

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Escuela de Ingeniería Forestal



Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal.

Evaluación de erosión hídrica en suelos bajo cobertura forestal y agrícola, en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica.

Johanna Gaitán Álvarez

Profesor guía M.Sc. Edwin Esquivel Segura

Cartago, Costa Rica

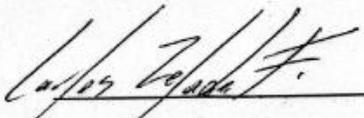
II Semestre 2013

Constancia de Aprobación

Evaluación de erosión hídrica en suelos bajo cobertura forestal y agrícola, en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica.

Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal.

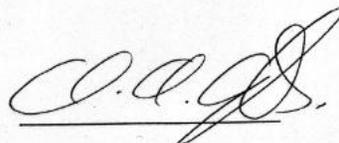
Jurado Examinador



M. Sc. Carlos Zelada Fonseca



M.Sc. Adrián Chavarria Vidal



Profesor guía
M. Sc. Edwin Esquivel Segura

Dedicatoria

El trabajo efectuado se lo dedico a mis padres, que desde siempre han velado porque sea una persona de bien, además de otorgarme esa preciada herencia, que el estudio. Quienes han estado pendientes de mi bienestar y me han apoyado y guiado en todo momento de mi vida. A mi hermano que me ha servido de gran ejemplo y apoyo para continuar con todas mis metas y propósitos de vida.

Agradecimientos

A todos mis profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica, que han compartido sus conocimientos, los cuales me han ayudado a formarme como profesional y como persona responsable.

Al profesor y tutor MSc. Edwin Esquivel Segura, por su valiosa colaboración y orientación en la realización de este proyecto.

A Msc. Carlos Zelada Fonseca, supervisor del proyecto por parte del Instituto Costarricense de Electricidad, por su colaboración en la elaboración del proyecto.

A Max Piñar Obando, por su valiosa colaboración en el trabajo de campo.

A los productores y dueños de las fincas donde se realizó el estudio.

En especial al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) Unidad Centro de servicio y gestión ambiental RIOCAT, por el financiamiento de este proyecto.

¡Gracias a todos!

Tabla de Contenidos

Constancia de Aprobación

Dedicatoria

Agradecimientos

	Pág.
CAPITULO I	1
Artículo Científico.....	2
Resumen.....	2
Palabras Claves.....	2
Abstract.....	2
Key Words.....	3
Introducción.....	3
Material y Métodos.....	5
Área de Estudio.....	5
Muestreo.....	5
Mediciones experimentales de terreno y laboratorio.....	5
Propiedades físicas del suelo.....	7
Análisis estadístico.....	8
Resultados y Discusión.....	9
Pérdida de suelo en parcelas de escurrimiento.....	9
Relación propiedades físicas del suelo con erosión.....	12
Relación precipitación con erosión.....	13
Relación capacidad de uso del suelo con erosión.....	15
Pérdida se suelo con la formula universal de pérdida de suelo (USLE).....	16
Conclusiones.....	18
Recomendaciones.....	19
Agradecimientos.....	19
Referencias.....	19

Tabla de Figuras

	Pág.
Figura 1: Erosion ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), total presentada para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.....	10
Figura 2: Pérdida de suelo (Mg ha^{-1}) para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz). Líneas verticales, representan el nivel de significancia Tukey. Medias con letras iguales no difieren en forma significativa ($P \leq 0,05$) en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.....	11
Figura 3: Distribución de la perdida de suelo ($\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) según precipitación (mm) para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.....	14
Figura 4: Erosión ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), calculada por el método de parcelas de escurrimiento y con la fórmula universal de pérdida de suelo (USLE), para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.....	18

Tabla de Cuadros

	Pág.
Cuadro 1: Valores del factor "k" según gran grupo de suelo, (FAO 1989).....	6
Cuadro 2: Valores del factor "C" según tipo de cobertura (Lianes 2008).	7
Cuadro 3: Características físicas del suelo para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.....	13
Cuadro 4: Modelos lineales para la predicción de pérdida de suelo.	15
Cuadro 5: Capacidad de uso del suelo y unidad de manejo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.....	16
Cuadro 6: Factores calculados para la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y Valores de A ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.....	17

Capítulo 1

Artículo Científico

Evaluación de erosión hídrica en suelos bajo cobertura forestal y agrícola, en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica.

Evaluación de erosión hídrica en suelos bajo cobertura forestal y agrícola, en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica.

Johanna Gaitán Álvarez

Edwin Esquivel Segura

Resumen

La cuenca del Río Reventazón es una de las más importantes en cuanto a la producción agrícola y a la generación de energía eléctrica. Sin embargo, las actividades agrícolas, han provocado altos niveles de erosión y sedimentación, acumulados en los embalses de las represas hidroeléctricas, ocasionando pérdidas económicas y la disminución de la generación de electricidad y vida útil de los embalses. Se utilizó la metodología de parcelas de escurrimiento para cuantificar las tasas reales de erosión, y compararlas con datos teóricos obtenidos con la fórmula universal de pérdida de suelo (USLE), que permitió cuantificar el efecto de la vegetación sobre la erosión. Se establecieron parcelas en cuatro sitios diferentes (A: plantación de cedro y melina, B: plantación de cedro y cacao, C: cultivo agrícola, y D: pasto), con 3 repeticiones cada una. Las tasas de erosión registradas en cada sitio fueron de $1,01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, $1,71 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, $6,05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $1,61 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente, las cuales se sobrestimaron en un 73% por medio de USLE. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), y una comparación de medias Tukey ($\alpha = 0,05$) en el programa Info Stat-e, y se determinó que entre los sitios A, B y D no existen diferencias significativas, y que a la vez estos tres difieren del sitio C. Permitiendo concluir que la cobertura va tener un efecto directamente proporcional a la pérdida de suelo, por la característica de este al retener el agua de lluvia y ayudar al suelo en cuanto a la infiltración y estructura del mismo, disminuyendo significativamente las cantidades de remoción de suelo.

Palabras claves: sedimentación en embalses hidroeléctricos, cobertura vegetal, parcelas de escurrimiento, USLE.

Abstract

Reventazón River Basin is one of the most important for the agricultural production and electricity generation. However agricultural activities have caused high levels of erosion and sediment accumulated in the reservoirs of hydroelectric dams, causing economic losses and decreased the generation of electricity and useful life of reservoirs. Methodology runoff plots was used to quantify the actual rates of erosion, and compare them with theoretical data obtained with the universal soil loss equation (USLE), which allowed to quantify the effect of vegetation on erosion. Plots were established in four different sites or treatments (A: cedar plantation and melina recently established B: cedar and cocoa plantation, C: Agricultural crop, D: grass), with 3 replicates each one. Erosion rates recorded at each site was $1.01 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, $1.71 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, $6.05 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and $1.61 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, respectively, which were overestimated by 73 % by USLE. An analysis of variance (ANOVA), and comparison of means Tukey ($\alpha = 0,05$) on Info Stat- e was made, and it was determined that between the A, B and D sites there's not significant differences, and that both these three differ from site C. To the conclusion that the cover will have a directly proportional effect on the loss of

soil, this feature to retain rainwater and assist soil against infiltration and structure thereof, significantly reducing the amount of soil removal.

Key words: sedimentation on hydroelectric reservoirs, vegetal coverage, runoff plots, USLE.

Introducción

El desarrollo económico y social de Costa Rica ha estado ligado a la producción agrícola como actividad generadora de divisas, fuentes de trabajo y riqueza, actualmente 15% el de la población económicamente activa depende en forma directa de este sector. Esta actividad se realiza en más de 70 cantones del país (Arias 2005), principalmente en las regiones altas.

Entre las zonas altas de producción agrícola se encuentra la Provincia de Cartago. Que aporta a la economía nacional el 80% de la producción de hortalizas dado que las condiciones de la región, como el clima y los suelos son excelentes para estas actividades (Ramírez *et al.* 2008). Las cuales permiten el desarrollo económico y social de zona, el cual incrementa evidentemente los signos de erosión de suelos.

La producción agrícola conlleva distintos sistemas de manejo que producen cambios físicos en la estructura del suelo. La pérdida de nutrientes, salinización, acidificación y la contaminación, son indicadores de procesos de degradación química que sufren los suelos como consecuencia de variadas prácticas agrícolas. Sin embargo la productividad puede recuperarse parcialmente incorporando estrategias adecuadas de manejo, caso contrario con la problemática del suelo erosionado ya que es imposible revertir esta situación (Neder, Busnelli y Sampietro 2010).

La erosión, es un proceso natural que se ve favorecido por las lluvias intensas o el clima, la topografía, el porcentaje y tipo de cobertura vegetal así como las propiedades físicas tales como la textura, materia orgánica, estructura y la porosidad (Pizarro *et al.* 2010; Ruiz-Colmero *et al.* 2013), de tal forma que las actividades humanas como las técnicas de cultivo inapropiadas, las modificaciones de las condiciones hidrológicas, la deforestación y la marginalización o abandono de tierras, contribuyen a intensificarla y acelerarla (Pizarro *et al.* 2010). Estos usos asociados con actividades antrópicas y en conjunto con la problemática de la inestabilidad de las laderas, degradación de los recursos suelo y agua, pueden llegar a causar pérdidas importantes de suelo (Ramírez, *et al.* 2008), afectando las tasas de infiltración y las propiedades del suelo de modo tal que, aumentan la escorrentía superficial, acelerando los procesos de erosión (Turnbull, Wainwright y Brazier 2010).

Los procesos erosivos provocan que las partículas del suelo erosionado sean arrastradas por el escurrimiento superficial, y que algunas de ellas queden depositadas en poros en la base de las laderas. Como resultado de este proceso está la pérdida de fertilidad y la degradación de la vegetación (Zhou *et al.* 2006). Ocasionada por la disminución en la capacidad de infiltración del agua de lluvia en el suelo (Pizarro *et al.* 2010). Estos efectos negativos son presenciados tanto en el sitio como en zonas aledañas a este (Xiubin, Tang y Zhang 2004).

La Vertiente Norte de la cuenca del Río Reventazón, ubicada en la provincia de Cartago, se identifica como la zona con mayor generación de erosión, esto debido a factores como pendiente, clima, tipo y uso del suelo, así como las tecnologías de producción (ICE 1999). Lo que provoca una disminución del potencial productivo desde el punto de vista agrícola y ganadero, sin de dejar de lado la acumulación de sedimentos en los embalses, afectando la producción de electricidad (Lianes, Marchamalo y Roldan 2009).

Esta problemática de erosión y sedimentación de suelos, es provocada en la cuenca catalogada como una de las más importantes para el país en cuanto a generación de energía (Ramírez *et al.* 2008); producto de esto se presentan efectos negativos a su productividad, que está en función directa de la cantidad de masa de agua disponible en la cuenca, con la cantidad que puede ser captada y almacenada por los embalses (Robledo 2003).

El 73% de los sedimentos depositados en los embalses provienen de las actividades antrópicas que se realizan en la región. Los principales representantes de esta problemática son el embalse de Cachí al cual llegan 1 millón de toneladas de sedimentos y el de Angostura que varía entre 1,5 y 2 millones de toneladas, anuales en ambos (Vincenzi 2001).

Para prevenir que se disminuya el volumen útil de los embalses el ICE inició en la década de los años 70 la práctica de desembalses anuales (Calvo y Pérez 2002). Los desembalses consisten en maniobras controladas de los niveles del embalse, dirigidos a recuperar el volumen útil de los mismos por medio de la remoción de los sedimentos acumulados durante cada periodo, por medio de la apertura parcial o total de las compuertas que regulan estos niveles. Los mismos tienen tiempos de ejecución de entre 3 y 5 días y se llevan a cabo en los meses de setiembre y noviembre en los embalses Cachí y Angostura respectivamente. Lo cual aumenta los costos de mantenimiento de las plantas hidroeléctricas de la misma forma en que les resta vida útil (Gutiérrez 2001).

El embalse de Angostura tiene una superficie aproximada de 250 ha y se caracteriza por ser muy plano, este lo hace mucho más susceptible a los sedimentos. Para evitar problemas de este tipo, es necesario realizar un desembalse al menos una vez al año que debe coincidir con el realizado en Cachí. Esto significa sacar fuera de sistema eléctrico, el 38% de la energía hidroeléctrica producida en el país (Calvo y Pérez 2002), por el tiempo que tardan los embalses en volver a llenarse y estar listos para la producción eléctrica.

Dado que la cantidad de erosión solo se puede limitar o reducir y no eliminar en su totalidad (Evans 2006), surge la importancia de conocer las propiedades hidrológicas de los suelos y cuantificar las tasas de transporte de sedimentos para implementar buenas prácticas de manejo de suelos (Oyarzun, *et al* 2011), sin embargo, estas deben ser adecuadas para las zonas con mayor vulnerabilidad a la pérdida de suelo. Llevar un control de la cantidad de erosión permite identificar de mejor forma el momento más adecuado, para la implementación de las distintas prácticas forestales, como la siembra de árboles en combinación con arbustos y otras fajas o barreras costavientos; y la necesidad de implementar o no técnicas de protección de suelo (Contreras, Bonillas y Troncosa 2012)

La vegetación perenne así como las plantaciones forestales, reducen considerablemente la cantidad de erosión del suelo así como también protegen el medio ambiente (Zheng 2006). Estas tienen la capacidad de evitar la erosión, amortiguar lluvias fuertes, disminuir escurrimientos superficiales y por lo tanto, inducir la infiltración que es la responsable de sostener el aporte para los principales mantos acuíferos que provocan los escurrimientos conocidos como arroyos y ríos en cauces naturales que no arrastran suelos (Zavaleta, Cruz-Jiménez y Márquez 2012). Los suelos bajo coberturas forestales absorben cuatro veces más agua de lluvia que los suelos cubiertos por pastos y 18 veces más que el suelo desnudo (Marcano 2011).

Por lo que el uso de la tierra más eficaz para mantener el agua lo más libre que sea posible de sedimentos es una buena cubierta forestal (FAO 2009). Así como el uso adecuado del suelo también cumple, con el objetivo de rehabilitación de áreas degradadas y protección de los cultivos agrícolas (Llerena, Hermoza y Llerena 2007).

Dada la información anterior es que se plantea la hipótesis que los suelos bajo coberturas forestales presentan niveles más bajos de erosión que aquellos bajo cobertura de cultivos agrícolas, a su vez la vegetación forestal a mayor edad protege más el suelo de los procesos

erosivos. Por lo que el objetivo del presente trabajo es determinar la influencia de la vegetación en las tasas erosión y sedimentación del suelo.

Material y Métodos

Área de Estudio. El estudio se realizó en la parte alta y media de la cuenca del Río Reventazón-Parismina, la cual se ubica, geográficamente, en la vertiente Caribe de Costa Rica, entre las coordenadas CRTM05 (x, y): (496 602, 1 056 131) y (548 772, 1 110 318). Inicia en la línea divisoria continental de aguas, hacia el centro del país, los niveles de altitud varían desde el nivel del mar (0 m.s.n.m) hasta los 3800 m.s.n.m. Es por su extensión, la tercera cuenca en tamaño del país, ubicada dentro de la provincia de Cartago (8 cantones y 43 distritos). Tiene aproximadamente 3000 km² de área de drenaje lo que corresponde a un 5,52% de la superficie nacional y sobre su divisoria de aguas se encuentran dos de las cumbres más altas del país: el volcán Irazú y el cerro Buena Vista, también conocido como el Cerro de la Muerte.

Muestreo. La cuantificación de la cantidad de suelo erosionado y sedimentado, se realizó por medio del método de las parcelas de sedimentación. En las cuales se evaluaron las siguientes condiciones de sitio:

- A. Peralta: Plantación de *Cedrella odorata L.* (cedro) y *Gmelina arborea Roxb.* (melina) con un año de edad.
- B. Peralta: Plantación de *Cedrella odorata L.* (cedro) de 2 años de edad en combinación con *Theobroma cacao L.* (cacao).
- C. Tierra Blanca: Sembrío de un cultivo agrícola, *Allium cepa L.* (cebolla).
- D. Santa Cruz: Pastoreo Intensivo.

Se seleccionaron tres fincas al azar. La primera ubicada en el distrito de Peralta del cantón de Turrialba, en la cual se colocaron las parcelas con las condiciones a y b. La segunda en el distrito de Tierra Blanca del cantón de Cartago, que representa la condición c. Y la tercera ubicada en el distrito Santa Cruz que pertenece al cantón de Turrialba, la cual presenta la condición d.

En cada condición de sitio se establecieron 3 parcelas rectangulares de 3 m x 1,5 m (4,5 m² de tamaño). Los lados de la parcela se cubrieron con láminas de zinc de 30 cm de alto, de los cuales 15 cm se colocaron en el suelo, mientras que los otros 15 cm se mantuvieron por encima de la superficie. En la parte inferior de estas se incorporó un sistema colector compuesto por un estañon de 25 litros para captar el material erosionado, y recolectar el agua de escorrentía y el suelo sedimentado (CATIE 1994).

Mediciones experimentales de terreno y laboratorio. La recolección de sedimentos y las mediciones de agua de escorrentía se realizaron después de cada evento grande de lluvia, cuando llovía por al menos tres horas en una intensidad media a partir del 30 de agosto hasta el 10 de octubre del 2013. Este proceso consistió en extraer todo el material encontrado en el estañon, separando el agua de los sedimentos, para medir la cantidad de litros de agua encontrada, y la cantidad de litros de sedimento encontrado, por separado. Luego se tomó una muestra de sedimento y una de agua por estañon para ser transportado y analizado en el Laboratorio de Suelos encontrado en el CIIBI en la Escuela de Ingeniería Forestal del Tecnológico de Costa Rica, en Cartago. Cada muestra se identificó con las condiciones del sitio (A, B, C o D) y el número de parcela (1, 2 o 3).

Las muestras se secaron en un horno a 105° C hasta que llegaron a peso constante, y así se determinó los sólidos en suspensión que tenían las muestras de agua y la cantidad de agua que tenían las muestras de sedimento. Esta medición permitió determinar la cantidad de suelo erosionado por parcela por periodo de medición.

Este valor es el valor real erosionado el cual se relacionó con la erosión estimada por medio de la formula universal USLE que se muestra a continuación:

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

Donde A es la pérdida de suelo ($Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$), R es el factor de erosividad de las precipitaciones ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$), K es el factor de erodabilidad del suelo ($Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$), L y S son los factores de longitud y pendiente de la ladera respectivamente, C es el factor de cobertura o manejo y P es el factor de prácticas de conservación (Contreras, Bonillas y Troncosa 2012). Estas se calcularon de la siguiente manera:

R se obtuvo del Mapa Erosividad pluvial en Costa Rica realizado por Vahrson (1990), en el cual se localizaron los puntos de muestreo según las isoerodiente y las curvas de nivel.

K se determinó según los resultados de la investigación de la FAO, en su informe técnico y cuyos resultados se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro1. Valores del factor "k" según gran grupo de suelo, (FAO 1989).

Gran Grupo de Suelo	Valor K
Tropopsamment	0,06
Troporthent	0,2
Tropaquept	0,25
Eustropept	0,16
Dystrandept	0,16
Humitropept	0,17
Vitrandept	0,09
Hydrandept	0,11
Tropohumult	0,23
Haplustalf	0,18
Mollisol	0,29

LS se obtuvo con la ecuación de Wischmeier y Smith (1978):

$$LS = (x/22, 1)^{0,5} * (s/9)^{1,3}$$

Dónde:

L= Factor de longitud de la pendiente

x= Longitud de la pendiente en metros

s= Gradiente en porcentaje

C se obtuvo de los índices del Factor C para una cobertura vegetal, promedio anual en relación con las prácticas agrícolas utilizadas, establecidos por Lianes (2008) y presentados en el cuadro 2:

Cuadro 2. Valores del factor "C" según tipo de cobertura (Lianes 2008).

Uso del suelo	Valor de "C"
Agua	0
Bosque	0,0030
Café	0,0800
Charral	0.0030
Cultivo Variado	0,3000
Forestal	0,0070
Frutal	0,0100
Pasto	0,0090
Pasto y Arboles	0,0030
Paramo	0.0030
Urbano	0,0030

P no fue necesario calcularlo ya que en los sitios no se encontraba ningún manejo de conservación de suelos.

Propiedades físicas del suelo. Para este análisis se introdujo un barrero de 0 a 10 cm en el suelo, en ocho diferentes puntos alrededor de la parcela y se recolectó el suelo extraído de estos lugares. Luego se recolectó un terrón en cada parcela y se transportaron en recipientes plásticos para conservar sus propiedades. Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Para el caso de la determinación de la densidad se utilizó el método de la parafina, el cual consistió en seleccionar un pequeño terrón del que se tomó en el campo, luego se secó en el horno a 105° C hasta peso constante, después se amarró con hilo para evitar pérdida de masa y se sumergió en parafina. Con esto se obtiene el peso de la masa y para el volumen se sumerge el terrón cubierto de parafina en agua y se anota el volumen desplazado. Con estos datos se realiza el cálculo de la densidad con la siguiente fórmula:

$$D = P_s / V$$

Dónde:

D: densidad (g/cm³)

P_s: Peso terrón con hilo y parafina (g)

V: Volumen de agua desplazado (cm³)

Con las muestras de 500 g se procedió a realizar el análisis para obtener contenido de materia orgánica y textura. En el caso de materia orgánica se obtuvo por medio del método de ignición que consistió en tomar una muestra de suelo y secarlo al aire por 24 horas luego se tamizó a 2 mm y se determinó la fracción fina (FF) y la gruesa (FG); se pesaron 10 g de suelo (fracción fina) y se colocó en el horno en un crisol a 105° C por 24 horas con el cual se determinó el contenido de

humedad, luego se enfrió hasta temperatura ambiente y pesó en la balanza de precisión, por último se calcinó por 24 horas en la mufla y se obtuvo el peso final.

La determinación de textura se realizó por medio del método de Bouyoucos, el cual consistió en pesar 40 g de suelo seco al aire de cada parcela y depositarlos en un beaker para luego agregar 40 ml de Agua Destilada (AD) y 20 ml de Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) y revolver suavemente, esta solución se dejó reposar toda la noche. Al día siguiente se transfirió la suspensión a una copa dispersante en la cual se agregó 250 ml de AD y 50 ml de la solución de Hexametáfosfato de Sodio o "Calgón" (HMP) y se mezcló en una licuadora por 5 minutos, luego se transfirió la suspensión a una probeta y para diluir hasta completar 1 L con AD, se deja que la suspensión equilibre termalmente por 5 minutos para registrar la temperatura, luego de esto se mezcló la suspensión completamente con el émbolo por un minuto, al cabo del minuto se registró el tiempo inicial y se tomó la primera medición del hidrómetro a los 40 segundos y se repitió la medición a los 120 minutos después del tiempo 0, inmediatamente después se vuelve a registrar la temperatura, esto para todas las muestras de las parcelas. El hidrómetro tuvo que estar siendo calibrado agregando a una probeta de 1 L, 50 ml de HMP y completando con AD, para luego registrar la temperatura y tomar la medición del hidrómetro en la solución y obtener RL. Con estas lecturas y aplicadas a las siguientes formulas se obtuvieron los valores de textura. El contenido de humedad se utilizó para corregir los pesos del suelo.

$$C= R- RL$$

$$\%Arenas = ((Ps-C40seg)/Ps)*100$$

$$\%Arcilla = (C120min/Ps)*100$$

$$\%Limo = 100-(\% arena+\%arcilla)$$

Dónde:

C: concentración de suelo en suspensión para cada lectura (g/L)

R: lectura del hidrómetro corregida para los 40 segundos o 120 minutos

RL: lectura del hidrómetro corregida en la solución control de HMP

Ps: Peso seco de la muestra

C40seg: concentración de suelo en suspensión a los 40 segundos (g/L)

C120seg: concentración de suelo en suspensión a los 120 minutos (g/L)

Capacidad de uso del suelo. Mediante observaciones de campo se evaluó en cada parcela las variables de: pendiente (con clinómetro); erosión hídrica (con los datos presentados en las parcelas de escurrimiento); profundidad efectiva del suelo en metros (con un barreno); drenaje; pedregosidad; clima (meses secos, neblina, viento); textura (método de Bouyoucos).

Análisis Estadístico. A partir de la hipótesis establecida se ejecutó la prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre los residuos de los promedios de las variables megagramos de erosión por hectárea y precipitación en mm, para comprobar la normalidad de las distribuciones y la homocedasticidad de las varianzas. Para analizar la relación de las tasas de erosión con la cobertura, se realizó un

análisis de varianza (ANOVA), donde los tratamientos fueron el tipo de cobertura de cada sitio y las repeticiones las parcelas o unidades de muestreo (UM). Se aplicó una prueba estadística Tukey, para comprobar si existían diferencias significativas en las variables analizadas entre cada sitio, se consideró un nivel de confiabilidad de 95% ($\alpha = 0,05$), estos análisis se realizaron en el software InfoStat-e (Di Rienzo, *et al* 2011).

Resultados y Discusión

Pérdida de Suelo en parcelas de escurrimiento. La pérdida más alta de suelo se presentó en el sitio C con $6,05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y la más baja sitio A con $1,01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en el sitio B y D se obtuvo $1,71 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $1,61 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente (Figura 1). Estos valores son menores a los registrados en otros estudios como es el caso de Sogreah (2000) el cual señala que los usos de la tierra que más generan sedimentos en la región son los cultivos anuales con un promedio de $137,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, seguido de las tierras quebradas y rocosas con un promedio de $51,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y los cultivos perennes con un promedio de $19,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Siendo los cultivos anuales en ambos casos los que presentan mayor cantidad de sedimentos.

Cortés y Oconitrillo (1987), Suazo (1995) y Villalobos (1988) realizaron mediciones en parcelas de escorrentía y encontraron niveles de erosión en la parte alta de la cuenca de $30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en la parte media $96-108 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (bajo una condición de 66% de pendiente y cero cobertura), y en la parte baja $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. En este estudio las pendientes no sobrepasaron el 40%, este es un motivo por el cual se tienen valores más bajos de erosión como se ve en la figura 1.

El ICE en el 2008 en el Plan de Cuenca Reventazón-Parismina postula las tasas de sedimentación significativas, las cuales provienen de la parte norte de la cuenca, sobresaliendo la subcuenca Birrís con $28,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y Agua Caliente-Reventado con $23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; el resto de las subcuencas de esta vertiente presentan tasas cercanas a $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que en la vertiente sur a excepción de la subcuenca del río Tuis con $15,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, las tasas presenta menos de la mitad de éstas. Esto explica el que el sitio C sea el que presenta el valor más alto, ya que este se encuentra en la subcuenca Agua Caliente-Reventado, los demás sitios A, B y D pertenecen a las subcuencas de la vertiente sur las cuales presentan las tasas más bajas de pérdida de suelo.

Un factor importante a las diferencias presentadas entre los valores obtenidos en este trabajo y los obtenidos por los demás autores, se debe a la metodología empleada para el cálculo de la erosión ya que algunos de estos autores estiman la erosión por el método visual de la FAO, empleado en el sistema de clasificación de tierras oficial de Costa Rica (MAG y MIRENEM 1995). Por lo que es necesario profundizar más en la manera adecuada de estimar las tasas de erosión. Algunos documentos han determinado que el método más apropiado y el cual se asemeja más a la realidad, para realizar comparaciones en diferentes tipos de suelos, cubiertas de vegetación o formas de uso del suelo de un determinado lugar, son las parcelas de escurrimiento, estas pueden oscilar entre 1 m^2 y 50 m^2 (Braud *et al.* 2001; Descheemaeker *et al.* 2006; Mathys *et al.* 2005; Mohammad y Adam 2010; Ngatunga *et al.* 1984; Vacca *et al.* 2000). Tal es el caso del presente análisis las cuales tenían un tamaño de $4,5 \text{ m}^2$.

Otro factor importante y puede influir en por qué las bajas tasas de erosión se debe al poco tiempo de muestreo el cual se realizó en un mes, y lo recomendado es realizarlo por al menos tres meses para darle seguimiento y visualizar el comportamiento de las parcelas en el tiempo (CATIE 1994). Estas cantidades de suelo erosionado también son reflejadas por las condiciones de los sitios muestreados los cuales presentaron características favorables en cuanto a la pendiente que se encuentran en un rango de 40% a 50% (sitio A, B y D) y de 10% (sitio C), a las características propias de los suelos y una de las más importantes las características e intensidades de lluvias que no fueron analizadas pero que fueron visualizadas y tomadas en cuenta en el campo como no problemáticas.

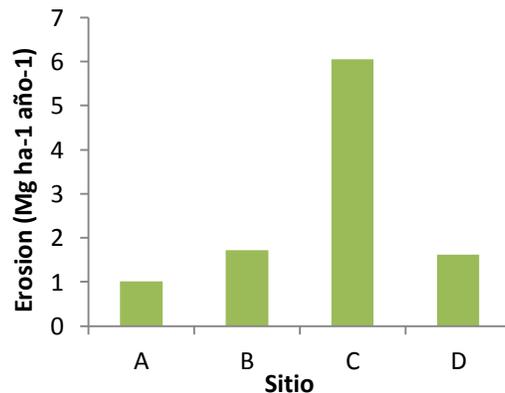


Figura 1. Erosion (Mg ha⁻¹ año⁻¹), total presentada para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.

Al realizar el análisis del suelo perdido por hectárea para los sitios se comprueba que existen diferencias significativas entre las medias de los sitios (tratamientos), los sitios A, B y D son similares estadísticamente, mientras que el C difiere con respecto a los demás (Figura 2). Los valores de erosión altos del sitio C el cual pertenece a cultivo agrícola en la zona de Tierra Blanca, se asocian con la escasa cobertura de los suelos y las deficientes prácticas de manejo, durante las labores de labranza, siembra y cosecha, ya que la mayoría de los cultivos de la zona no dejan desechos orgánicos en el campo y estos por lo general se ubican en las pendientes altas de los terrenos. Otro factor que acelera la degradación de los suelos, en la parte media de la cuenca del Río Reventazón, es la forma de preparación de los suelos, la cual se realiza de 3 a 4 veces al año (Bakker, Govers y Rounsevell 2004; CATIE 2003; Uri y Lewis 1998), y en la mayoría de los casos a favor de la pendiente, empleando maquinaria pesada, arado de rastra y rotavator, equipos que pueden provocar compactación y pulverizan el suelo, que debilitan la estructura del suelo aumentando la susceptibilidad a la erosión lo que tienden a impermeabilizar el suelo y facilitar la escorrentía y arrastre de la capa arable (MAG-FAO-UNED 1994; Ramírez *et al.* 2008; Rodríguez *et al.* 2009).

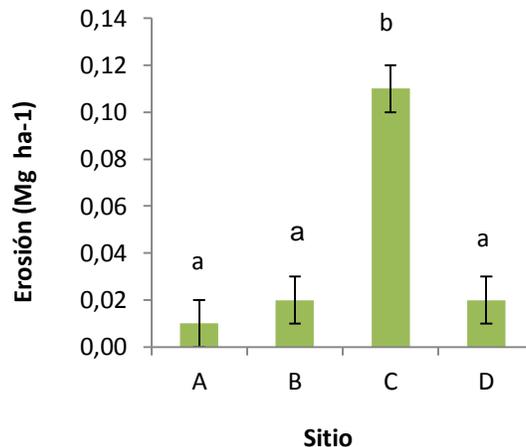


Figura 2. Pérdida de suelo (Mg ha⁻¹) para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz). Líneas verticales, representan el nivel de significancia Tukey. Medias con letras iguales no difieren en forma significativa ($P \leq 0,05$) en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.

Dado que la escorrentía se acelera cuando el suelo queda descubierto (Sogreah, *et al* 1999), es que se puede argumentar que la cubierta vegetal es el factor clave que afecta a la erosión del suelo (Jia, Du y Zhou 2002; Wei *et al.* 2007; Zhang, Yang y Zepp 2004), esto por el hecho de que la presencia de vegetación intercepta las gotas de lluvia, aumenta la infiltración, reduce la escorrentía superficial y, por lo tanto, previene significativamente esta problemática (Woo, Fang y Dicenzo 1997; Woo y Luk 1990). Los resultados del estudio muestran claramente que la pérdida de suelo es sensible a el tipo de cobertura presente en el sitio.

Algunos estudios han analizando cual componente cuenta con mayor influencia sobre la pérdida de suelo, si la escorrentía superficial o la cobertura vegetal, y encontraron que está pérdida es mayormente afectada por los cambios en la cubierta superficial que la escorrentía, ya que entre los factores que afectan a la escorrentía superficial y la erosión del suelo, la única que puede ser manipulada a través de las políticas de uso del suelo es el tipo de cobertura (Chen *et al.* 2003; Nearing *et al.* 2005). Por lo que también se puede concluir que la vegetación tiene un fuerte efecto sobre la escorrentía superficial (Chen *et al.* 2007).

Es por esto que los sitios bajo cultivos agrícolas como los ubicados en la zona norte de la cuenca del Río Reventazón son las que presentan las cifras mas altas en pérdida y degradación de los suelos con respecto a otros sitios con diferentes tipos de vegetación (Vásquez *at al.* 2010), como el caso de las plantaciones forestales ubicadas en el sitio A y B del muestreo, y pasto en el sitio D.

Las plantaciones forestales y los terrenos destinados al pastoreo son los que presentaron las tasas mas bajas de erosión. Esta relación (vegetación-erosión), presente en el estudio depende de las características propias como la densidad de cobertura y estructura de la vegetación (Almorox *et al.* 1994; Thornes 1990). La morfología de la raíz que cumple un papel importante, ya que trabaja en los procesos de detención del movimiento del suelo, aumentando su estabilidad (Coppin y Richards 1990; Wu 1995), y mejorando a la vez la estructura e infiltración del agua (Terwilliger y Waldron 1990). La estructura aérea, ya que modifica la hidrología y frena la energía cinética de la lluvia y escorrentía (Beltmonte y Romer 1992, Cabezas, Vaquero y Escudero 1991; Morgan y Rickson 1995, Styczen y Morgan 1995), haciendo que las gotas de lluvia no caigan directamente al suelo;

por lo que la sedimentación tiende a disminuir cuando la intercepción aumenta debido al cierre de las copas de los árboles, en el caso de plantaciones forestales (Oyarzun, *et al* 2011).

Con los resultados registrados en el presente trabajo, y dado que las plantaciones estudiadas (sitio A y B), se encuentran bajo un distanciamiento de 3 m x 3 m. Se puede decir que al plantar un árbol este captura $0,005 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de suelo. Esto si se compara con el sitio C, el cual no cuenta con cobertura arbustiva. Esta relación es exclusivamente para los sitios analizados, dado que las características del sitio influyen directamente en las cantidades de pérdida de suelo.

Relación propiedades físicas del suelo con erosión. Los suelos de los sitios A y B presentan niveles de arcillas mayores al 65%, como se muestra en el Cuadro 3, señalando que son plásticos y difíciles de trabajar, ya que estos retienen gran cantidad de agua y de nutrientes. El sitio C también cuenta con gran influencia por las arcillas pero en menor cantidad, ya que presenta la condición franco arcilloso dando como resultado un mayor equilibrio entre sus componentes, disminuyendo un poco los efectos de las arcillas en el comportamiento de los suelos. La presencia de mayor cantidad de arena en el sitio D es la que lo denomina como franco arcillo arenosa, presentando menor plasticidad y una mayor facilidad de trabajabilidad, igualmente puede presentar una mayor capacidad de aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración de aire (Gisbert, Ibañez y Moreno 2010).

En estudios anteriores se ha determinado que el tamaño de las partículas sólidas se relaciona con la cantidad y dimensión de los poros del suelo, los cuales cuentan con un papel básico en cuanto a los procesos de infiltración, percolación y escorrentía (Forsythe 1975, Hewlett y Nutter 1969). Dando a entender que la capacidad de infiltración y conductividad hidráulica, por lo general aumentará conforme se pasa de un suelo arcilloso a un franco y de este a uno arenoso (Hewlett y Nutter 1969; Kohnke 1969). Produciendo mayor escorrentía los suelos arcillosos (Apolo 1980), al igual que presentan una mayor resistencia al desprendimiento de sus partículas por la acción de la lluvia, aunque el arrastre se hace más fácil por la pequeñez de las mismas, barriendo los materiales más finos (Polyakov y Lal 2004; Thomas, Walsh y Shakesby 1999).

Como se puede observar en el cuadro 3, el sitio C es el que presenta mayor porcentaje en cuanto a contenido de materia orgánica, estos contenidos se pueden relacionar con la estructura del suelo, ya que a mayor cantidad de materia orgánica presente sus condiciones de estructura y porosidad mejoraran significativamente (Neary, Ice y Jackson 2009). Dado que este es un factor elemental, al cual se le atribuyen complejas interacciones entre los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Fenton, Kazemi y Lauterbach-Barrett 2005), jugando un rol crucial tanto en las propiedades físicas como la estructuración del suelo, formación y estabilidad de los agregados; como en las propiedades químicas y biológicas, tales como adsorción de nutrientes y nicho ecológico de microorganismo (Arriaga y Lowery 2003).

Dadas estas condiciones es que se puede observar en el cuadro 3, que el sitio D, es el que cuenta con una mejor estructura y la presencia de materia orgánica, siendo esta una estructura granular gruesa, y el sitio C una estructura granular. El sitio A y B son los que tienen la estructura de suelo más densa en forma de bloques (FAO 1998), y los contenidos de materia orgánica más bajos.

En el pasado se han realizado múltiples estudios sobre la relación de las propiedades del suelo como estructura, procesos de transformación e influencia de las precipitaciones en las tasas de erosión (Assouline y Mualem 1997; Le-Bissonais 1996; Römkens, Prasad y Whisler 1990, Sumner

y Stewart 1992, Valentin y Bresson 1992), y se ha determinado que estos valores varían según los parámetros mencionados anteriormente; y que las características propias del suelo se correlacionan directamente a la susceptibilidad de las partículas de estos a ser removidas, arrastradas y depositadas a lo largo del terreno.

Las propiedades físicas del suelo suelen estar en combinación con el movimiento del agua en todo el espacio, por lo que ambas son de suma importancia en la erosión. Abarcan infiltración, percolación y retención. Los cuales son controlados en gran parte por el volumen, el tamaño, la distribución y la continuidad del espacio de los poros, y por lo tanto, el marco esquelético o disposición geométrica de las partículas de textura y de los agregados (Rorke 2000).

Por lo que el sitio A y B son los que se encuentran más susceptibles al desprendimiento de las partículas del suelo por sus características de textura, pero al estar cubiertos con vegetación ayuda que no sean lugares problemáticos en cuanto a la generación de sedimentos. Caso contrario del sitio C el cual presenta menos riesgo de erosión por sus propiedades físicas, pero al estar descubierto es el más problemático en cuanto a la pérdida de suelo.

Cuadro 3. Características físicas del suelo para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.

Sitio	Densidad g/cm ³	Contenido o de Humedad %	Materia Orgánica %	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura	Estructura
A	1,4	4	9	14	71	15	Arcillosa	Bloques
B	1,3	5	9	19	69	11	Arcillosa	Bloques
C	1,15	3	8	39	34	27	Franco Arcillosa	Granular Fina
D	0,9	6	24	46	30	24	Franco Arcillo arenosa	Granular Gruesa

Relación precipitación con erosión. Los datos de precipitación fueron brindados por el Departamento de Hidrología del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) con respecto a las estaciones meteorológicas más cercanas a los sitios de muestreo. Las estaciones más cercanas y utilizadas para el estudio fueron Campamento 73116 para Peralta (sitio A y B), Sanatorio Durán 73011 para Tierra Blanca (sitio C) y San Antonio de Turrialba 73074 para Santa Cruz (sitio D). Durante el período de muestreo del 30 de Agosto al 10 de Octubre del año 2013, la precipitación total registrada fue de los 288 mm, 302, 2 mm y 343,1 mm respectivamente para cada sitio. Anualmente para estos lugares y según registros de diez años anteriores se presentan precipitaciones de 2570,3 mm, 1603,8 mm y 3791,2 mm respectivamente.

Durante el período de estudio se realizaron 7 recolecciones de sedimentos en cada uno de los sitios y sus respectivas repeticiones, estos datos relacionados con la cantidad de precipitación se muestran en la Figura 3 para cada sitio, en las cuales es evidente la existencia de un efecto

directamente proporcional a la cantidad de lluvia con la erosión (Vásquez *et al.* 2010). Esto se refiere a que entre más precipitación exista el valor de suelo perdido aumentará. Este efecto se ve altamente influenciado por el hecho de que al caer las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo dañan los agregados y deterioran la estructura del mismo (Galvis 2005; Pla 1993; Stallings 1962).

Otros estudios han relacionado la pérdida de suelo y las cantidades de precipitación con respecto a la energía cinética de las tormentas en forma de índice de erosividad, EI30 (Capolongo *et al.* 2008; Diodato y Bellocchi 2007; Irvem, Topaloglu y Uygur 2007; Nyssen *et al.* 2005), y han comprobado que la influencia de estas sobre las tasas de erosión sucede en los primeros 5 a 10 minutos de lluvia, ya que es cuando ocurre la mayor cantidad de pérdida de suelo, dado que las partículas disponibles se encuentran más sueltas y son arrastradas por la escorrentía superficial (Roker 2000).

Esto por el hecho de que el proceso de erosión se describe en tres etapas: separación, transporte y depósito. La separación ocurre principalmente por el impacto de las lluvias (Loch y Silburn 1996), Del mismo modo, que el flujo superficial causado por la escorrentía transporta el suelo y lo deposita en la parte más baja de la ladera (Merritt, Letcher y Jakeman 2003).

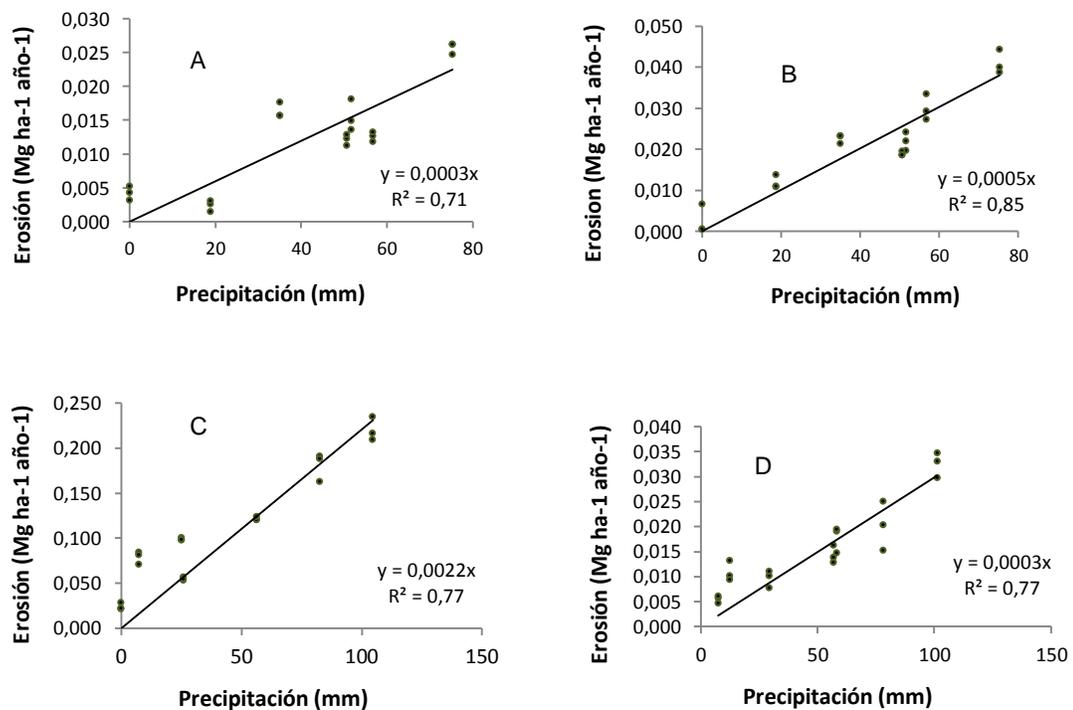


Figura 3. Distribución de la pérdida de suelo (t ha-1 año-1) según precipitación (mm) para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.

En el presente estudio se tiene que el total de erosión va depender del régimen de precipitación en un 71%, 85%, 76% y 77% respectivamente para los sitios A, B, C y D (Figura 3). El porcentaje restante dependerá de las características o variables adicionales encontradas en el lugar. Las cuales fueron analizadas por medio de regresiones lineales y se obtuvo que los modelos que más

se acercan al 100% son el 1, 2 y 3 presentados en el Cuadro 4. Por lo que la variable que aporta gran significancia seguida de la precipitación, en cuanto a los megagramos de erosión del sitio es la pendiente.

Cuadro 4. Modelos lineales para la predicción de pérdida de suelo.

Modelo	Ecuación	R2	Porcentaje (%)
1	$Y = B + X1$	0,69	69
2	$Y = B + X6$	0,56	56
3	$Y = B + X1 + X6$	0,72	72

Dónde:

Y: Erosión ($Mg\ ha^{-1}$)

B: Constante

X1: Precipitación (mm)

X6: Pendiente (%)

Esta información concuerda con lo citado por Müller (1997), en la cual afirma que la erosión correlaciona significativamente con la pendiente del terreno. Así, los suelos en pendientes fuertes son susceptibles a la erosión debido a su mayor intensidad de uso e inestabilidad, sobre todo cuando se remueve la cobertura del suelo para establecer cultivos o hacer algún cambio de uso de suelo. Esto la argumentación que los bosques es la forma de uso de la tierra más adecuada en fuertes pendientes hacia la reducción sustancial de la erosión del suelo (El Kateb *et al.* 2013).

Relación capacidad de uso del suelo con erosión. Para lograr que los agroecosistemas mantengan rendimientos similares a largo plazo, se debe considerar la capacidad de uso del suelo (Ramirez *et al.* 2008). Es por esto que se decide determinar la capacidad de uso del suelo para cada uno de los sitios muestreados en el presente estudio. Esto con el fin de demostrar que el tipo de vegetación presente en el lugar es el más adecuado para la intensidad de manejo que se le puede brindar.

En este sentido se determinó que los sitios A,B y D pertenecen a la clase VI (Cuadro 5), las cuales son tierras que no reúnen las condiciones requeridas para sostener cultivos anuales o permanentes intensivos, pero que permiten su uso continuado en pastoreo de moderado a bajo rendimiento sin deterioro de la capacidad productiva de la tierra, en estas se puede realizar la producción forestal, así como cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas (Cubero 1996) En esta clase se incluyen los terrenos que presentan condiciones climáticas variadas, tales como zonas de vida secas o pluviales, con períodos secos viables, afectadas por viento y/o neblinas. Además sus principales limitaciones son las características edáficas y topográficas como el drenaje, la textura, alta pedregosidad, poca profundidad y baja fertilidad natural (Tosi 1985).

El sitio C pertenece a la clase IV (Cuadro 5), en la cual entran las tierras con condiciones agroecológicas tales que no permiten su uso para cultivos anuales, pero que sí permiten la siembra, labranza y recolección de cultivos de moderado (más de dos años) o largo período vegetativo, herbáceos o arbustivos que no necesiten de la remoción frecuente y continuada del

suelo, ni lo dejen desprovisto de una densa cobertura vegetal protectora excepto por períodos breves y poco frecuentes, por lo que se restringe a un uso de vegetación semipermanente y permanente. Los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas, excepto en climas pluviales, donde este tipo de cultivo no es recomendable (Cubero 1996). En general, se incluyen en esta clase los terrenos que se encuentran en condiciones climáticas húmedas, muy húmedas y pluviales, susceptibles a la erosión para cultivos anuales presentando como principal limitante la pendiente (Tosi 1985).

Cuadro 5. Capacidad de uso del suelo y unidad de manejo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.

Sitio	Clase	Unidad de manejo
A	VI	VI e ₁₂ s ₁₂ d ₁ C ₁₂
B	VI	VI e ₁₂ s ₁₂ d ₁ C ₁₂
C	IV	IV e ₁₂ s ₂ C ₁₂₃₄
D	VI	VI e ₁₂ s ₂ d ₁ C ₁₂₃₄

Por lo descrito anteriormente es que se puede determinar que los sitios A, B y D se encuentran en uso adecuado, ya que estos corresponde a uso forestal, combinaciones con cultivos permanentes y pastoreo respectivamente. Es por esto que ellos no representan gran problemática en cuanto a la generación de sedimentos por la degradación del suelo. Caso contrario del sitio C el cual corresponde a vegetación de cultivos anuales agrícolas entrando en un sobreuso del suelo, según su unidad de manejo, y el cual es el que presenta mayor cantidad de suelo erosionado. En este caso se debe trabajar sobre los factores limitantes para disminuir los efectos negativos producto del uso de la tierra (Ramírez 2008).

Este sobreuso de las tierras genera importantes problemas ambientales, sociales y económicos, al implicar en muchas ocasiones procesos degradativos irreversibles (Maldonado y Rodríguez 1997). La sobreexplotación de las tierras se refiere a que el uso de la tierra no va de acuerdo a las limitaciones físicas y climáticas del terreno, basado en la capacidad de uso para producir en forma sostenida cultivos, pastos y bosque, sin deterioro del suelo y por periodos prolongados (Cubero 1996).

Este problema de sobreexplotación del suelo mencionado en este análisis concuerda con otros estudios realizados en la región de Tierra Blanca. Melo (1991), determina que el 75,5% de los suelos se encuentran en una condición de sobreuso, donde las pendientes superaban al 8% y se cuenta con prácticas de conservación de suelos deficientes. El ICE (2000), menciona que el 24,75% del área de la cuenca en las partes media y alta se encuentran bajo esta condición, la cual que provoca degradación de los suelos, erosión, daños a infraestructura vial y a las represas hidroeléctricas.

Pérdida de suelo con la formula universal de perdida de suelo (USLE). El cuadro 6 muestra los valores de los distintos factores del modelo USLE para los sitios de estudio. Calculados según la literatura bajo valores ya establecidos para las condiciones presentes en cada sitio. Los valores de

pérdida de suelo estimadas por la USLE representaron 4,5 Mg ha⁻¹ año⁻¹, 5,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹, 21, 2 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y 6,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en los sitios A, B, C y D, respectivamente (cuadro 6).

En la figura 4 se comparan las pérdidas anuales de suelo medidas en las parcelas experimentales con las estimaciones de la ecuación USLE. Se observa que, en promedio, el modelo sobrestima las pérdidas de suelo en un 73%. Esto concuerda con otros estudios los cuales señalan que al comparar parcelas con distintos manejos forestales en pendiente entre 9 y 18%, reportaron una sobrestimación de la USLE de 21% (Aldrich y Slaughter 1983), también Hart (1984) realizó estudios de parcelas con cobertura y suelo descubierto, y encontró que la USLE sobreestima entre 81 y 279 veces las pérdidas de suelo en los suelos secos, con pendientes de 32% y entre 13%-51% en los suelos húmedos con un 10% de pendiente. Por lo que se puede deducir que la USLE tiende a sobrestimar el efecto de la pendiente en las laderas (Mclsaac, *et al* 1987).

Otra de las causas importantes de la sobrestimación de erosión de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), es el hecho de que se trata de un modelo desarrollado para los Estados Unidos (Merrit, Letcher y Jakeman 2003), el cual proporciona grandes errores en las estimaciones para los países tropicales, por sus diferencias en condiciones climáticas, topográficas y usos de las tierras. Además debido a su origen empírico y los procedimientos para calcular cada uno de los factores, se destaca que estos no son universales, es decir, la certeza de sus predicciones es mayor a medida en que las condiciones en que se aplique se asemejen a las condiciones donde inicialmente se obtuvieron (Olivares, *et al* 2008).

Cuadro 6. Factores calculados para la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y Valores de A (Mg ha⁻¹ año⁻¹) para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.

Sitio	R	K	LS	C	A
A	274,8	0,16	14,5	0,007	4,5
B	274,8	0,16	17,6	0,007	5,4
C	160,1	0,16	2,4	0,340	21,2
D	434,9	0,11	14,8	0,009	6,4

En términos generales, a pesar de las diferencias observadas en cuanto a la magnitud de erosión, el modelo USLE fue capaz de establecer las mismas tendencias (Olivares, *et al* 2008), observando que los valores estimados siguen una distribución similar a los obtenidos en campo. En los cuales el sitio A sigue siendo el que registra la menor tasa de erosión y el sitio C la más alta, con respecto a los sitios B y D se mantienen en el medio presentando tasas muy similares.

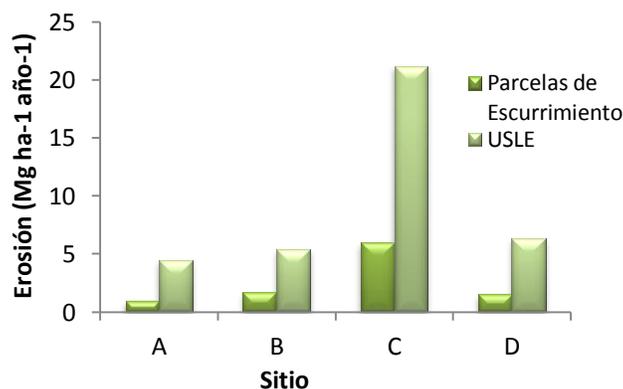


Figura 4. Erosión ($\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), calculada por el método de parcelas de escurrimiento y con la fórmula universal de pérdida de suelo (USLE), para los sitios de muestreo (A: Peralta, B: Peralta, C: Tierra Blanca, D: Santa Cruz), en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica, 2013.

Conclusiones

La pérdida más grande de suelo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), se presentó en el sitio C bajo cultivo agrícola, y la menor en el sitio A que corresponde a plantación forestal de Cedro y Melina. Los sitios A, B y D estadísticamente no presentaron diferencias significativas, pero estos a su vez difieren del sitio C. Estas diferencias están dadas por el tipo de cobertura, ya que la cobertura vegetal protege el suelo gracias a la intercepción de las gotas de lluvia, al igual que mejora la infiltración, estructura y estabilidad de este. Dada las características de los sitios estudiados al plantar un árbol se captura o se retiene $0,005 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ de suelo.

Los resultados obtenidos en cuanto a cuantificación de erosión son menores a los registrados en estudios anteriores, esto por la influencia del período de muestreo.

La pérdida de suelo que presente un determinado lugar va estar influenciada por de las características físicas del suelo, así como la cantidad de materia orgánica, porcentajes de arcilla, limo y arena, densidad y estructura. Dado que estas son las responsables del comportamiento del suelo ante los eventos climáticos de la zona.

La precipitación muestra un efecto directo proporcional a las cantidades de pérdida de suelo presentadas en el sitio, dado que a mayor precipitación las tasas de erosión aumentarían. Sin dejar de lado que las tormentas son las principales causantes de tal efecto. Otra de las variables que actúa en el proceso es la pendiente, ya que a mayores pendientes mayores pérdidas, por la susceptibilidad de las partículas del suelo a ser removidas y arrastradas pendiente abajo.

El sitio C se encuentra bajo una condición de sobreuso, mientras que los demás se encuentran en un uso adecuado. Presentando mayor problemática en cuanto a degradación y pérdida de suelo el sitio C.

La fórmula universal de pérdida de suelo (USLE), sobreestima en un 73% las cantidades de erosión en los sitios, dado que esta fórmula no está adaptada para los países tropicales, y cuenta con un fuerte error a la hora de calcular el efecto de la pendiente con la longitud de la misma.

Recomendaciones

Se recomienda desarrollar una investigación de pérdida de suelo, por un tiempo prolongado para cuantificar las tasas reales de erosión al menos por un año, para poder observar la tendencia de esta con el pasar del tiempo.

Implementar mayor cantidad de sitios de muestreo con características variadas, en cuanto a tipo y densidad de cobertura, porcentajes de pendiente, tipo de suelo, régimen de precipitación en la zona y manejo y uso de la tierra.

Promover el manejo adecuado de los suelos, para permitir que el cultivo agrícola se realice en forma rentable sin crear una gran problemática en cuanto al tema de erosión. Siendo este rentable tanto económicamente como ambientalmente.

Promover la aplicación de sistemas de conservación de suelo, agroforestales y silvopastoriles que ayuden a disminuir las tasas anuales de pérdida de suelo, el aumento de cobertura boscosa mejoraría la estabilidad de los suelos y el balance hídrico.

Agradecimientos

Este proyecto se realizó con la ayuda y financiamiento del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la unidad Centro de servicio y gestión ambiental RIOCAT.

A los profesionales del ICE y ITCR, que han compartido su conocimiento y han apoyado en el desarrollo de esta investigación, en especial al profesor y tutor MSc. Edwin Esquivel Segura, Msc. Carlos Zelada Fonseca y Max Piñar Obando. A los productores y dueños de las fincas donde se realizó el estudio.

Referencias

- Aldrich, J; Slaughter, C. 1983. Soil erosion on subarctic slopes. *Journal of Soil and Water Conservation*. 38(2): 115-118.
- Almorox, J; De Antonio, R; Cruz, M; GASCÓ, J. 1994. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Editorial Agrícola Española. Madrid, ES.
- Apolo. 1980. Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en la Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 84 p.
- Arias, O. 2005. Retos para la Agricultura en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(2): 157-166.
- Arriaga, F; Lowery, B. 2003. Erosion and productivity. *Encyclopedia of Water Science*. New Yor, US. pp. 222 - 224.
- Assouline, S; Mualem, Y. 1997. Modelling the dynamics of seal formation and its effect on infiltration. *Water Resour.* no. 33: 1527-1536

- Bakker, M; Govers, G; Rounsevell, M. 2004. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena*. no. 57: 55-76.
- Belmonte, F; Romero, M. 1992. Evaluación de la capacidad de interceptación de la lluvia por la vegetación y su relación con la erosión de los suelos en el SE semiárido español. *Estudios de Geomorfología en España*. 33-43.
- Braud, I; Vich, A; Zuluaga, J; Fornero, L; Pedrani, A. 2001. Vegetation influence on runoff and sediment yield in the Andes region: observation and modeling. *Journal of Hydrology*. no. 254: 124-144.
- Cabezas, J; Vaquero, P; Escudero, J. 1991. Valoración de las lluvias interceptadas por especies de matorral dotadas de distintas estrategias estructurales. *Ecología*. no. 5: 163-171.
- Calvo, G; Pérez, A. 2002. I Congreso Nacional de Agricultura Conservacionista. San José, Costa Rica. (en línea). Consultado 29 May, 2013. Disponible en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/f08-8080_009.pdf
- Capolongo, D; Diodato, N; Mannaerts, C; Piccarreta, M; Strobl, R. 2008. Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (Southern Italy). *Journal of Hydrology*. no. 356: 119–130.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2003. Caracterización y diagnóstico de las subcuencas tributarias del sistema hidroeléctrico Birrís. Informe de consultoría. Presentado a la junta administrativa del servicio eléctrico de Cartago (JASEC). Turrialba, CR.
- CATIE. 1994. Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales Área de manejo de cuencas: Balance de N, P, K, Ca y Mg para tres ciclos de rotación Frijol-Maíz con prácticas de conservación de suelo, en tierras de ladera, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Cartago, CATIE.
- Chen, L; Huang, Z; Gong, J; Fu, B; Huang, Y. 2007. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. *Catena*. no. 70: 200-208.
- Chen, L; Messing, I; Zhang, S; Fu, B; Ledin, S. 2003. Land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the loess plateau in China-case study in a small catchment. *Catena*. no. 54: 303-316.
- Contreras, J; Bonillas, C.; Troncosa, J. 2012. Nuevo Método de evaluación del riesgo de erosión hídrica en operaciones forestales basado en la variabilidad de las precipitaciones. *Bosque*. 33 (1): 85-86.
- Coppin, N; Richard, I. 1990. Use of vegetation in civil engineering. Butterworths, London, UK, CIRIA.
- Cortes, V; Oconitrillo, G. 1987. Erosión de suelos hortícolas en el área de Cot y Tierra Blanca de Cartago. Tesis Lic. San José, CR, UCR. 158 p.
- Cubero, D. 1996. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. San José, CR, UNED. 278 p.
- Descheemaeker, K; Nyssen, J; Poesen, J; Raes, D; Haile, M; Muys, B; Deckers, S. 2006. Runoff on slopes with restoring vegetation: a case study from the Tigray highlands Ethiopia. *Journal of Hydrology*. no. 33: 219-241.

- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2011. InfoStat-e versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Diodato, N., Bellocchi, G., 2007. Estimating monthly (R) USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. *Journal of Hydrology* 345, 224–236.
- El Kateb, H; Zhang, H; Zhang, P; Mosandl, R. 2013. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*. no. 105: 1-10.
- Evans, R. 2006. Sustainable practices to limit soil erosion: a review and discussion. *CAB Reviews: Perspective in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. (en línea). Consultado 6 Ago. 2013. Disponible en <http://www.cababstractsplus.org/cabreviews>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Los Bosques y el Agua: Estudio temático elaborado en el ámbito de la evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Roma, IT. 120 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).1989. Evaluación de los estados de erosión hídrica de los suelos en Costa Rica. Informe técnico No.2-E. Programa de cooperación FAO, Roma, IT.
- Fenton, T; Kazemi, M; Lauterbach-Barrett, M. 2005. Erosional impact on organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil and Tillage Research*. 81(2):163-171.
- Forsythe, W. 1975. Física de suelo. Manual de laboratorio. San José, CR, IICA. 212 p.
- Galvis, J. 2005. Evaluación del efecto de la intensidad de labranza en la formación del sellamiento superficial en un Oxisol de sabana en los Llanos Orientales de Colombia. Tesis MSC. Ciencias agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. 114p.
- Gisbert, J; Ibañez, S; Moreno, H. La textura de un suelo. Universidad Politécnica de Valencia. ES.
- Gutiérrez, O. 2001. Estimación de costos de restauración de bosques y ajuste ambiental de tarifa eléctrica: Estudio de caso de la empresa hidroeléctrica JASEC en Costa Rica. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 75 p.
- Hart, G. 1984. Erosion from simulated rainfall on mountain rangeland in Utah. *Journal of Soil and Water Conservation*. 39(5): 330-334.
- Hewlitt, J; Nutter, W. 1969. An outline of forest hydrology. Athens, University of Georgia, USA. 137 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2008. Plan de cuenca del Río Reventazón-Parismina 2008-2010. PREVDA, Unidad de Gestión nacional, CR. 196 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad).1999. Plan Integral de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón. Instituto Costarricense de Electricidad. San Jose, Costa Rica. 550 pp.
- Irvem, A; Topaloglu, F; Uygur, V. 2007. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*. no. 336: 30–37.

- Jia, T; Du, S; Zhou, L. 2002. Historical changes and eco-reestablishing strategy for Qinba mountain region. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Social Science. no. 02: 12-16.
- Kohnke, H. Soil physics. Mcgraw-hill, New York, US. 224 p.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology. Soil Sci. no. 47: 425-437
- Lianes, E. 2008. Estudio del factor de vegetación C de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada "RUSLE" en la cuenca del río Birris, Costa Rica. Tesis. M.Sc. Madrid, ES, Universidad Politécnica de Madrid.
- Lianes, E; Marchamalo, M; Roldan, 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 Rio Birris, Costa Rica. Agronomía Costarricense. 33(2): 217-235.
- Llerena, C; Hermoza, R; Llerena, L. 2007. Plantaciones forestales, agua y gestión de cuencas. El Agrario. (en línea). Consultado 6 Ago. 2013. Disponible en <http://www.cepes.org.pe/debate/debate42/03-llerena.pdf>
- Loch, R; Silburn, D. 1996. Constraints to sustainability-soil erosion. Sustainable Crop Production in the Sub-tropics: an Australian Perspective.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT); UNED (Universidad Estatal a Distancia, CR). 1994. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. EUNED. San José, CR. 278 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR); MIRENEM (Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas, CR). 1995. Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. San José, CR. 59 p.
- Maldonado, T; Rodríguez, C. 1997. Estudio, análisis y cartografía de la capacidad de uso de la tierra en las clases forestales. Costa Rica. San José, CR, Fundación Geotrópica. 34 p.
- Marcano, J. 2011 Importancia de los Bosques:El Agua.(en línea). Consultado 6 Ago. 2013. Disponible en <http://www.jmarcano.com/bosques/importan>
- Mathys, N; Klotz, S; Esteves, M; Descroix, L; Lapetite, J. 2005. Runoff and erosion in the black marls of the French Alps: observations and measurements at the plot scale. Catena. no. 63: 261-281.
- Mclsaac, G; Mitchell, J; Hirschi, M. 1987. Slope steepness effects on soil loss from disturbed lands. Transactions of the ASAE. 30(4): 1005-1013.
- Melo H. 1991. La conservación de suelos en Tierra Blanca, Cartago, Costa Rica: niveles de adopción y alternativas para incrementarlos. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 143 p.
- Merritt, W; Letcher, R; Jakeman, A. 2003. A review of erosion and sediment transport models. Environmental Modelling & Software. no. 18: 761-799.
- Mohammad, A; Adam, M. 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. Catena. no. 81: 97-103.

- Morgan, R. Rickson, R. 1995. Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. London, UK, E & FN Spon.
- Muller, S. 1997. Evaluating the sustainability of agriculture: The case of the Reventado river watershed in Costa Rica. *Economics and Management*. 2194:1-223 .
- Nearing, M; Jetten, V; Baffaut, C; Cerdan, O; Couturier, A; Hernandez, M; Le Bissonnais, Y; Nichols, M; Nunes, J; Renschler, C; Souchère, V; Van Oost, K. 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*. no. 61: 131-154.
- Neary, D; Ice, G; Jackson, C. 2009. Linkages between forest soil and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*.
- Neder, L; Busnelli, J y Sampietro, M. 2010. Incremento de Erosión y Suelos degradados por acciones antropogenicas y variaciones climáticas, Tucuman. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 66(4): 499-504.
- Ngatunga, E; Lal, R; Uriyo, A. 1984. Effects of surface management on runoff and soil erosion from some plots at Mlingano, Tanzania. *Geoderma*. no. 33: 1-12.
- Nyssen, J; Vandenreyken, H; Poesen, J; Moeyersons, J; Deckers, J; Haile, M; Salles, C; Govers, G. 2005. Rainfall erosivity and variability in the northern Ethiopian highlands. *Journal of Hydrology*. no. 311: 172-187.
- Olivarez, B; Lobo, D; Verbist, K; Vargas, R; Silva, O. 2008. Evaluación del modelo USLE para la estimación de la erosión hídrica en un alfisol ubicado en la Comuna San Pedro, Chile.
- Oyarzun, C; Frene, C; Lacrampre, G; Huber, A; Harve, P. 2011. Propiedades Hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente Cobertura Vegeta. *Bosque*. 32 (1): 10 -19
- Pizarro, R; Morales, C; Vega, L; Valdés, R; Olivares, C; Balocchi, F. 2010. Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial en Zonas Áridas y Semiáridas de Chile Central. *Aqua-Lac*. 2(2): 1-11.
- Pla, I. 1993. Propiedades físicas del suelo, relaciones con la productividad y procesos de degradación, métodos de evaluación y modelaje. Venezuela. 1-35.
- Polyakov, V; Lal, R. 2004. Modeling soil organic matter dynamics as affected by soil water erosion. *Environment International*. no. 30: 547-556.
- Ramírez, L; Alvarado, A; Pujol, R; Brenes, L. 2008. Caracterización física de la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 32(2): 73-92.
- Ramirez, L; Mchugh, A; Alvarado, A. 2008. Evolución histórica y caracterización socioeconómica de la cuenca media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 32(2): 53-72.
- Robledo, W. 2003. Pago por servicios ambientales para la implementación de sistemas agroforestales en áreas críticas de las cuencas generadoras de energía eléctrica María Lina y Los Esclavos, Guatemala. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 174 p.
- Romkens, M; Prasad, S; Whisler, F. 1990. Surface sealing and infiltration .Estudios de procesos en la hidrología de laderas. 127-172.

- Rorke, B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion in hillslope. *Geomorphology*. no. 32: 385-415.
- Ruiz-Colmero, M; Bienes, R, Eldridge, D y Marques, M. 2013. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena*. 104: 153-160.
- Sogreah; I; Gómez, C; Asociados S.A. SINCERGIA69 S.A. 2000. Plan de manejo de la cuenca del Río Reventazón (plan operativo). San José, Costa Rica. 271p.
- Stallings, J. 1962. El suelo, su uso y mejoramiento. Compañía editorial S.A. MX. D.F. p. 152-153.
- Styczen, M; Morgan, R. 1995. Engineering properties of vegetation. A Bioengineering approach. 5-58.
- Suazo, M. 1995. Caracterización y sistematización de las tecnologías sobre prácticas y obras de conservación de suelos en la cuenca media del río Reventado, Cartago. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 170 p.
- Sumner, M; Stewart, B. Soil Crusting: Chemical and Physical Processes. Lewis, Boca Raton. *Revista europea de la Ciencia del suelo*. 4 (47): 425- 437.
- Terwilliger, V. Waldron, L. 1990. Assessing the contribution of roots to the strength of undisturbed, slip prone soils. *Catena*. no. 17: 151-162.
- Thomas,A; Walsh, R; Shakesby, R. 1999. Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal. *Catena*.no. 36: 283-302.
- Thornes, J. 1990. The interaction of erosional and vegetational dynamics in land degradation: spatial outcomes. *La vegetación y la erosión: Los procesos y entornos*. 41-53.
- Tosi, J. 1985. Sistema para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. Centro Científico Tropical. San José, CR. 106 p.
- Turnbull, L; Wainwright, L; Brazier, R. 2010. Changes in hydrology and erosion over a transition from grassland to shrubland. *Hydrological Processes*. 24: 393–414.
- Uri, N; Lewis, J. 1998. The dynamics of soil erosion in U.S. agriculture. *The Science of the Total Environment*. no. 218: 45–58.
- Vacca, A; Loddo, S; Ollesch, G; Puddu, R; Serra, G; Tomasi, D; Aru, A. 2000. Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia, Italy. *Catena*. no. 40: 69-92.
- Vahrson, W. 1990. El potencial erosivo de la lluvia en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 14(1): 15-24.
- Valentin, C; Bresson, L. 1992. Erosional crusts: morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma*. no. 55: 225-245.
- Vásquez, R; Ventura, E; Oleschko, K; Hernandez, L; Parrot, J; Nearing, M. 2010. Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. *Catena*. no. 80: 162-169.
- Villalobos, F. 1988. Estudio sobre la erosión de los suelos de la zona norte de Cartago. Tesis M.Sc. San José, CR, UCR. 102 p.

- Vincenzi, J. 2001. Manejo de cuencas un nuevo desafío para el ICE. *Energía y Telecomunicaciones (CR)*. 11(1): 100-111.
- Wei, W; Chen, L; Fu, B; Huang, Z; Wu, D; Gui, L. 2007. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*. no. 335: 247–258.
- Wischmeier, W; Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. U.S. department of Agriculture, *Agriculture Handbook No. 537*.
- Wischmeier, W. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Science and education administration United States department of agriculture in cooperation with Purdue Agricultural experiment station. (US).
- Woo, M; Fang, G; Dicenzo, P. 1997. The role of vegetation in the retardation of rill erosion. *Catena*. no. 29: 145-159.
- Woo, M; Luk, S. 1990. Vegetation effects on soil and water losses on weathered granitic hillslopes, south China. *Physical Geography*. no. 11: 1-16.
- Wu, T. 1995. Estabilización de taludes. Un enfoque bioingeniería. Londres, UK. 221-264.
- Xiubin, H; Tang, K y Zhang, X. 2004. Soil erosion dynamics on the Chinese Loess Plateau in the last 10 000 years. *Mountain Research and Development*. 24 (4): 342-347.
- Zavaleta, E; Cruz-Jimenez, H y Marquez, J. 2012. Potencial de infiltración de agua a partir de la retención de una plantación forestal. *Foresta Veracruzana*. 14(1): 23-28.
- Zhang, B; Yang, Y; Zepp, H. 2004. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey plinthudult in southeastern China. *Catena*. no. 57: 77-90.
- Zheng, F. 2006. Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau. *Pedosphere*. 16(4): 420-427.
- Zhou, P; Luukkanen, O; Tokola, T; Nieminen, N. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed, *Catena*. 7: 319–325.