

## Efecto del uso de la tierra sobre la erosión y sedimentación de los suelos en El Estor, Izabal

Erick F. Coc<sup>1</sup>, Eddi Alejandro Vanegas Chacón<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de Izabal y <sup>2</sup>Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

\*Autor al que se dirige la correspondencia: [vanegaseddi@gmail.com](mailto:vanegaseddi@gmail.com)

Recibido: 08 de enero de 2015 / Revisión: 06 de abril de 2015  
Aceptado: 07 de mayo de 2015 / Disponible en línea: 01 de julio de 2015

### Resumen

El mayor y mejor uso de las tierras en El Estor, Izabal, está determinado por los regímenes de precipitación, topografía y manejo de los suelos. La erosión es el principal proceso de degradación de los suelos en esta región del país, por lo que se evaluó el efecto de diferentes usos de la tierra sobre la erosión y sedimentación media. Se utilizó el método de las varillas de erosión para estimar las variables primarias de erosión y sedimentación media; y posteriormente, las variables derivadas erosión neta y movilidad del suelo, durante los meses de febrero a noviembre del año 2014. Los resultados de los valores de erosión media y movilidad del suelo en plantaciones de hule y tierra en barbecho presentaron relaciones directas  $r = 0.63$  y  $r = 0.77$  respectivamente. Los valores de sedimentación media y movilidad del suelo en bosque secundario y tierra en barbecho presentaron relaciones inversas  $r = -0.88$  y  $r = -0.79$  respectivamente, en ambos casos con 5% de significancia. Además, los resultados del análisis estadístico de la evaluación experimental del uso de la tierra sobre las variables de respuesta, indicaron efecto del uso de la tierra sobre la erosión media de los suelos en la época lluviosa, con 5% de significancia. En su orden, las plantaciones de hule, tierra en barbecho, agricultura anual y bosque secundario, causaron mayor erosión del suelo. Se concluyó que las plantaciones de hule causaron tasas de erosión del doble en relación a las reportadas en el bosque secundario.

**Palabras claves:** Degradación de suelos, manejo sostenible de la tierra, conservación de suelos, cultivo del hule, movimiento de suelos, inceptisoles del noreste de Guatemala.

### Abstract

The mayor and best land use in El Estor, Izabal is determined by rainfall patterns, topography and soil management. The erosion is the main process of soil degradation in this region, so the effect of different land uses on mean soil erosion and sedimentation were evaluated. The method of erosion rods was used to estimate the mean soil erosion and sedimentation, as primary variables, and then the resulting net soil erosion and soil mobility, as secondary variables, during the months of February to November 2014. The results of mean values of soil erosion and soil mobility in rubber plantations and fallow land had direct relations  $r = 0.63$  and  $r = 0.77$  respectively. The mean values of sedimentation and soil mobility in secondary forest and fallow land had inverse relationships  $r = -0.88$  and  $r = -0.79$  respectively, both with 5% significance. In addition, the statistical analysis of the experimental evaluation of the land use effect on the response variables, indicated effect of land use on mean soil erosion during the rainy season, with 5% significance. In its order, the rubber plantations, fallow land, agriculture and secondary forest causing increased soil erosion. It was concluded that rubber plantations caused double erosion rate compared to those reported in the secondary forest.

**Keywords:** Sustainable land management, soil conservation, rubber plantations, soil movement, inceptisols of northeast Guatemala.



## Introducción

El municipio de El Estor ubicado en la parte oeste del departamento de Izabal en Guatemala, se caracteriza por ser una región altamente transitable desde la década de los sesenta, cuando se implementó la Ley de Transformación Agraria en el país. Esta política promovió la mejora de la tierra bajo la premisa del cambio de su uso, de forestal a agropecuario, siendo la Franja Transversal del Norte una de las regiones más degradadas a lo largo de los últimos cincuenta años (Díaz, 2015; Hurtado, 2014; Robledo, 2015). Debido a que la productividad y sostenibilidad agronómica de los suelos se fundamenta en su calidad física, química y biológica, el medio ambiente y el manejo agronómico (Campitelli, Aoki, Gudiel, Rubenackery, & Sereno, 2010), es necesario el monitoreo de indicadores de calidad edáfica, para determinar el estado del agroecosistema (Shukla, Lal, & Ebinger, 2006). Entre los indicadores de calidad, relacionados a la sostenibilidad del manejo de los suelos se encuentra la erosión, conceptuada no únicamente como la pérdida de suelo, sino más bien, como el proceso que conlleva a la pérdida en fertilidad, alteraciones en los procesos biológicos, disminución en el contenido de carbono orgánico e incremento del escurrimiento superficial (Vega & Febles, 2010). Más del 40% de las tierras agrícolas a nivel mundial, presentan una degradación de moderada a extrema, lo cual disminuye la productividad agrícola y Guatemala no es la excepción: se estima que por el uso de prácticas agrícolas convencionales se erosionan 299 millones de m<sup>3</sup> de tierra cultivable por año (Bovarnick, Alpizar, & Schnell, 2010). Adicionalmente, la Universidad Rafael Landívar a través del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (2009), señala que el uso correcto de la tierra en Guatemala es del 46%, mientras que los porcentajes de uso inadecuado corresponden a: subuso 28% y sobreuso 25%, con una tasa de erosión potencial en las áreas sobreutilizadas es ocho veces mayor en relación a las subutilizadas. En Guatemala, se han realizado esfuerzos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010, 2013) para promover el uso correcto de la tierra a través de la ejecución de estudios semidetallados de suelos y capacidad de uso de las tierras. Sin embargo, es necesario concientizar a los agricultores por medio de la práctica local, sobre las ventajas de la implementación de técnicas agronómicas que conlleven a la sostenibilidad de la producción y a la conservación o recuperación del suelo. Por ello, el objetivo de este estudio, es evaluar el efecto del uso de la tierra mediante diferentes escenarios de manejo y cobertura (barbecho, agrícolas anuales, cultivo del hule

y bosque secundario), tanto en época seca como lluviosa. Se evaluó la erosión media, sedimentación media, erosión neta y movilidad del suelo en inceptisoles del municipio de El Estor.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El Estor está ubicado en el departamento de Izabal en la parte noreste de la República de Guatemala. El área de estudio es parte de zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido, con altitud media de 150 msnm, temperatura media anual de 28 °C y precipitación media anual de 3000 mm. Suelos inceptisoles de ladera con densidad aparente entre 0.69 a 1.14 g/cc, en los primeros 30 cm de profundidad.

### Características de las parcelas

Las parcelas fueron dispuestas en el área de estudio de tal manera que constituyeran bloques al azar, donde se evaluaron cuatro usos de la tierra: barbecho (tierras en descanso), agricultura anual (cultivo de maíz), plantaciones de hule con edad de 6 años y bosque secundario latifoliado, con tres repeticiones. En total fueron 12 parcelas experimentales en las que se evaluó de forma directa la erosión media, sedimentación media, erosión neta y la movilidad del suelo, a través del método de parcelas experimentales de varillas de erosión (Pizarro & Cuitiño, 2002). Las parcelas fueron de 4 m de alto y 1.5 m de ancho, en estas se colocaron varillas de metal pintadas con el objeto de marcar el nivel actual del suelo, las varillas fueron distanciadas 0.3 m entre columnas y 1 m entre filas, es decir 30 varillas por parcela, sumando un total de 360 varillas en todo el experimento.

### Medición espacial y temporal de las varillas de erosión

Las varillas de erosión se midieron mensualmente, cuantificando en mm las diferencias entre lecturas consecutivas. El experimento se desarrolló durante los meses de febrero a noviembre de 2014. Las lecturas fueron divididas en época seca (meses de febrero, marzo y abril) y época lluviosa (meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre).

## Estimación de la erosión media, sedimentación media, erosión neta y movilidad del suelo

Para estimar la erosión media por parcela, se determinó el promedio de las mediciones de las varillas de erosión y se calculó el cociente entre la suma de las mediciones de todas las varillas que presentaron erosión y el número total de varillas. Es decir, se consideró con valor cero a las varillas que presentaron sedimentación y a las que no tuvieron variación, para estimar la erosión media, la sedimentación media se estimó de igual manera.

Para estimar el suelo erosionado o sedimentado en t/ha en la época seca como lluviosa, se multiplicó el resultado de las alturas medias expresadas en mm, por la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ). La ( $D_a$ ) expresada en  $t/m^3$  se calculó por el método del cilindro (Gabriels & Lobo, 2006). Finalmente, se multiplicó por el factor 10 para ajustar las dimensionales. La expresión matemática es la siguiente:

$$x(t/ha) = y * D_a * 10$$

Donde:

$x$ , es la erosión o sedimentación media en (t/ha)

$y$ , es la altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm)

$D_a$ , es la densidad aparente del suelo ( $t/m^3$ )

La erosión neta = erosión media – sedimentación media, en (t/ha)

La erosión neta = erosión media – sedimentación media, en (t/ha)

La movilidad del suelo = erosión media + sedimentación media, en (t/ha)

## Análisis estadístico de la información

Se determinó el índice de Pearson entre los valores resultantes de erosión media, sedimentación media y movilidad del suelo, como expresión del uso de la tierra, y entre los registros pluviométricos mensuales de la serie histórica 1960-2013, del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) del 2015, en ambos casos con el objeto de determinar asociaciones a un nivel de significancia del 5%. Posteriormente se utilizó el programa de cómputo InfoStat versión 2014, módulo estadístico, arreglo diseño experimental en bloques completamente al azar, con observaciones en el tiempo, para analizar los resultados de la erosión media, sedimentación me-

dia, erosión neta y movilidad del suelo por parcela. Cada escenario del uso de la tierra fue un tratamiento y cada lectura mensual, una observación en el tiempo. Se realizó análisis de varianza para determinar la existencia o no de efecto significativo al 5% del uso de la tierra, uso de la tierra por repetición y uso de la tierra por mes, sobre la variable de respuesta en cuestión. Posteriormente para aquellos efectos significativos, se realizó prueba de igualdad de medias de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

## Resultados

Con base en el índice de Pearson, los resultados de los valores de erosión media y movilidad del suelo en plantaciones de hule y tierra en barbecho presentaron relaciones directas  $r = 0.63$  ( $p = 0.05$ ) y  $r = 0.77$  ( $p = 0.009$ ) respectivamente. Los valores de sedimentación media y movilidad del suelo en bosque secundario y tierra en barbecho presentaron relaciones inversas  $r = -0.88$  ( $p = 0.001$ ) y  $r = -0.79$  ( $p = 0.006$ ) respectivamente, en ambos casos con 5% de significancia. No se determinó asociaciones significativas entre los regímenes de lluvia media mensual y la erosión media, sedimentación media y movilidad del suelo. No obstante, en la Figura 1, se puede observar que la erosión sufrida en el bosque secundario imita la tendencia de la precipitación, en cuanto que, la erosión media sufrida en las plantaciones de hule presenta tendencias en zigzag a lo largo del tiempo.

El análisis de varianza de la evaluación experimental del efecto del uso de la tierra sobre las variables de respuesta, presentó efecto significativo del uso de la tierra sobre la erosión media en época de lluvia ( $p = 0.0087$ ), no lo tiene sobre la sedimentación media, tanto en época seca como de lluvia. Sí lo tiene sobre la erosión neta, tanto en época seca ( $p = 0.0164$ ), como de lluvia ( $p = 0.0050$ ) y únicamente sobre la movilidad del suelo en época de lluvia ( $p = 0.0475$ ), como puede observarse en la (Tabla 1). En algunos casos la desviación estándar es mayor que la media aritmética de los valores experimentales, lo que se debe a la variabilidad de las variables de respuesta en función a las repeticiones y meses de lectura, inclusive algunas veces, éstas presentaron valor cero. También hubo efecto significativo del uso de la tierra sobre las combinaciones “movilidad del suelo por mes” ( $p = 0.0055$ ), valores presentados en la (Tabla 2) y “sedimentación media por mes” ( $p = 0.0181$ ), ambas durante la época seca. Sin embargo, en este último caso no se logró establecer diferencias significativas por medio de la prueba de medias de Tukey.

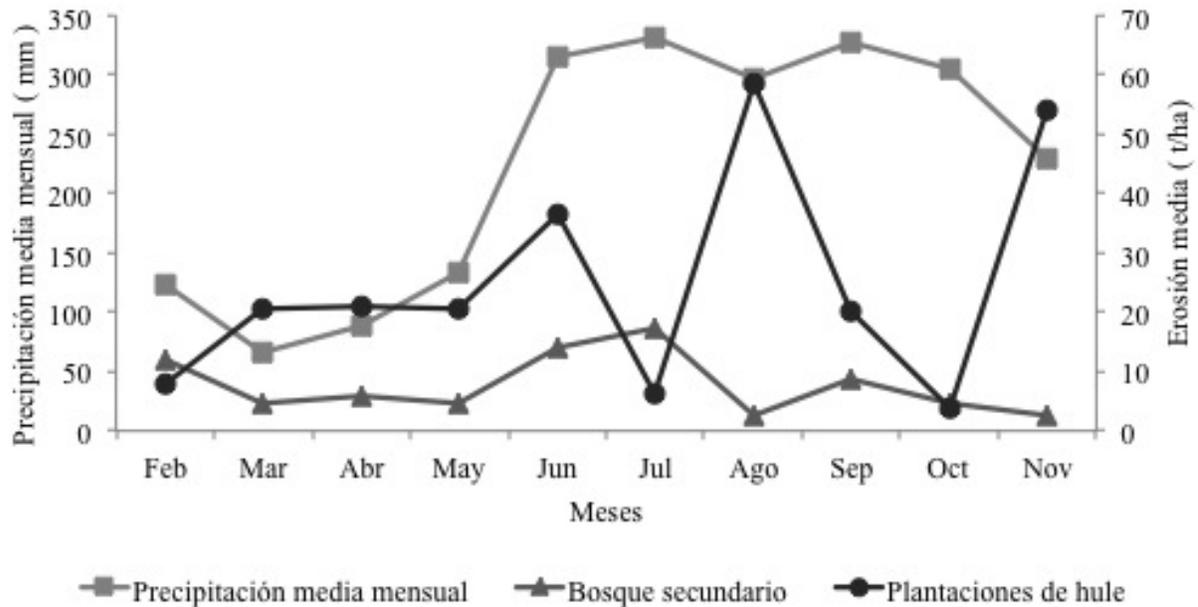


Figura 1. Precipitación media mensual (mm) serie histórica 1980-2014, estación meteorológica Mariscos, Los Amates, Izabal. Erosión media (t/ha) para parcelas con plantaciones de hule y bosque secundario.

Tabla 1

Efecto del uso de la tierra sobre la erosión media, sedimentación media, erosión neta y movilidad del suelo (t/ha), durante la época seca y lluviosa

Época seca				
Uso de la tierra	Erosión media	Sedimentación media	Erosión neta	Movilidad del suelo
Barbecho	15.17 ± 10.21	20.29 ± 16.68	- 5.12 ab	35.46
Agricultura anual	16.00 ± 11.30	26.20 ± 17.94	- 10.19 ab	42.21
Plantaciones de hule	16.66 ± 7.35	11.21 ± 7.60	+ 5.45 a	27.87
Bosque secundario	7.60 ± 3.81	9.02 ± 5.99	- 1.43 ab	16.62
Época lluviosa				
Uso de la tierra	Erosión media	Sedimentación media	Erosión neta	Movilidad del suelo
Barbecho	20.50 ± 22.96 ab	22.02 ± 19.55	- 1.52 b	42.51 a
Agricultura anual	13.64 ± 8.23 b	21.60 ± 10.37	- 7.96 b	35.24 a
Plantaciones de hule	28.54 ± 29.25 a	15.58 ± 25.16	+12.96 a	44.12 a
Bosque secundario	7.85 ± 8.44 b	9.47 ± 6.95	- 1.61 b	17.32 a

Nota. Medias con diferente letra son significativamente diferentes (p < 0.05), prueba de medias de Tukey.

Tabla 2  
Efecto del uso de la tierra sobre la movilidad del suelo (t/ha), durante la época seca

Uso de la Tierra	Mes		
	Febrero	Marzo	Abril
Barbecho	35.39 abcd	43.80 abc	27.18 abcd
Agricultura anual	18.47 cd	55.95 a	52.20 ab
Plantaciones de hule	25.82 bcd	25.42 bcd	32.38 abcd
Bosque secundario	18.88 cd	8.97 d	22.02 cd

Nota. Medias con diferente letra son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ), prueba de medias de Tukey.

## Discusión

El índice de Pearson, indicó que las tierras con plantaciones de hule y en barbecho presentaron asociación directamente proporcional, en relación a la erosión media y movilidad del suelo, en ambos casos, relacionado a la poca cobertura del suelo. En términos de sedimentación y movilidad del suelo, se determinó relación inversamente proporcional entre las tierras con cobertura boscosa y aquellas en barbecho, siendo estas últimas las que presentaron mayor sedimentación y movilidad del suelo. No se determinaron asociaciones entre los registros pluviométricos mensuales y la erosión media, sedimentación media y movilidad del suelo. Sin embargo, se observó que la erosión sufrida en las parcelas con plantaciones de hule, presentó un patrón de altos y bajos en zigzag, lo que indica variaciones severas en la cobertura del suelo, posiblemente control de malezas con herbicidas; por su parte, la erosión sufrida en las parcelas con bosque secundario, ligeramente imitó el patrón del régimen de lluvia.

El análisis de varianza de la evaluación experimental del uso de la tierra sobre las variables respuesta determinó efecto significativo sobre las tasas de erosión media, específicamente en época de lluvia. De conformidad con los estándares de erosión de los suelos instituidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Vargas, 2009) en una escala de ligera ( $< 10$  t/ha), moderada (10 - 50 t/ha),

alta (50 - 200 t/ha) y muy alta ( $> 200$  t/ha), en promedio tanto en época seca como lluviosa, todos los usos de la tierra presentaron erosión moderada. Sin embargo, los valores menores de erosión media se observaron en bosque secundario (época seca 10.14 t/ha y época lluviosa 12.72 t/ha) y los mayores en plantaciones de hule (época seca 16.65 t/ha y época lluviosa 28.53 t/ha). Las plantaciones de hule, presentaron mayores tasas de erosión en orden de 1.64 a 2.24 veces en relación al bosque secundario, hecho reportado recientemente por otros investigadores a nivel mundial. Por ejemplo, Wenjie y colaboradores (2015) reportaron en promedio tasas de erosión real por salpicadura en orden de dos veces entre plantación de hule y áreas boscosas en el suroeste de China. Adicionalmente, se determinaron tasas de erosión media del orden de 1.09 a 1.39 entre plantaciones de hule y agricultura anual, y de 1.04 a 2.09 entre plantaciones de hule y barbecho. Esto se debe a que en su mayoría las plantaciones de hule se siembran a 7 x 3 m de distancia entre surcos y plantas, con controles de malezas entre tres o cuatro veces al año, por lo que debajo de un pequeño dosel arbóreo se encuentra una superficie desnuda y muy susceptible a la erosión, principalmente en áreas de ladera. Los resultados encontrados son concordantes con las investigaciones de Pérez, Váldez y Ordaz (2012), quienes reportan que las coberturas arbóreas, arbustivas y por mantillo presentes en las áreas de bosque secundario, actúan como indicadores de relación exponencial negativa en relación a las tasas de erosión del suelo. Respecto al cultivo del maíz, el efecto de la cobertura sobre el suelo está asociada a los estadios del desarrollo morfológico de las plántulas (épocas de siembra), períodos críticos de control de malezas y la propia cosecha en relación a la erosión del suelo (Blanco, Leiva, & Castro, 2014; Hernández & Soto, 2013; Leal, Díaz, Schietecatte, Ruiz, & Almoza, 2007).

Se concluye que las plantaciones de hule en monocultivo tienden a favorecer procesos de erosión en los inceptisoles de El Estor, lo que conlleva a la pérdida de la fertilidad de los suelos, consolidando procesos degradativos en su calidad física, química y biológica a largo plazo, hecho que se agrava en condiciones subtropicales y tropicales, principalmente cuando se realizan cambios del uso de la tierra de bosques secundarios a plantaciones extensivas, hecho reportado por De Blécourt, Brumme, Xu, Corre y Veldkamp (2013) en el sur de China. Además el efecto del uso de la tierra sobre la combinación (sedimentación media y movilidad del suelo por mes) en época seca, se explica debido

a que en la región de El Estor existen altos niveles de precipitación durante todo el año. Por lo que la llamada época seca presentó valores medios mensuales de 123 mm en febrero, 65 mm en marzo y 89 mm en abril, en relación a un valor promedio de 277 mm en la época lluviosa (meses de mayo a noviembre).

### Agradecimientos

A la Cruz Roja, delegación El Estor, Izabal, institución financiante. Programa de adaptación y reducción de riesgo ante el cambio climático, 2014.

### Referencias

- Bovarnick, A., Alpizar, F., & Schnell, C. (Eds.). (2010). *La importancia de la biodiversidad y de los ecosistemas para el crecimiento económico y la equidad en América Latina y el Caribe: Una valoración económica de los ecosistemas*. Turrialba: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Blanco, Y., Leyva, A., & Castro, I. (2014). Determinación del período crítico de competencia de arvenses en el cultivo del maíz (*Zea mays*, L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3), 62-69.
- De Blécourt, M., Brumme, R., Xu, J., Corre, M., & Veldkamp, E. (2013). Soil carbon stocks decrease following conversion of secondary forests to rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations. *PloS ONE*, 8(7), e69357. doi:10.1371/journal.pone.0069357
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudiel, O., Rubenacker, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*, 28(2), 223-231.
- Díaz, M. (2015). *Evaluación y valoración de tierras rurales en el marco de las políticas agrarias del país*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Costa Rica, Programa DOCINADE, Heredia.
- Gabriels, D., & Lobo, D. (2006). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14(1), 37-48.
- Hernández, N., & Soto, F. (2013). Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 24-29.
- Hurtado, L. (2014). *La histórica disputa de las tierras del valle del Polochic: Estudio sobre la propiedad agraria*. Guatemala: Serviprensa.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2015). *Registros históricos mensuales. Estación Meteorológica, Mariscos, Los Amates, Izabal*. Recuperado de: [http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/pp\\_prom\\_1960\\_2013.html](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/pp_prom_1960_2013.html)
- Leal, Z., Díaz, J., Schiettecatte, W., Ruiz, M., & Almoza, Y. (2007). Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyagua-teje. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 76-83.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). *Estudio semidetallado de los suelos y capacidad de uso de las tierras del departamento de Chimaltenango*. Guatemala: Autor.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013). *Estudio semidetallado de los suelos y capacidad de uso de las tierras del departamento de Sololá*. Guatemala: Autor.
- Pérez, J., Valdéz, E., & Ordaz, V. (2012). Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 249-259.
- Pizarro, R., & Cuitiño, H. (2002). Método de evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile. En *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* (pp 165-170). Actas de la I Reunión del Grupo de trabajo de Hidrología Forestal. Madrid, España.
- Robledo, J. (2015). *Evaluación del impacto del uso de la tierra sobre la calidad del agua del Lago de Izabal, Guatemala. Caso de estudio: Microcuenca del Río Túnico*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Costa Rica, Programa DOCINADE, Heredia.

- Shukla, M., Lal, R., & Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 194-204.
- Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, & Instituto de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2009). *Perfil Ambiental de Guatemala (2008-2009). Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala: Autor.
- Vargas, R. (Ed.). (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Vega, M., & Febles, J. (2010). La investigación de suelos erosionados: Métodos e índices de diagnóstico. *Minería y Geología*, 21(2), 1-14.
- Wenjie, L., Qinpu, L., Jintao, L., Pingyuan, W., Hongjian, L., Wenyao, L., & Hongmei, L. (2015). The effects of conversion of tropical rainforest to rubber plantation on splash erosion in Xishuangbanna, SW China. *Hydrology Research*, 46(1), 168-174. doi:10.2166/nh.2013.109