determinó el valor medio de cada factor para cada una de las microcuencas aplicando la herramienta de análisis espacial, del software ArcGis (ESRI, 2012). Los resultados obtenidos fueron tabulados, graficados y presentados espacialmente.

Resultados

Para los años analizados el uso de la tierra presentó diferencias importantes, especialmente en la sustitución de áreas con bosque por cultivos anuales, ya que para el 2003 los usos agrícolas sumaron 95.96 km² y para el 2012, presentaron un valor 102.86 km². El incremento de las áreas agrícolas lleva implícita la reducción de las áreas con bosque. Usando el mapa de (INAB, CONAP, UVG, & URL, 2012), se determinó que para la cuenca del río Pixcayá, entre el 2006 y el 2010 se había perdido 0.80 km² de áreas cubiertas con bosque. Las áreas urbanas tuvieron una expansión significativa ya que pasaron de 3.30 km² en 2003 a 8.01 km² en 2012, (figura 2).

El uso de la tierra en el modelo tiene dos efectos principales: el primero está relacionado con los valores de la curva número y por ende el volumen escurrido y los caudales pico que se pueden esperar; el segundo efecto incide en el factor C, el cual es el factor que representa la resistencia que ofrece la cobertura vegetal a la erosión.

El valor del número de curva (condición II), para los años analizados, presenta un incremento en la mayoría de las microcuencas (tabla 3), con lo cual se tiene un incremento en el escurrimiento. Las magnitudes de los cambios van desde -0.3 para la microcuenca del río Chicoj, hasta 8.38 para la microcuenca Pixcayá Bajo. En promedio el cambio en el valor de curva número fue de 2.14 y la desviación estándar de 2.20. Los cambios en el volumen de agua escurrida se dieron en las cuencas con el mayor cambio en los valores de curva número (Figura 3).

La estimación de la producción de sedimentos realizada para el 2003 fue de 14.2 T/ha y para el 2012 incrementó a 23.42 T/ha, representando un incremento cercano al 60% en menos de una década (Figura 4). Los resultados a nivel de toda la cuenca muestran un cambio en la producción de sedimentos de doscientas mil toneladas en 2003 a trecientas sesenta y cinco mil toneladas en 2012.

Figura 3. Volumen de agua escurrida en millones de metros cúbicos al año, por microcuenca.

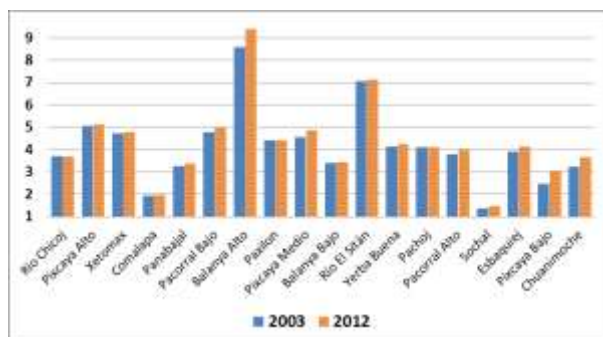


Tabla 3. Comparación de los valores de la CN para los años 2003 y 2012 a nivel de las microcuencas.

Microcuenca	2003	2012	Variación NC
Río Chicoj	71.1	70.8	-0.3
Pixcaya Alto	76.9	77.5	0.6
Xetomax	77.3	78.0	0.7
Comalapa	77.4	78.7	1.3
Panabajal	73.0	74.7	1.7
Pacorral Bajo	72.7	74.5	1.8
Balanya Alto	71.0	75.2	4.2
Paxilon	74.9	75.1	0.2
Pixcaya Medio	72.4	75.2	2.8
Balanya Bajo	75.4	76.0	0.6
Río El Sitán	73.6	74.1	0.5
Yerbabuena	71.9	73.1	1.2
Pachoj	71.2	71.5	0.3
Pacorral Alto	69.6	72.0	2.4
Sochal	64.2	69.3	5.1
Esbaquej	71.7	74.1	2.4
Pixcaya Bajo	56.9	65.2	8.3

Microcuenca	2003	2012	Variación NC
Chuanimoche	65.7	70.3	4.6

A nivel de microcuencas la producción de sedimentos mostró variaciones significativas, para el 2012 se observaron incrementos que llegaron a más del 100% (Figura 4), en comparación con los valores encontrados en 2003. El análisis de la producción de sedimentos mensual para la parte alta de la cuenca del río Pixcaya, muestra que los incrementos se generan principalmente en los meses de junio y octubre, considerados como los meses en los que se reportan los mayores picos de lluvia como se puede observar en la Figura 5. La distribución espacial se observa en la Figura 6 siendo las microcuencas Sochal, Chuanimoche y Pixcaya Bajo las que presentan los mayores incrementos.

Figura 4. Producción de sedimentos por microcuenca T/año.

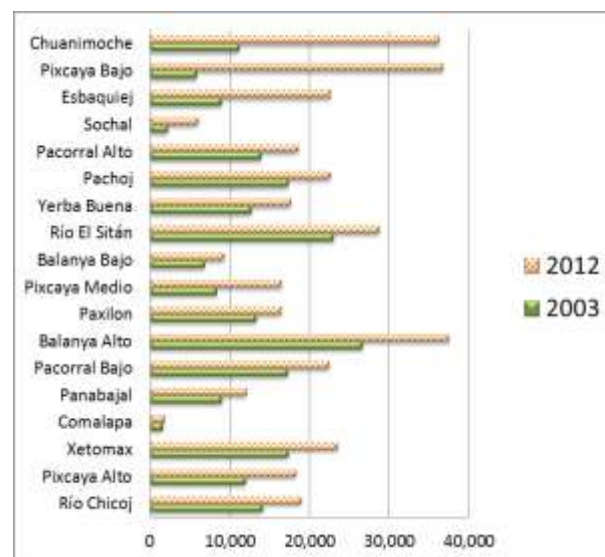
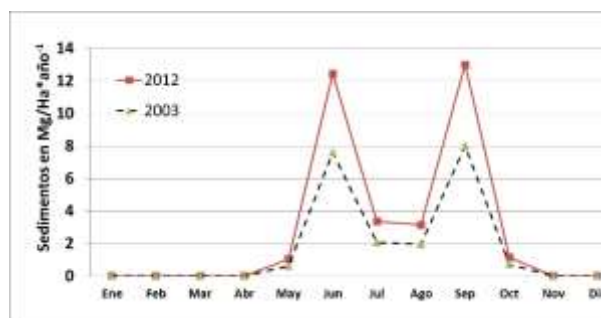


Figura 5 Comparación de la producción mensual de sedimentos en T/ha/año.



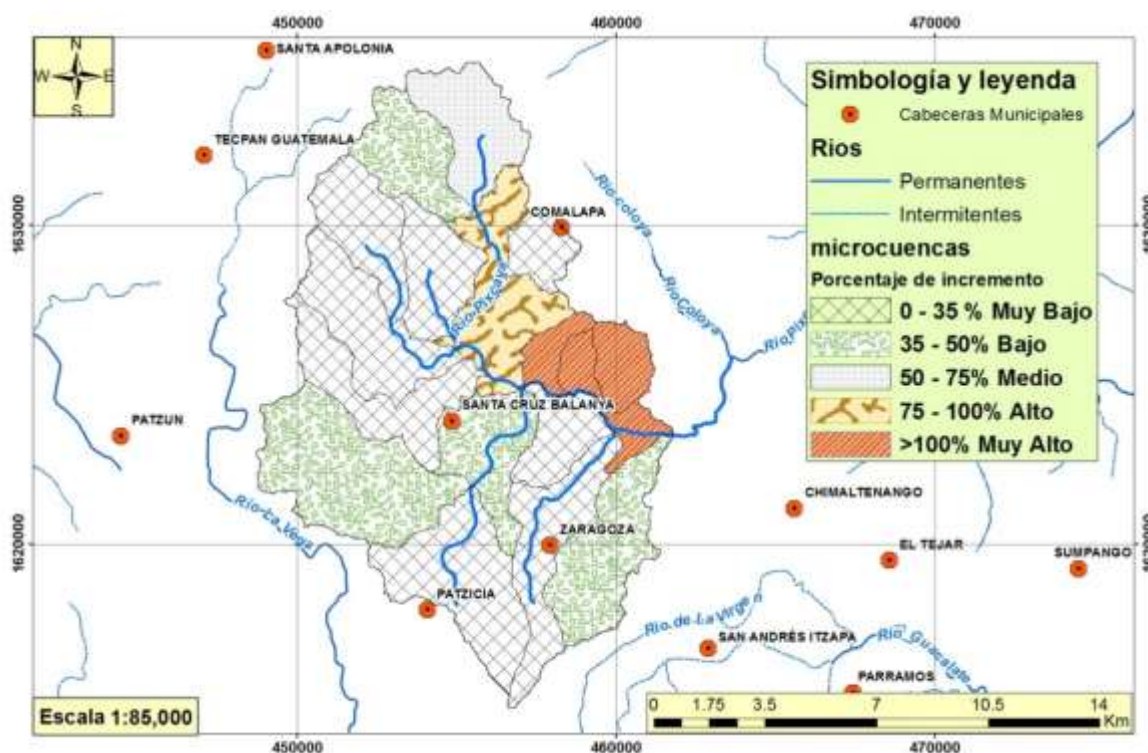
Análisis de los resultados

El modelo empleado para la estimación de sedimentos se basó en la ecuación universal perdida de suelo modificada -MUSLE- (Williams, 1977). La ecuación considera la fracción del suelo perdido que llega a conformarse como sedimentos, sin hacer una diferenciación del tipo de sedimento, no considera los

sedimentos del lecho; se basa en factores físicos que son determinantes para el aporte de sedimentos.

El uso de la tierra incide directamente en dos factores: 1) En el valor del número de curva, y por consiguiente en el volumen escurrido, así como en, el caudal pico; 2) el factor de cobertura "C" relacionado directamente con el uso de la tierra, el cual relaciona la resistencia que ofrece la cobertura de la tierra a la erosión.

Figura 6. Incrementos en porcentaje a nivel de microcuenca en la producción de sedimentos.



En la cuenca las áreas cubiertas con bosque disminuyeron para dar paso al incremento de las zonas agrícolas. Las nuevas áreas agrícolas se localizan principalmente en sitios con pendientes no aptas para la agricultura, lo cual hace que el proceso de erosión aumente, debido a la mayor energía del agua al escurrir. Las áreas urbanas (impermeabilizadas) pasaron de 3.30 km² en 2003 a 8.01 km² en 2012, es decir un incremento de más de 2.5 veces durante el período analizado. Las zonas impermeabilizadas inciden significativamente en el incremento de los escurrimientos (Fuentes, 2012).

Como se puede observar en la Figura 2 las microcuencas Sochal, Chuanimoche y Pixcayá Bajo, tuvieron disminución significativa de la cobertura vegetal entre el 2003 y el 2012, por lo tanto, se identifica la relación entre la disminución de la cobertura vegetal y el incremento en la producción de sedimentos.

La producción de sedimentos a nivel de la cuenca del río Pixcayá muestran un incremento cercano a ciento setenta y cinco mil toneladas entre el 2003 y el 2012.

El área analizada tiene una fuerte presión debido al incremento de la población, ya que se estimó una densidad de 394 habitantes por km², lo cual es más del doble del promedio nacional que es de 149 habitantes por km² (INE, 2012); de acuerdo a (INE, 2003) el 65% de la población económicamente activa, depende de la agricultura.

Diversos estudios relacionados con el cambio climático para Guatemala confirman que serán cada vez más frecuentes los episodios de lluvia intensa, los cuales, en las áreas que presentan erosión, aumentarán la producción de sedimentos. En el área estudiada este incremento puede ser mayor debido a la fragilidad de los suelos de origen volcánico, tomando en cuenta que en el periodo analizado el incremento en la producción de sedimentos fue cercano al 60%.

Conclusiones

El uso de la tierra tiene un efecto significativo en las variables que determinan la erosión hídrica y la producción de sedimentos, por lo tanto, el cambio de bosques a cultivos limpios incide significativamente en el incremento de la fracción de suelo erosionado, el cual constituye los sedimentos en suspensión.

La modelación permitió establecer que en la parte alta de la cuenca del río Pixcayá, el volumen de la producción de sedimentos se incrementó en un 60%, pasando de 235,000 toneladas en el año 2003 a 386,000 toneladas en el año 2012.

Las microcuencas localizadas al este de la parte alta de la cuenca del río Pixcayá presentan el mayor cambio en la cobertura y los mayores incrementos en el valor del número de curva y por consiguiente en la producción de sedimentos.

Las microcuencas presentaron un incremento medio en el valor del número de curva de 2.14, y una desviación estándar de 2.2.

La topografía es un factor importante que interviene en el proceso de producción de sedimentos, ya que microcuencas como Balanyá Alto, a pesar de tener un incremento importante en el número de curva (71.0 en 2003 y 75.2 en 2012), no presentó mayor incremento en la producción de sedimentos (incrementándose en 0.8 T/(ha*año), por ser una microcuenca en donde predominan las pendientes menores al 5%.

Los resultados muestran la necesidad de realizar acciones para revertir el proceso de degradación de la cuenca, que contribuyan a la sostenibilidad de los recursos contenidos en ella y de los servicios ambientales que provee dentro y fuera de sus límites.

La modelación de la producción de sedimentos realizada en la presente investigación es susceptible a mejorar por medio de la calibración de los datos obtenidos por medio de la obtención de valores de sedimentos diarios en diversos sitios de la cuenca.

Agradecimientos y reconocimientos.

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, por brindarme la oportunidad de profundizar en los temas vinculados con los recursos hídricos.

Referencias

- Alvarado, G., Barrientos, C., Cabrera, R., Castañeda, L., Hernandez, A., Lopez, F., . . . Basterrechea, M. (1988). Diagnóstico, subcuencas prioritarias piloto Xayá Pixcayá, Guatemala. Retrieved from Guatemala:
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill*
- ESRI. (2012). *Tutorial de Spatial Analyst*.
- GIMBOT, Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra. (2014). Mapa de bosques y uso de la tierra 2012 y Mapa de cambios en uso de la tierra 2001- 2010 para estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Granados, R. (1983). Diagnóstico Físico de las cuencas de los ríos Xayá y Pixcayá. (Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- IARNA, Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, & TNC, The Nature Conservancy. (2013). Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala. Retrieved from Guatemala:
- INAB, Instituto Nacional de Bosques, CONAP, Consejo Nacional de Areas Protegidas, UVG, Universidad del Valle de Guatemala, & URL, Universidad Rafael Landívar (Cartografía). (2012). Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010
- INE, Instituto Nacional de Estadística. (2003). XI Censo de población y IV de habitación 2002. Características de la población y de los locales de habitación censados. Guatemala.

INE, Instituto Nacional de Estadística. (2012). Caracterización de la república de Guatemala.

INSIVUMEH, Instituto de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Cartografía). (2014). Mapas Climáticos en formato Raster de Guatemala (Lluvia, Precipitación). <http://www.insivumeh.gob.gt/estacionesmet.html>

Lianes, E., Marchamalo, M., & Soriano, M. R. (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 Birris, Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 33(2), 217-235.

Luna, F. (2015). Determinación de la erosión hídrica con fines de Gestión en la cuenca del río Pixcayá. (Maestría en Ciencias), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0502_MT.pdf

Luna, F. (2016). Determinación de la erosión hídrica y la producción de sedimentos en la cuenca del río Pixcayá aplicando herramientas SIG. *Revista Investigaciones Universidad del Valle*, 32, 13.

MAGA, Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (2006). Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala Año 2003 (Incluye 5 cultivos permanentes actualizados al año 2005).

MAGA, Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (Cartographer). (2007). Modelo de Elevación Digital de la República de Guatemala

MAGA, Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (2010). Estudio Semidetallado de los Suelos del departamento de Chimaltenango, Guatemala . Vol. I). Guatemala.

Mockus, V. (1969). Hydrologic soil-cover complexes. *SCS National Engineering Handbook: Section 4. Hydrology*, 10.11-10.24.

Rosales, M. D. (2005). Disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en la cuenca del río Pixcayá, desde el puento Comalapa hasta la Finca El Tesoro, Chimaltenango Guatemala. (Maestría), Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Williams, J. (1977). Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. *IAHS Publ*, 122, 168-179.

Información del autor

Consultor con más de 18 años de experiencia en la gestión ambiental, manejo de recursos naturales y gestión del agua. Actualmente director de la firma Ambiente y Desarrollo Consultores, S.A. Profesor de la Maestría de Geomática, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Rafael Landívar, posee una maestría en Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala y una Maestría en Recursos Hidráulicos con opción en Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la USAC.