



RIESGO POTENCIAL A EROSIÓN HÍDRICA PARA LA PLANIFICACIÓN DEL MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA GUATEMALTECA

Autores:

Alma Lizeth Santos Pérez^{*}
Elmer Adolfo Orrego León^{*}

Recibido el 08 de septiembre de 2016.

Aprobado el 20 de septiembre de 2016.

* Investigadores del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-.

RESUMEN

Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), asociada a un sistema de información geográfica ArcGis 10[®] para predecir el riesgo potencial a erosión hídrica de los suelos de la agroindustria azucarera. El factor R (erosividad de la lluvia) se determinó analizando los registros de 19 estaciones meteorológicas automáticas administradas por el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-, distribuidas en la vertiente del Pacífico, generando además de los valores de R, modelos exponenciales para cada estación, los cuales explican la relación entre erosividad de la lluvia en función a datos diarios de precipitaciones, estos modelos se utilizaron para estimar los valores de R, de 20 pluviómetros cercanos a estas (3.8 Km, dependencia espacial de las precipitaciones, ICC 2016), con esta información se interpolaron los datos para generar un mapa de erosividad de las lluvias. Los factores K (erosividad de los suelos), C (cobertura vegetal, valor de 0.2258, para cultivo de caña de azúcar) y el LS (topográfico, longitud e inclinación de la pendiente), se tomaron de estudios anteriores generados por ICC (2014), al desconocer la ubicación y el tipo de prácticas de conservación de suelos implementadas en la zona, el factor P, fue considerado con un valor igual a 1.

De acuerdo a la clasificación de las pérdidas de suelo propuestas por FAO, PNUMA-UNESCO (1981), de las 294,461.25 hectáreas analizadas, bajo el cultivo de caña de azúcar, el 37.84% está en un nivel de erosión leve a nula (<10 T/Ha/año), el 18.33% en un nivel moderado (10 – 50 T/Ha/año), el 31.60% en un nivel fuerte (50 – 200 T/Ha/año) y el 12.24% en un nivel muy fuerte (> 200 T/Ha/

año). Ingenios azucareros están utilizando esta información para generar y validar los planes de manejo y conservación de suelos de sus áreas de cultivo.

Palabras clave: riesgo potencial a erosión hídrica, manejo y conservación de suelos, Agroindustria Azucarera, USLE, SIG.

ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (USLE, for its acronym in English), associated with a geographic information system ArcGIS ® 10 was used to predict the potential risk to water erosion of soils in the sugar industry. The R factor (rainfall erosivity) was determined by analyzing the records of 19 automatic weather stations operated by the Private Research Institute on Climate Change -ICC- and located across the Pacific slope, generating besides the R values, exponential models for each station, which explain the relationship between rainfall erosivity based on daily precipitation data. These models were used to estimate the R values of twenty nearby rain gauges (3.8 km, spatial dependence on rainfall, ICC 2016), with this information the data was interpolated to generate a map of erosivity of rainfall. The K (erodibility of soils), C (vegetation cover, value of 0.2258 for growing sugar cane) and LS (topographic, length and inclination of the slope) factors were taken from previous studies generated by ICC (2014). Because of not knowing the location and type of soil conservation practices implemented in the area, the P factor, was considered with a value of 1.

According to the classification of soil losses proposed by FAO, UNEP-UNESCO (1981), of the 294,461.25 hectares analyzed under sugar cane cultivation, 37.84% have a level from slight erosion to zero (<10 T / ha / year), 18.33% have a moderate level (10-50 t / ha / year), 31.60% a strong level (50-200 t / ha / year) and 12.24% a very strong level of erosion (> 200 T / ha / year). Sugar mills are using this information to generate and validate management and soil conservation plans in their sugar cane cultivation areas.

Keywords: irrigation potential water erosion, management and soil conservation, Sugar Industry, USLE, GIS.

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), sin embargo, generalmente, los métodos actuales de la agricultura aceleran la erosión de los suelos, tales actividades pueden romper el equilibrio de la materia orgánica que se encuentra en éste, agotándose la cantidad de carbono que la tierra es capaz de almacenar, lo que produce que el carbono se convierta en dióxido de carbono, un gas del efecto invernadero que es el principal contribuyente al calentamiento global (INMAC 2012).

Gil R (2014), indica que el suelo es considerado un recurso natural no renovable, por los cientos de años que requiere para formarse de manera natural y lo difícil y costoso que resulta recuperarlo, su degradación pone en riesgo la viabilidad de las actividades agropecuarias y forestales y de la misma sociedad. Reportan que Guatemala en el 2009, perdió más de 274 millones de toneladas métricas de suelo fértil debido a erosión hídrica; siendo la vertiente del Pacífico 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).

Bajo el enfoque de desarrollo sostenible, miembros de la Agroindustria Azucarera (AIA), están implementando estructuras de conservación

de suelos, en 2,015 se tenían más de 7,000 hectáreas con acequias de ladera, y para contribuir a una mejor gestión de los suelos de la zona, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-, ha estado realizando estudios para estimar las tasas de erosión, por lo tanto el generar cartografía actualizada y detallada sobre el riesgo potencial a erosión hídrica contribuirá a la planificación del manejo y conservación de los suelos de la AIA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la aplicación del método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos de Wischmeier y Smith (1978), en la zona de cultivo de la Agroindustria Azucarera, se trabajó de 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.

Para el factor R (erosividad de la lluvia), se analizaron más de 4 millones de datos sobre precipitaciones acumuladas cada 15 minutos de 19 estaciones meteorológicas, con registros de entre 5 y 8 años (cuadro 1):

Cuadro 1: Estaciones meteorológicas analizadas.

| No. | Estación | Periodo | X | Y |
|-----|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | Bonanza | 2008-2015 | -91.18719 | 14.078404 |
| 2 | Bouganvilia | 2008-2015 | -90.94138 | 14.119968 |
| 3 | Cengicaña | 2008-2015 | -91.05421 | 14.329953 |
| 4 | El Bálsamo | 2008-2015 | -91.00306 | 14.280382 |
| 5 | Irlanda | 2008-2015 | -91.42677 | 14.145953 |
| 6 | Puyumate | 2008-2015 | -91.26055 | 14.261646 |
| 7 | San Antonio el Valle | 2008-2015 | -91.20096 | 13.995364 |
| 8 | Tehuantepec | 2008-2015 | -91.10352 | 14.16707 |
| 9 | Trinidad | 2008-2015 | -90.84388 | 14.153752 |
| 10 | Amazonas | 2009-2015 | -90.7698 | 14.066691 |
| 11 | Costa Brava | 2009-2015 | -90.92074 | 14.237773 |
| 12 | Peten Oficina | 2009-2015 | -91.41191 | 14.260511 |
| 13 | San Rafael | 2010-2015 | -90.63334 | 14.024277 |
| 14 | Lorena | 2011-2015 | -91.41872 | 14.520305 |
| 15 | Naranjales | 2011-2015 | -91.47753 | 14.365065 |
| 16 | Tululá | 2011-2015 | -91.58676 | 14.508232 |
| 17 | San Nicolás | 2013-2015 | -91.60356 | 14.184557 |
| 18 | Trinidad Magdalena | 2013-2015 | -90.2582 | 13.932043 |
| 19 | Xolula | 2013-2015 | -91.86306 | 14.477189 |

Fuente: ICC 2,016a.

Para obtener la energía erosiva de las lluvias se basó en la siguiente metodología²: 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, por lo tanto para la determinación de la intensidad máxima en 30 minutos por evento de lluvia (parte de la curva en el pluviograma con mayor pendiente), en una porción de tiempo equivalente a treinta minutos consecutivos. El resultado obtenido se multiplicó por dos para expresar los datos en milímetros por hora.

La energía cinética se calculó a través de los registros pluviométricos diarios, los cuales se dividieron en segmentos donde se asumió que la intensi-

² Salguero, M. 2009. Ecuación universal de pérdida del suelo (EUPS). FAUSAC.

dad 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:

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

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^3 para cada evento de lluvia. Los valores EI de la época lluviosa por un periodo de tiempo variable (entre 5 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 (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica). Para la clasificación de la erosividad de las lluvias, se utilizó la propuesta por Rivera, J. H (1991):

Cuadro 2: Clasificación de la erosividad.

| 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 Energías unitarias por segmento de lluvia (MJ/ha).

Los factores K (erosividad de los suelos), C (cobertura vegetal, valor de 0.2258, para cultivo de caña de azúcar, según Santos P, A. L. 2014) y el LS (topográfico, longitud e inclinación de la pendiente), se tomaron de estudios anteriores generados por ICC (2014), dónde para generar la cartografía del factor K, se utilizó información del estudio semidetallado de suelos del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), mientras que para el factor LS se utilizó un Modelo de Elevación Digital, generado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), al desconocer la ubicación y el tipo de prácticas de conservación de suelos implementadas en la zona, el factor P, fue considerado con un valor igual a 1.

Para la modelación del potencial de riesgo a erosión hídrica se utilizó la herramienta SIG ArcGis 10 ® de ESRI, donde se utilizaron las siguientes aplicaciones: ArcMap, ArcToolbox y ArcCatalogo. Los resultados obtenidos sobre las tasas de erosión hídrica fueron clasificadas de acuerdo a la clasificación de las pérdidas de suelo propuestas por FAO, PNUMA-UNESCO (1981), se tiene un nivel de erosión leve a nula (<10 T/Ha/año), un nivel moderado (10 – 50 T/Ha/año), un nivel fuerte (50 – 200 T/Ha/año) y un nivel muy fuerte (> 200 T/Ha/año).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, la energía erosiva de las precipitaciones van de moderadas a extremadamente severas, según, Rivera, J. H.; Gómez, A. A. (1,991), con valores de 6,332.65 a 44,499.98 MJ/Ha*mm/h, esto para las estaciones meteorológicas del ICC.

De las 19 estaciones evaluadas, 7 presentaron valores de R mayores que 20,000 MJ/Ha*mm/h, siendo estas de erosividad extremadamente severa (cuadro 3). Utilizando los modelos exponenciales generados para cada estación, los cuales explican la relación entre erosividad de la lluvia en función a datos diarios de precipitaciones, se estimaron los valores de R (MJ/Ha*mm/h) para 20 pluviómetros cercanos a estas (3.8 Km, dependencia espacial de las precipitaciones, ICC, 2016b), los cuales se presentan los valores en el cuadro 4.

Cuadro 3: Erosividad de la lluvia (R) y su clasificación por estación.

| No | Estación meteorológica | Percentil 99 (mm) | R anual media (MJ/Ha*mm/h) | Clasificación de la erosividad | Modelo exponencial para estimar R (MJ/Ha*mm/h) | Coefficiente de determinación (R ²) |
|----|------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|--|---|
| 1 | San Nicolás | 47.00 | 6,332.65 | Moderada | $y = 0.1582x^{2.0548}$ | 0.97 |
| 2 | San Antonio el Valle | 57.00 | 9,438.93 | Alta | $y = 0.1617x^{2.0357}$ | 0.96 |
| 3 | Trinidad Magdalena | 51.00 | 10,472.66 | Muy Alta | $y = 0.1845x^{2.0774}$ | 0.96 |
| 4 | Irlanda | 58.00 | 10,926.60 | Muy Alta | $y = 0.1531x^{2.0638}$ | 0.97 |
| 5 | Xoluta | 54.00 | 11,395.35 | Muy Alta | $y = 0.1584x^{2.0951}$ | 0.97 |
| 6 | Bonanza | 64.00 | 11,439.43 | Muy Alta | $y = 0.1656x^{2.0591}$ | 0.97 |
| 7 | San Rafael | 59.00 | 12,457.71 | Muy Alta | $y = 0.1594x^{2.0866}$ | 0.97 |
| 8 | Amazonas | 66.00 | 13,192.53 | Muy Alta | $y = 0.1722x^{2.048}$ | 0.97 |
| 9 | Peten Oficina | 61.00 | 14,400.59 | Muy Alta | $y = 0.1637x^{2.0601}$ | 0.97 |
| 10 | Bouganvilia | 62.00 | 15,431.86 | Extremadamente Severa | $y = 0.164x^{2.0762}$ | 0.97 |
| 11 | Tehuantepecq | 72.00 | 15,916.91 | Extremadamente Severa | $y = 0.1636x^{2.0833}$ | 0.97 |
| 12 | Trinidad | 68.00 | 16,223.33 | Extremadamente Severa | $y = 0.1737x^{2.0811}$ | 0.97 |
| 13 | Puyumate | 67.00 | 18,747.44 | Extremadamente Severa | $y = 0.1652x^{2.0858}$ | 0.97 |
| 14 | Naranjales | 67.00 | 21,043.16 | Extremadamente Severa | $y = 0.1656x^{2.0906}$ | 0.98 |
| 15 | Tululá | 75.00 | 30,706.35 | Extremadamente Severa | $y = 0.1722x^{2.0963}$ | 0.98 |
| 16 | Costa Brava | 84.00 | 31,052.84 | Extremadamente Severa | $y = 0.1713x^{2.0908}$ | 0.98 |
| 17 | Lorena | 86.00 | 37,631.66 | Extremadamente Severa | $y = 0.176x^{2.091}$ | 0.98 |
| 18 | El Balsamo | 94.00 | 42,134.14 | Extremadamente Severa | $y = 0.1799x^{2.0837}$ | 0.98 |
| 19 | Cengcaña | 90.00 | 44,499.98 | Extremadamente Severa | $y = 0.1816x^{2.0791}$ | 0.98 |

Cuadro 4: Erosividad de la lluvia (R) y sus clasificación en pluviómetros.

| No. | Estación | R anual media (MJ/Ha*mm/h) | Clasificación de le erosividad |
|-----|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1 | San Fernando | 5,887.14 | Moderada |
| 2 | San Rafael | 6,454.38 | Moderada |
| 3 | California | 7,421.46 | Moderada |
| 4 | Juilines | 7,483.05 | Moderada |
| 5 | Trébol | 7,902.55 | Alta |
| 6 | Perú | 7,960.77 | Alta |
| 7 | Bariloche | 8,180.05 | Alta |
| 8 | Izabal | 9,597.91 | Alta |
| 9 | Quien Sabe | 10,731.94 | Muy Alta |
| 10 | Santa Marta | 11,500.97 | Muy Alta |
| 11 | Zulia | 12,498.95 | Muy Alta |
| 12 | Puyumate | 13,082.74 | Muy Alta |
| 13 | Cuntan 363 | 13,556.88 | Muy Alta |
| 14 | Cuntan 364 | 13,797.05 | Muy Alta |
| 15 | Buenos Aires El Cajón | 14,224.54 | Muy Alta |
| 16 | El Carmen | 22,047.47 | Extremadamente Severa |
| 17 | San Bonifacio | 30,402.86 | Extremadamente Severa |
| 18 | Bálsamo | 31,999.93 | Extremadamente Severa |
| 19 | Esperanza | 33,135.70 | Extremadamente Severa |
| 20 | San Antonio Flores | 34,079.87 | Extremadamente Severa |

Una vez que se obtuvieron cada uno de los factores que conforman la USLE, se obtuvo el mapa de riesgo a erosión hídrica de la Agroindustria Azucarera. De acuerdo a la clasificación de las pérdidas de suelo propuestas por FAO, PNUMA-UNESCO (1981), de las 294,461.25 hectáreas analizadas, bajo el cultivo de caña de azúcar, el 37.84% está en un nivel de erosión leve a nula (<10 T/Ha/año), el 18.33% en un nivel moderado (10 – 50 T/Ha/año), el 31.60% en un nivel fuerte (50 – 200 T/Ha/año) y el 12.24% en un nivel muy fuerte (> 200 T/Ha/año) (figura 1).

Según PRODESNOs (2011) y Morgan R.P.C (2006) citado por Dumas Salazar (2012); la tasa máxima permisible, cuando se habla de erosión del suelo es de 10 toneladas/hectárea/año, ya que se calcula que esta es la velocidad a la que el suelo se genera, por lo que todo territorio cuyas pérdidas de suelo no superen las 10 T/Ha/año no presentarán pérdidas netas debido a la erosión.

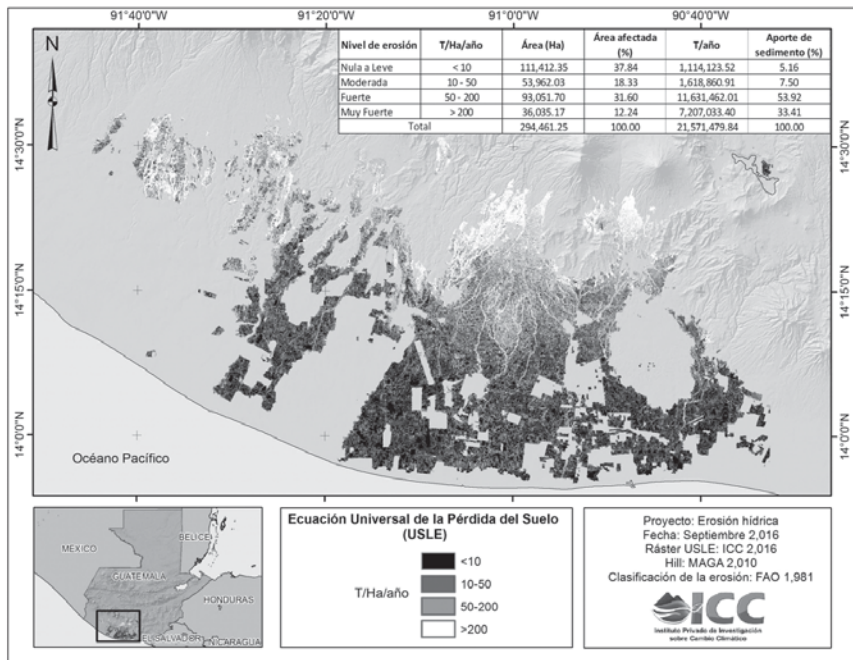


Figura 1: Riesgo potencial a erosión hídrica de la Agroindustria Azucarera de Guatemala.

Como en cualquier modelo, las limitaciones predictivas de la USLE se deben a su estructura, o incertidumbre de conocimiento, y a las incertidumbres resultantes de errores de estimación de sus factores, o variabilidad estocástica, debido a la variabilidad del ambiente natural (UNESCO 2010). Para Salerno, G. O. (2014), aún en el mejor escenario, la incertidumbre total no sería menor al 30%, esto para la USLE revisada (RUSLE), del que el factor R, contribuye, a incertidumbre en el cálculo de erosión de 2-5% si se dispone de registros de lluvia cerca del lugar, el factor K contribuye con un 20%, y recomienda que para reducirlo se realice un muestreo inteligente, el factor topográfico contribuye en un 6% si se dispone de mediciones detalladas y los factores C y P alrededor de 25%.

CONCLUSIONES

En cada estación meteorológica se generó un modelo exponencial que permite estimar la erosividad de la lluvia (R) en MJ/ha*mm/h, tomando como referencia la precipitación diaria (proveniente de pluviómetros). Considerando la representatividad espacial de las estaciones (3.83 km).

La energía erosiva de las precipitaciones van de moderadas a extremadamente severas, con valores de 6,332.65 a 44,499.98 MJ/Ha*mm/h, esto según los datos de las estaciones meteorológicas del ICC.

De acuerdo a la clasificación de las pérdidas de suelo propuestas por FAO, PNUMA-UNESCO (1981), de las 294,461.25 hectáreas analizadas, bajo el cultivo de caña de azúcar, el 37.84% está en un nivel de erosión leve a nula (<10 T/Ha/año), el 18.33% en un nivel moderado (10 – 50 T/Ha/año), el 31.60% en un nivel fuerte (50 – 200 T/Ha/año) y el 12.24% en un nivel muy fuerte (> 200 T/Ha/año).

Las zonas de mayor riesgo a erosión de suelos se encuentra en lugares con alta pendiente (laderas de volcanes y partes media-alta de la zona cañera), altas precipitaciones y propiedades físicas del suelo que propician la erosión.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Ricardo Alves de Olinda (Universidad de Estadual da Paraíba, departamento de Estadística-CCT) e Ing. Agr. Juan Josué Santos Pérez (Especialista en Investigación Agrícola y SIG, ICTA-CISUR)

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- 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.
- Gil, R. 2014. El suelo, la erosión y la producción agropecuaria. Revista CEIBE: control de erosión. Fundación INMAC. (Número 12, octubre de 2015). 7 – 10 p.
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). 2016a. Red de estaciones meteorológicas del ICC. En línea. Consultado el: 06 de Julio del 2016. Disponible en: redmet.icc.org.gt.
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). 2016b. Análisis de la representatividad de la red de estaciones del ICC a través de geo estadística. 15p.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2009. Informe ambiental del estado: GEO Guatemala. Guatemala, MARN. 286 p.
- Rivera, J.H.; Gómez, A.A. 1991. Erosividad de las lluvias en la zona cafetalera central colombiana (Caldas Quindío y Risalda), CENICAFE, 42 (2), 37-52.
- Salermo, G. O. 2014. Evaluación de tasas de erosión en taludes Modelo RUSLE. IECA (International Erosion Control Association). 93 p.
- Salguero, M. (2010). Ecuación de pérdida de suelo por erosión hídrica (USLE). Guatemala: FAUSAC. 10 p.
- Santos Pérez, A. L. (2014). Estudio de la erosión hídrica en la parte alta de la zona cañera, micro cuenca Los Sujuyes, diagnóstico y servicios en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Santa Lucía Cotzumalguapa., Escuintla. Guatemala: ICC-FAUSAC. 199 p.
- UNCCD (La Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación). 2014. La tierra en cifras: los medios de subsistencia en su punto de inflexión. 22 p.
- 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.