

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**EROSIÓN HÍDRICA BAJO TRES ESTADIOS DE SUCESIÓN
DE BOSQUE DENTRO DEL PARQUE NACIONAL PALO
VERDE, COSTA RICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA
FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

IGNACIO JOSÉ ROJAS ZELEDÓN

CARTAGO, COSTA RICA

JUNIO 2017



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**EROSIÓN HÍDRICA BAJO TRES ESTADIOS DE SUCESIÓN
DE BOSQUE DENTRO DEL PARQUE NACIONAL PALO
VERDE, COSTA RICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA
FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

IGNACIO JOSÉ ROJAS ZELEDÓN

CARTAGO, COSTA RICA

JUNIO 2017

EROSIÓN HÍDRICA BAJO TRES ESTADIOS DE SUCESIÓN DE BOSQUE DENTRO DEL PARQUE NACIONAL PALO VERDE, COSTA RICA

Ignacio José Rojas Zeledón*

RESUMEN

Se estudió la erosión hídrica bajo tres estadios de sucesión de bosque en el Parque Nacional Palo Verde. Se evaluaron las tasas de erosión y sedimentación por efecto de las lluvias bajo tres estadios de sucesión de bosque: temprano, intermedio, tardío y tres condiciones de pendiente 20, 30 y 40% en las inmediaciones de la laguna Palo Verde, en la provincia de Guanacaste, Bagaces-Costa Rica. El área de estudio se caracteriza por tener suelos arcillosos y asociados a cerros calizos que se elevan abruptamente desde los humedales a nivel del mar hasta alcanzar una altura cercana a los 1000 m.s.n.m. Se encontraron diferencias significativas entre estadios de sucesión, no así entre los diferentes porcentajes de pendiente. Bajo una intensidad de lluvia máxima promedio de 23 mm/15 min, el estadio de sucesión temprano fue el que generó mayor cantidad de sedimentos con un valor promedio de 4,75 Mg/ha/año.

PALABRAS CLAVE: Erosión hídrica; sedimentación; estadio de sucesión; suelo; porcentaje de pendiente

*Rojas, I. (2017). *Erosión hídrica bajo tres estadios de sucesión de bosque dentro del Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

EROSIÓN HÍDRICA BAJO TRES ESTADIOS DE SUCESIÓN DE BOSQUE DENTRO DEL PARQUE NACIONAL PALO VERDE, COSTA RICA

Ignacio José Rojas Zeledón*

ABSTRACT

Hydric erosion was studied under three forest stages of succession in Palo Verde National Park. Erosion and sedimentation rates were evaluated on three tropical dry forest stages of succession: early, intermediate, late and three slope conditions 20, 30 and 40% affected by the rain around Palo Verde lagoon in Guanacaste region, Bagaces-Costa Rica. The study area is characterized because of their clayey soils and proximity to chalky hills that overlap abruptly from sea level to 1000 m.a.s.l. approximately. It found significant differences between stages of succession, but not between the three different slope percentages. Under a maximum rain intensity average of 23 mm/15 min, the early stage succession is the highest sediment producer with an average value of 4.75 Mg/ha/year.

KEYWORDS: Hydric erosion; sedimentation; stage of succession; soil; slope percentage

*Rojas, I. (2017). *Erosión hídrica bajo tres estadios de sucesión de bosque dentro del Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por M.Sc. Braulio Vílchez Alvarado, Lic. Dorian Carvajal Vanegas y Ph.D. Edwin Esquivel Segura como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Braulio Vílchez Alvarado M.Sc.

Director de tesis



Edwin Esquivel Segura Ph.D.

Profesor lector



Dorian Carvajal Vanegas Lic.

Coordinador de Trabajos finales

de graduación y Profesor lector



Ignacio José Rojas Zeledón

Estudiante

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
ACREDITACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	v
INTRODUCCIÓN.....	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
Sitio de Estudio	4
Diseño Experimental.....	5
Propiedades físicas del suelo.....	8
Densidad aparente del suelo.....	9
Textura del suelo	9
Contenido de Materia Orgánica (MO) del suelo.....	10
Datos meteorológicos	11
Análisis de Datos	12
RESULTADOS	12
DISCUSIÓN.....	17
CONCLUSIONES.....	21
RECOMENDACIONES	21
AGRADECIMIENTOS	21
REFERENCIAS	22

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características físicas promedio del suelo en los diferentes estadios de sucesión muestreados dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	14
Cuadro 2. Resumen de datos meteorológicos para diferentes años en la estación meteorológica OET dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica y principales tipos de cobertura vegetal del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	5
Figura 2. Localización geográfica de las parcelas de medición de la erosión y sedimentación dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	6
Figura 3. Pines de medición de la erosión y técnica de medición dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	7
Figura 4. Diseño de parcelas por el método de pines de erosión (MPE) del proyecto sobre erosión hídrica bajo diferentes tipos de cobertura vegetal dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	8
Figura 5. Erosión y sedimentación en toneladas por hectárea por año bajo diferentes estadios sucesionales de bosque y porcentajes de pendiente para el Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	13
Figura 6. Erosión y sedimentación promedio en toneladas por hectárea por año bajo diferentes estadios sucesionales de bosque en tres rangos de intensidad de lluvia para el Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.	17

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es un proceso natural poco perceptible para el ser humano en un corto plazo, este fenómeno se encarga de esculpir la superficie terrestre por medio del agua, el hielo o el viento, dando como resultado la geomorfología propia de un sitio (Leopold, Wolman & Miller, 1992). Costa Rica particularmente es influenciado por la “Zona de Convergencia Intertropical” (ZCIT); éste es un patrón de lluvias de distribución latitudinal afectado por la convergencia de los vientos alisios del noreste (NE) y del sureste (SE), caracterizado por eventos convectivos de alta intensidad (Cavelier y Vargas, 2002).

Los bosques húmedos y secos tropicales de la Región Chorotega en Costa Rica fueron desplazados por pastizales durante la década de 1960 debido principalmente a la expansión ganadera, la cual respaldó en ese momento la actividad socioeconómica de mayor auge en la zona; sin embargo, los cambios políticos y de mercado tanto mundial como regional desencadenaron un abandono masivo de estas tierras. Gradualmente, la sucesión natural colonizó estas áreas y por tanto, el bosque secundario es en la actualidad la cubierta predominante del suelo (Granda, Finegan, Ramos, Detlefsen y Molina, 2015).

Entre las áreas de sucesión secundaria de la región, está el Parque Nacional Palo Verde (PNPV), creado en el año de 1980 y catalogado Sitio Ramsar desde 1991 (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC] y Convención de Ramsar, 1998). Jaccard, Münster, Baumgartner, Mora y Denyer (2001) indicaron que el PNPV está circunscrito en la formación geológica Barra Honda, ésta se caracteriza por sus cerros calcáreos compuestos en gran medida por roca sedimentaria; también aseguran que el área bajo estudio es producto de actividad tectónica y de origen oceánico. Consecuentemente, los mogotes o forma exokárstica que acompaña el paisaje en el PNPV han sido esculpidos por un proceso de disolución en el que interviene el agua y el dióxido de carbono presente en el aire o el suelo (Ulloa, Aguilar, Goicoechea y Ramírez, 2011).

El Parque está inmerso en la cuenca baja del Río Tempisque, concentra un ecosistema estacional de humedales muy singular, rodeado de bosque tropical que sirve de refugio para infinidad de seres vivos como aves residentes y migratorias (Editorial Universidad Nacional, 2012).

El PNPV cumple con el objetivo primordial de proteger y conservar el sistema de humedales y los bosques de diversa naturaleza que allí se encuentran (Gutiérrez y Piskulich, 2013). Durante los últimos años, las lagunas que componen este humedal han sido impactadas severamente por el flujo de sedimentos que, en su gran mayoría, depositan las mareas y grandes caudales del Río Tempisque en sus estuarios (Editorial Universidad Nacional, 2012).

No obstante, se hace necesario conocer el aporte de sedimentos que puede provenir a las lagunas del PNPV por medio de la erosión de los cerros circundantes; de esta manera se podría comprender el potencial erosivo que puede desencadenar el agua por la precipitación en las laderas boscosas del PNPV. Es digno destacar que; en los alrededores del humedal se encuentran distintos tipos de cobertura vegetal a raíz de la sucesión natural secundaria desarrollada por más de 40 años; de manera que, se podrían dar diferentes aportes en cantidad de agua y sedimento al humedal.

Las redes de drenaje del PNPV se pueden clasificar todas como efímeras (Jiménez, González y Calvo, 2003); sin embargo, esta característica es variable; durante el fenómeno del Niño (2014-2015) la estación seca se ha extendido alrededor de tres meses más de lo habitual en la Vertiente del Pacífico costarricense (Instituto Meteorológico Nacional, 2015). Esta condición climática sumada a los altos valores de evapotranspiración del ciclo hidrológico local, reduce la cantidad de agua en el sistema (Arias, 2001). Indiferentemente de este componente climático, durante la estación lluviosa esta red de drenajes natural se encarga de transportar los flujos de agua hasta la laguna. Sin embargo; poco se conoce acerca de la función que tiene la escorrentía superficial sobre el humedal en cantidad de sedimentos que le aporta.

Horton (1939) mencionó tres grandes factores que determinan el proceso erosivo, estos son: (a) edáfico, incluye la textura, estructura, materia orgánica, humedad del suelo y densidad; (b) topográfico, incluye el gradiente y la longitud de pendiente; (c) hidrológico, que se ve afectado por la intensidad y duración de lluvia, capacidad de infiltración y escorrentía superficial. Según Reid, Wilcox, Breshears y MacDonald (1999) la cobertura vegetal es también un factor de influencia fundamental sobre el proceso de erosión hídrica.

Adema, Babinec y Peinemann (2001) en estudios sobre la erosión hídrica para dos tipos de suelo en la Región Patagónica de Argentina, demostraron mediante el método directo de parcelas de escurrimiento que, si la cobertura natural se encuentra intacta, los procesos erosivos son menos degradantes en comparación a sitios desnudos o con algún corte de vegetación.

Otro método directo para determinar la erosión hídrica del suelo es el de “pines de erosión”, referenciado inicialmente por Wolman en 1959 (como se cita en Lawler, 1993); tiene como premisa investigar en pequeños lapsos de tiempo las tasas de erosión y el fenómeno en sí mismo (Lawler, 1993).

Centeri, Cordier, Evelpidou, Figueiredo y Merino (2012) señalan que los tipos de erosión hídrica son clasificados de acuerdo a su ubicación dentro de una cuenca, ya sea en orillas de quebradas, canales de drenaje, superficie, barrancos, etc; mientras que los métodos para medirla son fundamentados en: cantidad de suelo perdido dentro de un área conocida, cambios topográficos y flujo de partículas. En el PNPV los espejos de agua se ven reducidos por efecto de vegetación invasiva como la *Typha domingensis*, pero se desconoce el efecto de los tipos de cobertura y pendiente alrededor del humedal.

El objetivo general del estudio fue: medir la erosión hídrica bajo tres estadios de sucesión de bosque en tres porcentajes de pendiente. Los objetivos específicos fueron: (a) establecer los índices de erosión para las diferentes condiciones de sitio;

(b) caracterizar edáfica y vegetativamente los diferentes sitios de muestreo; y (c) relacionar las intensidades de lluvia con los índices de erosión hídrica del PNPV.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

El estudio se realizó en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica, específicamente en el PNPV (Figura 1). La referencia geográfica del sitio es 10° 21' N, 85° 21' W; el Parque se encuentra ubicado dentro del Área de Conservación Arenal Tempisque (ACAT), tiene una extensión cercana a las 19 800 hectáreas, de las cuales cerca de 10 000 corresponden a bosque tropical en diferentes etapas de sucesión (Editorial Universidad Nacional, 2012).

La altitud promedio es de 120 m.s.n.m., la temperatura media anual es de 25 °C y la precipitación media anual de 1300 mm; la estación lluviosa da inicio a finales del mes de mayo y se extiende hasta diciembre, el resto del tiempo hay déficit hídrico. Durante el mes de julio las precipitaciones cesan por transcurso de quince días, lo que se conoce popularmente como canícula o veranillo (Ramírez, 1983).

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967) en el sitio se encuentra Bosque Húmedo Premontano, Bosque Húmedo Tropical y Bosque Seco Tropical. En cuanto al componente edáfico, el PNPV cuenta con una diversidad importante, los cerros que acompañan sus llanuras inundables son de origen calcáreo; muy diferente al resto del territorio, en donde gran parte de los suelos corresponden a los órdenes Vertisol y Entisol (Meléndez y Molina, 2001), estos últimos se asocian con tierras erosionadas semiáridas (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA], 2015).

Para describir de mejor manera los estadios de sucesión secundaria evaluados en este trabajo, se identificaron las especies más representativas en cada uno de ellos.

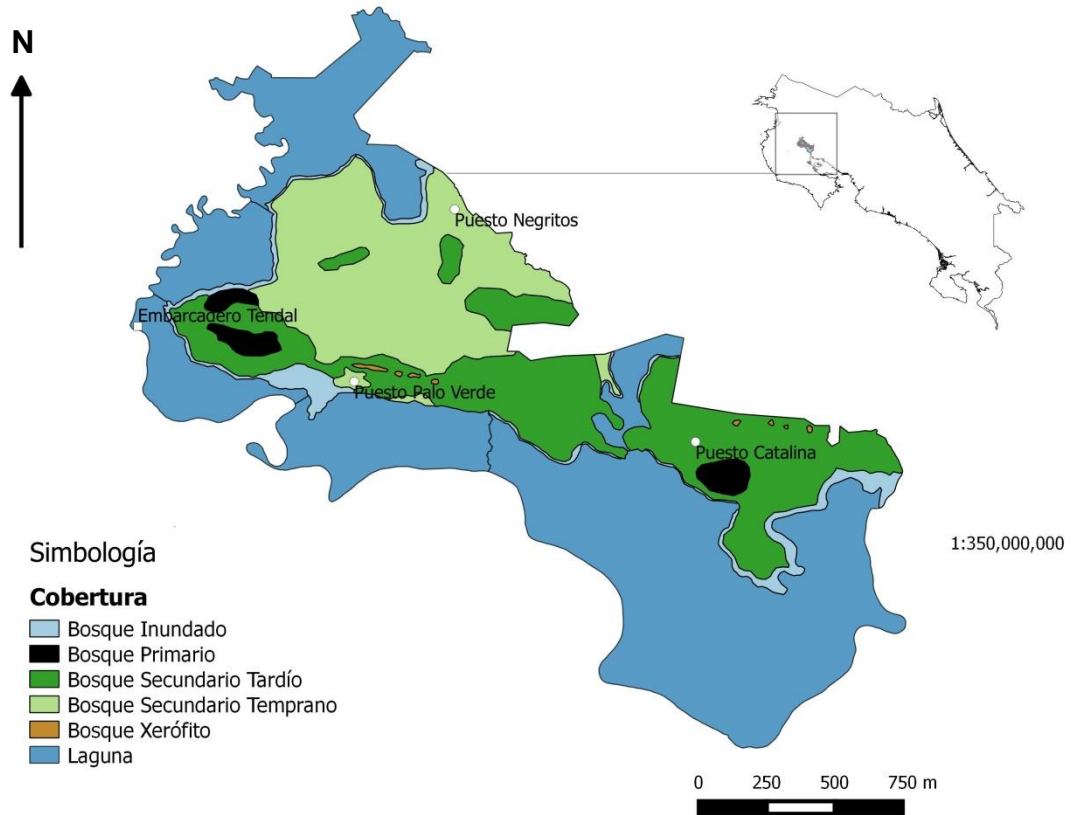


Figura 1. Localización geográfica y principales tipos de cobertura vegetal del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

Diseño Experimental

Bajo un diseño completamente aleatorio se establecieron parcelas en tres estadios sucesionales de bosque: (a) Temprano, donde existen individuos con diámetro (dap) menor a 40 cm, (b) Intermedio, donde hay individuos con diámetro (dap) entre los 40 y 70 cm y (c) Tardío, donde se encuentran individuos con diámetro (dap) superior a 70 cm. Otro tratamiento consistió en tres condiciones de pendiente, 20, 30 y 40 por ciento, con tres repeticiones por pendiente en cada estadio de sucesión, para un total de 27 parcelas de muestreo (Figura 2).

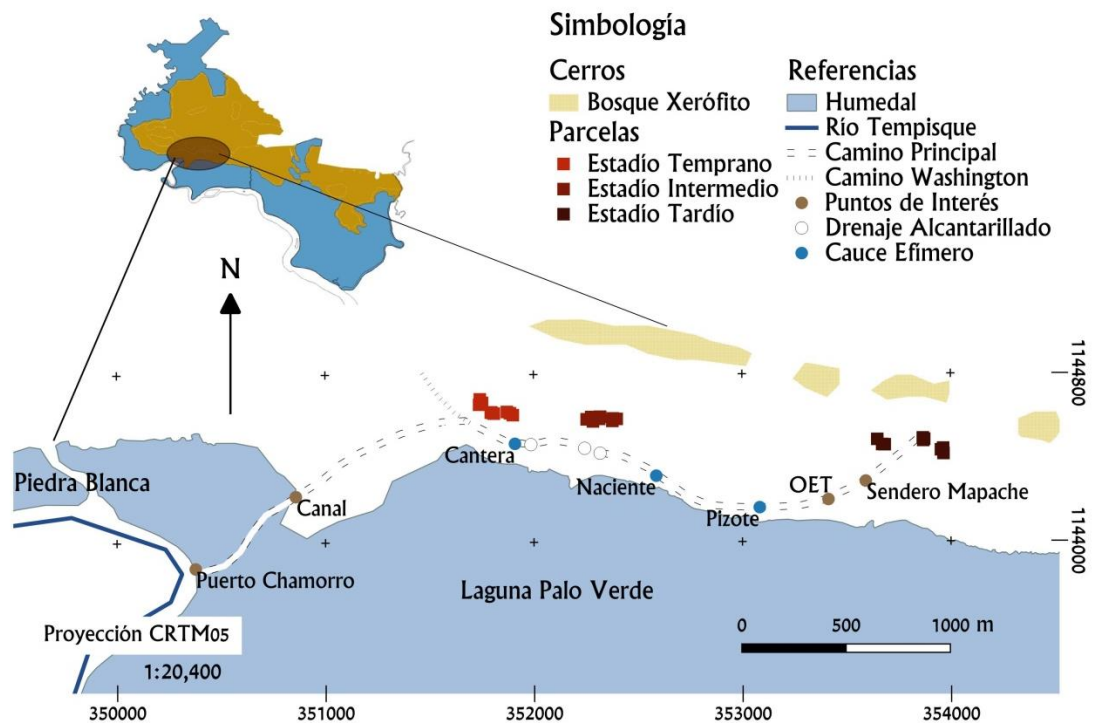


Figura 2. Localización geográfica de las parcelas de medición de la erosión y sedimentación dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

Se utilizó el Método de Pines de Erosión (MPE); los pines utilizados son de varilla de construcción corrugada en acero, cada uno de 6,4 mm (1/4 in) y 50 cm en diámetro y largo respectivamente. El diámetro de pines propuesto es lo suficientemente pequeño para evitar cualquier alteración al flujo natural de escorrentía y erosión, así como lo suficientemente resistente a cualquier torcedura o desplazamiento ante un evento de gran descarga (Lawler, 1993; Zaines, Schultz y Isenhardt, 2004). La instalación de los pines en los sitios de muestreo se realizó con un mazo, enterrándolos hasta dejar 90-100 mm de varilla expuesta, esta sección del material se sumergió previamente en pintura para facilitar su localización y medición; durante este proceso algunos pines no se pudieron enterrar según lo previsto debido a la alta pedregosidad y baja profundidad del suelo, fenómeno generalizado en toda el área de estudio.

Debido a esta circunstancia fue necesario marcar los pines expuestos en más de 40 mm con un marcador permanente a una altura conveniente para medir (Figura 3).

Con el promedio de eventos lluviosos entre 2014-2016 en tres diferentes rangos de intensidad de lluvia dentro del PNPV, se estimaron los valores de erosión anual (Mg/ha/año) multiplicando los resultados de erosión por unidad de área (Mg/ha) y los eventos anuales según la intensidad de lluvia registrada.



Figura 3. Pines de medición de la erosión y técnica de medición dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

El distanciamiento de los pines fue de 40 cm en sentido longitudinal y de 20 cm transversalmente según la pendiente, mientras que las dimensiones de la parcela fueron de 3 y 1 m de largo y ancho respectivamente (Figura 4).

En cada parcela se establecieron 40 pines, para un total de 1080 pines. Cada parcela tuvo un área de 3 m² de terreno, de manera que se muestrearon 81 m² en total.

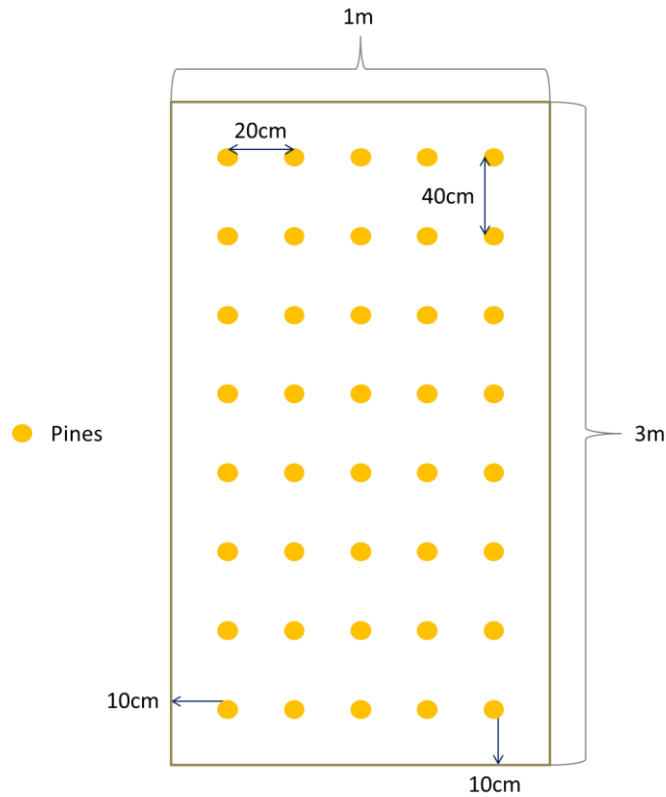


Figura 4. Diseño de parcelas por el método de pines de erosión (MPE) del proyecto sobre erosión hídrica bajo diferentes tipos de cobertura vegetal dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

Propiedades físicas del suelo

Se determinó la densidad aparente, textura y contenido de materia orgánica del suelo en cada sitio de muestreo. Además se clasificó la profundidad efectiva y la pedregosidad de forma cualitativa durante el establecimiento de las parcelas, colocando los pines directamente en el suelo y colectando las muestras con barreno en base a la guía de capacidad de uso de la tierra (Cubero, 2001).

Densidad aparente del suelo

Se recolectaron dos muestras de suelo en cada parcela de medición según el método del cilindro a una misma distancia y dirección en todos los sitios (Flores y Alcalá, 2010).

El material contenido en 83,8 mm de diámetro y 95,3 mm de altura fue llevado a una temperatura de 105 °C durante 24 horas en un Fisher Scientific Isotemp Standard Oven 600 series del laboratorio II OET Palo Verde. Una vez establecido su peso seco en balanza analítica con precisión de 0,01 g se calculó el dato requerido dividiendo dicho peso entre el volumen del cilindro (Blake y Hartge, 1986; Zaimes, Schultz y Isenhardt, 2004; Centeri, Cordier, Evelpidou, Figueiredo y Merino, 2012). De manera que la cantidad o masa de suelo erosionado y/o sedimentado por unidad de área ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) fue establecido multiplicando el cambio de longitud de la porción expuesta de los pines por la densidad aparente del suelo *in situ* (Ghimire, Higaki y Bhattarai, 2013).

Textura del suelo

Las muestras de suelo fueron recolectadas con un barreno en los diferentes sitios de muestreo, se procedió a tomar una muestra compuesta por seis mediciones en cada conjunto de parcelas bajo la misma cobertura y con representación de cada porcentaje de pendiente, lo que equivale a dos muestras por parcela. Estas muestras corresponden al suelo entre 0 y 20 centímetros de profundidad; cabe mencionar que todos los barrenos se realizaron a la misma distancia y dirección en todas las parcelas.

El procedimiento utilizado para el análisis de textura fue el de Bouyoucos (1962). Para determinar el tamaño y la cantidad de partículas presentes en el suelo, se separaron los fragmentos rocosos de las partículas finas a través del tamiz #10 (1), seguidamente se tomaron 40 gramos de partículas finas de suelo, muestra a la cual se le añadió agua destilada y peróxido de hidrogeno (H_2O_2 35%) suficiente para eliminar la materia orgánica que le componía.

Después de 24 horas se agregaron 250 mililitros de agua destilada y 50 mililitros de Hexametáfosfato de sodio, defloculante de partículas finas. Luego de otras 24 horas se mezcló la suspensión y se añadió agua destilada hasta completar 1 litro en una probeta de laboratorio. Finalmente se realizaron 2 mediciones mediante un hidrómetro, una a los 40 segundos y la otra a los 120 minutos, para determinar las concentraciones de arena (2), limo (3) y arcilla (4).

$$Fr (\%) = \frac{Fr}{Fr+Pf} * 100 \quad (1)$$

$$Arena (\%) = 100 * \frac{Ps-C_{40s}}{Ps} \quad (2)$$

$$Limo (\%) = 100 - (\% Arena + \% Arcilla) \quad (3)$$

$$Arcilla (\%) = 100 * \frac{C_{120 min}}{Ps} \quad (4)$$

Dónde

Fr: Fragmentos rocosos

Pf: Partículas finas

Ps: Peso de la muestra seca al aire (g)

C40s: Concentración de suelo en suspensión a los 40 segundos (g·L⁻¹)

C120min: Concentración de suelo en suspensión a los 120 minutos (g·L⁻¹)

Contenido de Materia Orgánica (MO) del suelo

Para la determinación del porcentaje de MO en el suelo se utilizaron las muestras recolectadas para el análisis textural.

Se recurrió al método de pérdida por ignición, el cual consistió en secar una muestra de 20 g de partículas finas a una temperatura de 105 °C durante 24 horas en un horno del laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se tomó su peso seco y posteriormente se incineró a 450 °C durante 24 horas en un horno mufla Vulcan 3-550 para obtener la oxidación cuantitativa de MO en el suelo a partir de la siguiente fórmula:

$$MO (\%) = \frac{Ps - Pc}{Ps} * 100$$

Dónde:

MO: Materia orgánica

PS: Peso seco a 105 °C (g)

PC: Peso calcinado a 450 °C (g)

Datos meteorológicos

Entre las fechas del 26 de Setiembre al 20 de Octubre del 2016 se obtuvieron los datos de precipitación de la estación meteorológica de la Organización para Estudios Tropicales (OET) ubicada dentro del PNPV, que genera datos automáticamente mediante una conexión directa con sus servidores y además se da un seguimiento manual de control con un pluviómetro que registra solo cierta cantidad de lluvia diariamente; para este trabajo solamente se contemplaron los datos de lluvia en lapsos de 15 minutos, por lo que esta unidad de tiempo fue la pauta definitiva en cuanto a intensidad de lluvia se refiera. Finalmente, cabe destacar que los resultados de erosión y sedimentación se correlacionaron tanto con datos de eventos lluviosos individuales como con datos de hasta cinco eventos acumulados.

Análisis de Datos

Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los resultados en pérdida de lámina por erosión o sedimentación fueron sometidos a la prueba Shapiro-Wilks para comprobar la normalidad de los mismos. Posteriormente, se recurrió a la transformación de datos con la intención de ajustarlos a una curva de normalidad. Ninguna de las pruebas dio resultado de distribución normal. Con respecto a la homogeneidad de varianzas, la prueba de Levene indicó que los datos cumplen con el supuesto de homocedasticidad de varianza.

Tras incumplir con el supuesto de normalidad fue necesario llevar el análisis a estadística no paramétrica y se utilizó la prueba de Kruskal Wallis para determinar si existen diferencias entre los tipos de cobertura y porcentajes de pendiente.

RESULTADOS

En la figura 5 se muestra para cada estadio de sucesión los valores de erosión o sedimentación acumulada (Mg/ha/año), distribuidos a la izquierda del cero en valores negativos y a la derecha del cero en valores positivos respectivamente; y agrupados en cada porcentaje de pendiente evaluado. No se encontraron diferencias significativas entre las pendientes de 20, 30 y 40 por ciento ($\alpha=0,05$; $p=0,16$). Sin embargo, si se encontraron diferencias significativas entre el estadio de sucesión temprano y los otros dos tipos de cobertura, intermedia y tardía. No hubo diferencias significativas entre el intermedio y el tardío. El estadio de sucesión temprano reportó un valor promedio de erosión hídrica de 4,75 Mg/ha/año bajo una intensidad de lluvia máxima promedio de 23 mm/15 min ($\alpha=0,05$; $p<0,05$).

Los resultados sugieren que bajo eventos de lluvia más intensos de 23 mm/15 min un estadio sucesional temprano podría generar pérdidas de suelo de hasta 7 Mg/ha/año.

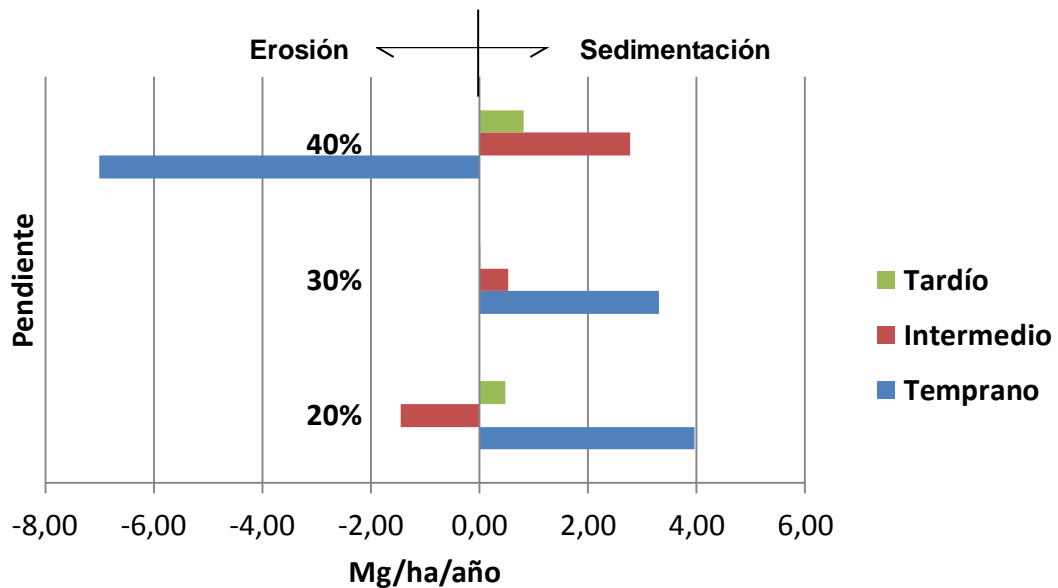


Figura 5. Erosión y sedimentación en toneladas por hectárea por año bajo diferentes estadios sucesionales de bosque y porcentajes de pendiente para el Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

El cuadro 1 muestra los valores promedio de las características físicas del suelo en el área donde se establecieron las parcelas según la cobertura forestal existente. En general, en todos los sitios se apreció una baja densidad aparente del suelo (Dick, 2004; Salamanca y Sadeghian, 2005). La densidad aparente más baja se obtuvo en una parcela bajo estadio tardío ($0,7 \text{ g/cm}^3$), mientras que el valor más alto se dio en el estadio intermedio ($1,03 \text{ g/cm}^3$). En cuanto a la clase de textura encontrada en los diferentes sitios de muestreo, hubo una tendencia en dos parcelas del estadio intermedio hacia un suelo de textura arcillo arenoso; sin embargo, todos clasifican con textura arcillosa. El contenido de materia orgánica alcanzó en casi todos los sitios un veinte por ciento de la fracción analizada.

La profundidad efectiva del suelo estuvo entre los 30 y 60 centímetros, solo en algunas áreas alcanzó los 90 centímetros de profundidad o más. Cerca del cincuenta por ciento del área muestreada presentó suelos con una profundidad menor a los 30 centímetros.

Los sitios de muestreo se clasificaron entre pedregosos y fuertemente pedregosos con valores de hasta un 30% de la superficie cubierta por piedras y/o rocas.

Cuadro 1. Características físicas promedio del suelo en los diferentes estadios de sucesión muestreados dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

Parcelas	Densidad aparente (g/cm ³)	Materia Orgánica (%)	Clase Textural	Profundidad efectiva	Pedregosidad
<i>Temprano</i>	0,79	21,28	Arcilloso	Poco profundo	Pedregoso
<i>Intermedio</i>	0,87	15,17	Arcilloso	Poco profundo	Pedregoso
<i>Tardío</i>	0,83	18,67	Arcilloso	Poco profundo	Muy pedregoso

Dentro de las especies representativas para cada estadio de sucesión, podemos mencionar en el temprano: *Alvaradoa amorphoides* (Cola de ardilla), *Rehdera trinervis* (Yayo), *Semialarium mexicanum*, *Albizia carbonaria* (Carboncillo), *Byrsonima crassifolia* (Nance), *Dalbergia retusa* (Cocobolo) y *Guazuma ulmifolia* (Guácimo ternera); en el intermedio: *Brosimum alicastrum* (Ojoche), *Astronium graveolens* (Ron-ron), *Spondias mombin* (Jobo), *Swietenia humilis* (Caoba) y *Sideroxylon capiri* (Tempisque); y en el tardío: *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste), *Manilkara chicle* (Nispero), *Sterculia apetala* (Panamá), *Guaiacum sanctum* (Guayacán Real) y *Ceiba pentandra* (Ceiba).

El estadio de sucesión temprano presentó solamente dos estratos, un dosel de poca altura y brinzales; mientras que los estadios intermedio y tardío contaban con tres estratos vegetales, un dosel bien definido, sotobosque y brinzales.

En el cuadro 2 se muestra una recopilación de datos sobre precipitación para el PNPV. A partir del año 2014 las precipitaciones han venido en aumento anualmente. Es interesante ver que durante el año 2015 la distribución de lluvias se concentró en intensidades medias y bajas, mientras que en el 2016 se presentaron lluvias con mayor intensidad que en los dos años anteriores; además de una precipitación anual que superó en 600 mm el promedio de los últimos años (1900 mm).

Cuadro 2. Resumen de datos meteorológicos para diferentes años en la estación meteorológica OET dentro del Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

	2014	2015	2016	Promedio
No. Eventos	815	618	1093	842
Intensidad Promedio	1,17	1,89	1,73	1,60
Intensidad Máxima	32,51	26,92	47,75	35,73
Precipitación Anual	953,02	1165,09	1893,06	1337,06
Eventos [8-14[Intensidad (mm)	16	31	32	26,33
Eventos [14-30[Intensidad (mm)	7	14	22	14,33
Eventos >=30mm Intensidad	1	0	2	1

Cerca de la mitad de los eventos lluviosos anuales durante los últimos tres años se registran como eventos con intensidades de lluvia medias y altas.

La figura 6 muestra los valores promedio de erosión a la izquierda en valores negativos y de sedimentación a la derecha con valores positivos para cada estadio de sucesión en tres gráficos independientes.

Cada uno de estos gráficos contiene los resultados obtenidos en eventos bajo intensidad de lluvia correspondiente al rango que se indica en la parte superior de cada uno; cabe reiterar que las intensidades de lluvia son en lapsos de quince minutos.

Es notable la diferencia del estadio de sucesión temprano con respecto al intermedio y tardío bajo cualquier intensidad de lluvia, sin embargo, lo importante en esta figura es el incremento de la erosión hídrica en todas las condiciones de sitio conforme aumentan las intensidades de lluvia.

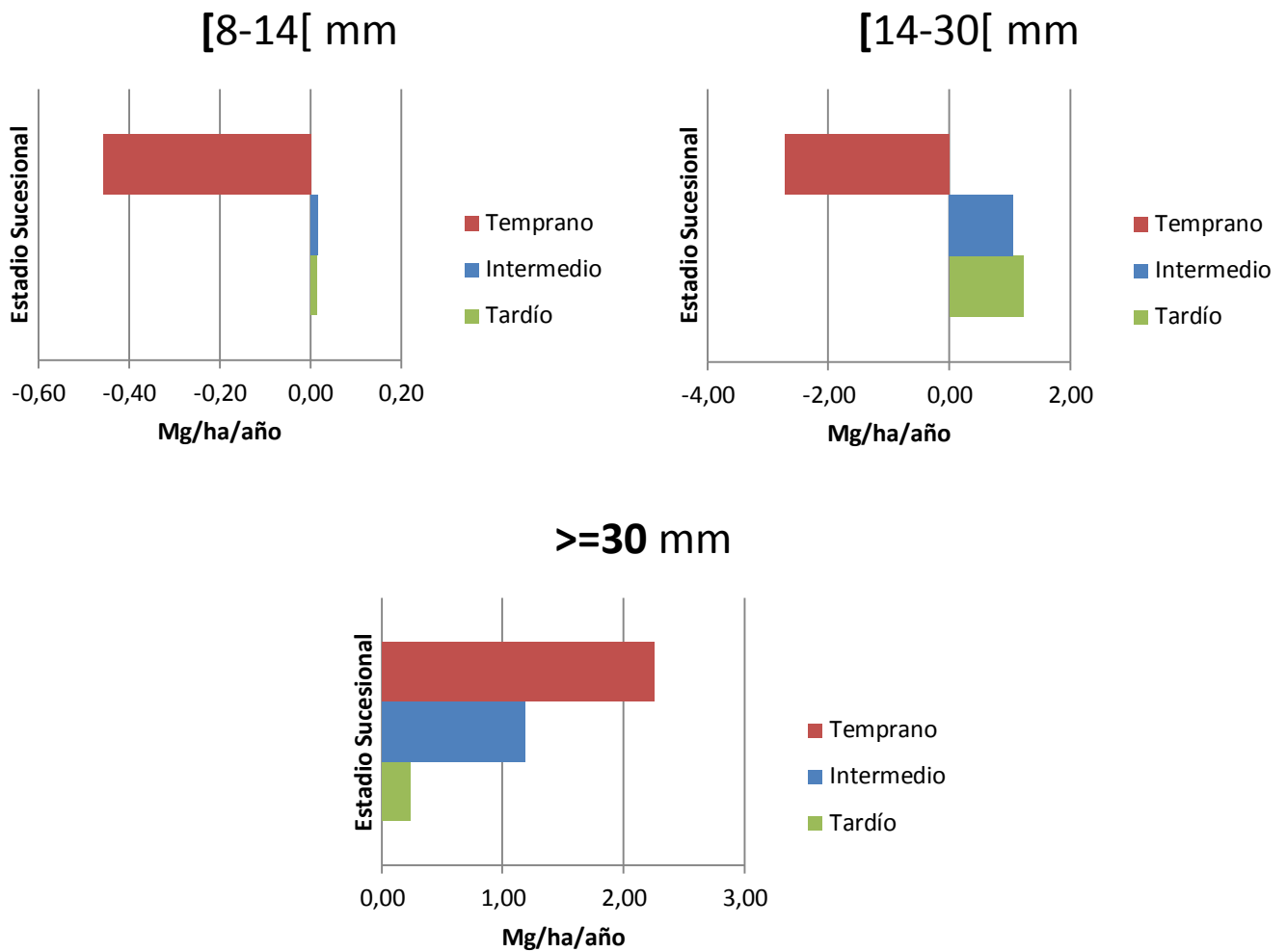


Figura 6. Erosión y sedimentación promedio en toneladas por hectárea por año bajo diferentes estadios sucesionales de bosque en tres rangos de intensidad de lluvia para el Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica.

DISCUSIÓN

Los diferentes estadios de sucesión secundaria del bosque tropical en el PNPV proporcionan una protección de gran importancia al suelo durante la estación lluviosa, la cobertura forestal menos compleja, en este caso la sucesión temprana, es capaz de interceptar hasta un 18% de la precipitación bruta (Calvo y Jiménez, 2014); por lo tanto, en términos de erosión hídrica el bosque representa una obra de conservación de suelos natural.

En la cuenca del Khajuri, al sureste de Nepal; Ghimire, Higaki y Bhattarai (2013) contabilizaron una erosión laminar promedio de 14 Mg/ha/año bajo cobertura vegetal compuesta por bosque y matorral. Este estudio presenta similitudes con el trabajo realizado en el PNPV; el método utilizado fue también el de “pines de erosión”, la pendiente evaluada fue de 20 y 30 por ciento y el bosque fue caracterizado como tropical decíduo; sin embargo, cabe destacar que la diferencia entre estudios radica en el tipo de suelo, ya que en la cuenca del Khajuri se presentaron suelos con mayor porcentaje de limo y arena, mientras que en el PNPV predominó la textura arcillosa y esta tiene relación directa con la baja densidad aparente del suelo en la zona de estudio. Otra característica importante del suelo en el PNPV es el alto porcentaje de MO, con valores típicos de suelos bajo cobertura boscosa (Salamanca y Sadeghian, 2005).

Los resultados obtenidos dentro del PNPV demostraron que la erosión laminar podría alcanzar niveles de hasta 7 Mg/ha/año bajo estadio sucesional temprano, y ante un incremento en la intensidad de las lluvias, este valor puede crecer fácilmente. La tasa de erosión en Khajuri duplicó la encontrada en el PNPV.

Para la erosión hídrica, las pendientes evaluadas no mostraron diferencias significativas entre ellas; sin embargo, es importante resaltar que sí existe una tendencia en la acumulación de sedimentos en las pendientes menores, las partes más cercanas a la laguna. La figura 5 muestra una tendencia de mayor sedimentación en pendientes bajas (20 y 30%), mientras que en la pendiente más alta (40%) predominó la erosión o pérdida de suelo. Este fenómeno revela que la topografía del PNPV puede contener en áreas planas o ligeramente onduladas parte de los sedimentos que se generan en su extensión territorial, para contrarrestar así la cantidad de sedimentos que por erosión laminar contribuirían al acumulo de los mismos dentro del humedal.

Con estimaciones del balance hídrico para la cuenca que drena la Quebrada Huertón dentro del PNPV y datos de escorrentía medidos por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la Estación Guardia; Jiménez, González y Calvo (2003) compararon los resultados de escorrentía en ambos sitios y determinaron que la Quebrada Huertón aporta una escorrentía media anual de 500 mm al Estero Chamorro, el cual descarga finalmente sus aguas en la Laguna Palo Verde.

A pesar de que nuestro sitio de estudio no se localiza dentro de la cuenca estudiada por Jiménez et al. (2003) en el PNPV, las condiciones son muy similares a las que allí se presentan, lo cual indica que los resultados posibles de densidad de sedimentos promedio en la escorrentía de nuestro estudio sean de $0,4 \text{ kg/m}^3$. Ésta concentración de sedimentos de $0,4 \text{ kg/m}^3$ es mayor a la reportada por Zabaleta y Antigüedad (2010) de $0,1 \text{ kg/m}^3$ en la provincia española de Guipúzcoa; la intensidad de lluvia promedio en esta región Vasca fue de 10 mm/15 min, mientras que la intensidad de lluvia promedio que se reportó en el PNPV fue de 23 mm/15 min.

La cantidad de sedimentos en la escorrentía va a ser también influenciada por los tipos de cobertura. Según Vahrson y Cervantes (1991) en trabajos de investigación en plantaciones de café y de pastos en Costa Rica, en los sitios de café con sombra obtuvo una escorrentía de 28 mm, y en los pastos una de 51 mm, sin embargo, la pérdida de suelo fue respectivamente de 1364 kg/ha y de 340 kg/ha, lo que demuestra que la interceptación de lluvia en el café con sombra es mejor para controlar la cantidad de agua que llega al suelo, pero los pastos son mejores en retener sedimentos por su condición de ser tallos rastreros o rizomas, que crecen en forma horizontal y emiten raíces y brotes en sus nudos, formando una espesa red.

En el PNPV la escorrentía superficial es la que se encarga de transportar los sedimentos producidos por erosión laminar desde los cerros hasta los humedales, esta se agudiza cuando la frecuencia de lluvias o intensidad de las mismas aumenta, es en estos casos cuando mayor transporte de sedimentos se produce.

Este fenómeno es el responsable de las tasas de erosión hídrica reportadas en este trabajo y debe explicarse desde la naturaleza del sitio por tratarse de áreas en regeneración natural.

Los incendios o quemas, y las altas temperaturas, generan en el suelo una tendencia a la hidrofobia durante la estación seca (Oyarzún, Frêne, Lacrampe, Huber y Hervé, 2011). Este factor puede afectar las tasas de infiltración, lo que se traduciría eventualmente en la formación de más escorrentía superficial; sin dejar de lado que los suelos Vertisoles y Entisoles de los sitios de estudio nuestros son clasificados como órdenes de baja infiltración y nivel freático superficial respectivamente.

Graf (2001) afirmó que la integridad física de los ríos, quebradas o flujos efímeros de aguas de drenaje está constituida por los procesos hidrológicos y morfológicos que mantienen un equilibrio dinámico a través de sus canales, planicies, sedimentos y configuraciones espaciales en general, lo cual explica que las condiciones del desarrollo natural van de alguna forma equilibrándose en los ecosistemas, los eventos estocásticos como huracanes, deforestación, derrumbes, quemas naturales, etc. son factores impredecibles, no controlables que hacen retroceder ese equilibrio dinámico, de ahí que es muy importante que se mantengan las condiciones de sitio sin que se elimine la vegetación, como las quemas provocadas por el hombre.

Finalmente, Calvo y Jiménez (2014) encontraron en el Parque Nacional Santa Rosa un aumento en la intercepción de precipitación conforme avanza un estado de sucesión secundaria bajo un ecosistema similar al del PNPV; esta afirmación concuerda con los resultados de nuestro trabajo y permite afirmar que una cobertura forestal madura disminuye el impacto por erosión hídrica.

CONCLUSIONES

La erosión hídrica dentro del PNPV es mayor en el estadio sucesional temprano que en los estadios intermedio y tardío.

No hay diferencia significativa de erosión hídrica laminar entre pendientes de 20 a 40 por ciento.

La región donde se localiza el PNPV recibe lluvias de alta intensidad que favorecen la erosión hídrica durante la estación lluviosa.

RECOMENDACIONES

Continuar las mediciones de erosión en los tres tipos de cobertura.

Medir los sedimentos que ingresan al PNPV a través del río.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica, alma máter

Al proyecto “Factores que contribuyen con la emisión de gases efecto invernadero en el bosque seco y su interrelación con la integridad del ecosistema”, por su contribución en esta investigación

A la Organización para Estudios Tropicales, por su valiosa participación en el proyecto

A todo el personal de la Estación Biológica Palo Verde, porque en cada uno de ellos encontré grandes personas y amig@s

Al Tribunal Evaluador de este proyecto, por su enorme aporte en cada etapa de la investigación

REFERENCIAS

- Adema, E., Babinec, F. y Peinemann, N. (2001). Perdida de nutrientes por erosión hídrica en dos suelos del Caldenal Pampeano. *Ciencia del Suelo*, 19(2), 144-154.
- Arias, O. (2001). *Estudio hidrometeorológico de la cuenca del Río Tempisque* (Tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
- Calvo, J. y Jiménez, C. (2014). An evaluation of Rainfall Interception in Secondary Tropical Dry Forests. Recuperado de http://www.academia.edu/17378609/An_Evaluation_of_Rainfall_Interception_in_Secondary_Tropical_Dry_Forests
- Cavelier, J. y Vargas, G. (2002). Procesos hidrológicos. En M. Guariguata (Ed.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp. 145-165). Cartago, Costa Rica: Libro Universitario Regional.
- Centeri, C., Cordier, S., Evelpidou, N., Figueiredo, T. y Merino, A. (2012). *Runoff Erosion*. Recuperado de <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/11228>
- Cubero, D. (2001). *Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras*. San José, Costa Rica: Araucaria.
- Editorial Universidad Nacional. (2012, Junio). Humedales de la cuenca baja del Tempisque: Un reto para la conservación. *Ambientales*. Recuperado de <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientales/43.pdf>
- Flores, L. y Alcalá, J.R. (2010). *Manual de procedimientos analíticos, laboratorio de física de suelos*. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

Ghimire, S.K., Higaki, D. y Bhattarai, T.P. (2013). Estimation of soil erosion rates and eroded sediment in a degraded catchment of the Siwalik Hills, Nepal. *Land*, 2, 370-391. doi: 10.3390/land2030370

Graf, W.L., Jiménez, J.A. y González, E. (2001). La integridad física de ríos bajo manejo. En Jiménez, J.A. y González, E. (Ed.), *La cuenca del Río Tempisque: perspectivas para un manejo integrado* (pp. 96-101). San José: O.E.T.

Granda, V., Finegan, B., Ramos, Z., Detlefsen, G. y Molina, A. (2015). *Potencial de manejo de bosques restaurados por sucesión natural secundaria en Guanacaste, Costa Rica: composición, diversidad y especies maderables*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Gutiérrez, R. y Piskulich, Z. (2013). *Convenio específico de cooperación entre el Sistema Nacional de Áreas de Conservación y la Asociación Costa Rica por Siempre para la restauración del Parque Nacional Palo Verde*. Recuperado de <http://www.sinac.go.cr/ES/docu/Convenios/Convenio%20Espec%C3%ADfico%20SINAC%20CR%20x%20Siempre%20restaurar%20Palo%20Verde.pdf>

Holdridge, L.R. (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.

Horton, R.E. (1939). The interpretation and application of runoff plat experiments with reference to soil erosion problems. *Soil Science Society of America Journal*, 3(C), 340-349.

Instituto Meteorológico Nacional. (2015). *Condición actual del fenómeno de El Niño* (Boletín del ENOS N° 87). Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/217722/%2387>

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2015). *Suelos de Costa Rica, Orden Entisol* (Boletín técnico N° 2). Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1822.PDF>

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2015). *Suelos de Costa Rica, Orden Vertisol* (Boletín técnico N° 3). Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1823.PDF>

Jiménez, J.A., González, E. y Calvo, J. (2003). Recomendaciones técnicas para la restauración hidrológica del Parque Nacional Palo Verde. *Organización para Estudios Tropicales*. Recuperado de http://www.ots.ac.cr/index.php?option=com_content&task=view&id=261&Itemid=421

Lawler, D.M. (1993). The measurement of river bank erosion and lateral channel change: A review. *Earth Surface, Processes and Landforms*, 18, 777-821.

Leopold, L.B., Wolman, M.G. y Miller, J.P. (1992). Fluvial processes in geomorphology. New York, USA. Dover Publications, Inc.

Meléndez, G. y Molina, E. (Ed.). (2001). *Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica*. San José, Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR.

Oyarzún, C.E., Frêne, C., Lacrampe, G., Huber, A. y Hervé, 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 vegetal. *Bosque*, 32(1), 10-19.

Ramírez, P. (1983). *Estudio meteorológico de los veranillos en Costa Rica*. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Estudio+sobre+veranillos+en+Costa+Rica>

Reid, K.D., Wilcox, B.P., Breshears, D.D. y MacDonald, L. (1999). Runoff and erosion in a Pinyon-Juniper woodland: Influence of vegetation patches. *Soil Science Society of America Journal*, 63(6), 1869-1879.

Salamanca, A. y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC] y Convención de Ramsar. (1998). *Procedimiento de orientación para la gestión*. Recuperado de http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ram39s_palo_verde_cont._informe_combined.pdf

Vahrson, W.G. y Cervantes C. (1991). Tasas de escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal, Costa Rica. *Turrialba*, 41(3), 396-402.

Vahrson, W.G. y Dercksen, P. (s.f.). Intensidades críticas de lluvia para el diseño de obras de conservación de suelo en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 14(2), 141-149.

Zabaleta, A. y Antigüedad, I. (2010). Respuesta de una cuenca de cabecera durante eventos de crecida (Aixola, País Vasco). *Pirineos*, 165, 237-258. doi: 10.3989/Pirineos.2010.165012

Zaimes, G.N., Schultz, R.C. y Isenhardt, T.M. (2004). Stream bank erosion adjacent to riparian forest buffers, row-crop fields and continuously-grazed pastures along Bear Creek in central Iowa. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 19-27.