

Plantas nativas para el control de la erosión en taludes de ríos urbanos

Native plants for erosion control in urban river slopes

Plantas nativas para controlo da erosão em taludes de rios urbanos

AUTORES

Alvarado V.^{@1}
vicky1610@gmail.com

Bermúdez T.¹

Romero M.²

Piedra L.¹

© Corresponding Author

¹ Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional. Costa Rica. Apdo. 86-3000 Heredia, Costa Rica.

² Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional. Costa Rica. Apdo. 86-3000 Heredia, Costa Rica

Received: 21.01.2013 | Revised: 31.03.2013 | Accepted: 30.04.2013

RESUMEN

El desgaste estructural y mecánico de los suelos corresponde a la eliminación de la cobertura vegetal y la acción de la lluvia sobre una superficie desprotegida. El impacto de las gotas de lluvia, el transporte y deposición de sedimentos conlleva al socavamiento e inestabilidad de taludes, lo cual genera pérdida de suelo. En Costa Rica, los cuerpos de agua han sido impactados negativamente por el desarrollo urbano y tanto el recurso agua como el suelo se han vuelto más vulnerables. Este es el caso de la microcuenca del río Pirro, en la cual se ha sustituido la vegetación ribereña por construcciones, lo que da como resultado problemas de erosión en sus laderas. Con el fin de evaluar plantas nativas para la retención de sedimentos y evitar su deposición en el río, se instalaron ocho parcelas experimentales. Se establecieron cuatro tratamientos: A (*Costus pulverulentus* Presl), B (*Heliconia tortuosa* (Griggs) Standl.), C (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) y D (control sin plantas). Durante la época lluviosa y transición, se recolectaron los sedimentos semanalmente. Éstos se relacionaron con la precipitación y la intensidad de la lluvia y se demostró una clara relación entre la intensidad y la producción de sedimentos, sobre todo en intensidades mayores a los 50 mm h⁻¹. Además, se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$) y el orden de efectividad fue B > A > C > D, donde las plantas nativas fueron las más eficientes en cuanto a retención de sedimentos. Debido a que el tipo de planta influye en el control de la erosión, se recomienda el uso de especies nativas como alternativa de manejo y rehabilitación de taludes cercanos a ríos urbanos por su valor ecológico y por su capacidad para la retención de sedimentos.

ABSTRACT

*Mechanical and structural erosion of soils is produced by the loss of the vegetal cover and the action of rain on unprotected surfaces. Raindrop impact, transport and sediment deposition leads to landslides and slope instability and soil loss. In Costa Rica, water bodies have been negatively impacted by urban development and both water resources and soils have become more vulnerable. This is the case of the Pirro river micro watershed where riverbed vegetation has been replaced by constructions producing erosion problems in its slopes. In order to evaluate how native plants favor sediment control and prevent this sediment from been deposited in the river, eight experimental plots were installed. Four treatments were established: A (*Costus pulverulentus* Presl), B (*Heliconia tortuosa* (Griggs) Standl.), C (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) and D (control). Sediments were collected weekly during the rainy and transitional seasons. A clear relation between rainfall intensity and sediment production was determined, particularly for intensities higher than 50 mm h⁻¹. Significant differences were also determined between the treatments and the efficiency order was B > A > C > D, with the native plants being the most efficient in terms of sediment control. The use of native plants is recommended for the management and rehabilitation of slopes near urban rivers due to their ecological value and their capability for sediment control.*

RESUMIO

*O desgaste estrutural e mecánico dos solos corresponde à eliminación do coberto vegetal e à acción da chuva sobre una superficie desprotegida. O impacto das gotas de chuva, o transporte e a deposición de sedimentos conduz ao escavamento e inestabilidade dos taludes, o que gera perda de solo. Na Costa Rica, os cursos de água têm sofrido impactos negativos decorrentes do desenvolvemento urbano e tanto o recurso água como solo tornáronse máis vulnerábeis. É o caso da microbacia do río Pirro, onde a vexetación ribeirinha foi substituída por construcións, conducindo a problemas de erosión nas súas margens. Com o obxectivo de avaliar a capacidade das plantas nativas na retención de sedimentos e evitar a súa deposición no río, instaláronse oito parcelas experimentais e establecéronse 4 tratamentos: A (*Costus pulverulentus* Presl), B (*Heliconia tortuosa* (Griggs) Standl.), C (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) e D (controllo sem plantas). Fez-se a recolla semanal dos sedimentos durante a época das chuvás e transición, relacionou-se a cantidade de sedimentos con a precipitación e intensidade da chuva tendo-se demostrado existir una clara relación entre a intensidade de chuva e produción de sedimentos, sobretudo para as intensidades superiores a 50 mm h⁻¹. Para além diso, observáronse diferenzas significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$) e a orde de efectividade foi B > A > C > D, sendo as plantas nativas as máis eficientes canto à retención de sedimentos. Dado a que o tipo de planta inflúe no controllo da erosión, recoméndase o uso de especies nativas como alternativa na xestión e rehabilitación de taludes próximos de ríos urbanos tendo en conta o seu valor ecolóxico e a súa capacidade para retención de sedimentos.*

1. Introducción

El crecimiento poblacional y el desarrollo urbano no planificado de las ciudades conllevan consecuencias directas e inmediatas en el ambiente (Camacho 2005). En Costa Rica, la expansión urbana se ha desarrollado a mayor escala en la región central, ha provocado mayor presión y demanda de los recursos, particularmente el hídrico, con lo cual se han modificado los procesos de erosión, escorrentía e infiltración y ha ocasionado un desgaste progresivo del suelo, agua y vexetación (Laporte y Porras 2002; Montoya 2005).

La remoción de la capa vegetal promueve la aceleración de los procesos erosivos, lo que provoca un mayor impacto sobre los ecosistemas (Suárez 2001; Laporte y Porras 2002; González 2003). En taludes y laderas pronunciadas desprovistas de vexetación estos procesos se acentúan a medida que se incrementa el ángulo, así como la pendiente (Hernández 2011), con lo cual, aumenta el arrastre y deposición de sedimentos aguas abajo por acción de la escorrentía superficial (Suárez 2001; Navarro et al. 2006). Así, la producción de sedimentos modifica el hábitat fluvial y el régimen hidrológico (Navarro et al. 2006).

Se ha comprobado que el establecimiento de coberturas vegetales es una excelente alternativa para prevenir los procesos erosivos (Sancho y Cervantes 1997), ya que incrementa la resistencia hidráulica del terreno al aumentar la estabilidad de los agregados del suelo. Con ello se adquiere una mayor protección contra el impacto de gotas de lluvia, se incrementa la capacidad de infiltración y se frena la escorrentía (Mataix y López 2007; Rivera et al. 2007).

**PALABRAS
CLAVE**
Sedimentos, suelo,
cobertura vegetal,
precipitación,
intensidad de lluvia

KEY WORDS
Sediments, soil,
plant coverage,
rainfall, rainfall
intensity

**PALAVRAS-
CHAVE**
Sedimentos,
solo, coberto vegetal,
precipitação,
intensidade de
chuva

2. Material y Métodos

En Costa Rica, aún no existen criterios técnicos sólidos que aseguren que una especie vegetal realmente protegerá y reforzará el suelo de forma adecuada; sin embargo, se han realizado algunos esfuerzos por documentar esta carencia de conocimiento (Sancho y Cervantes 1997; Laporte y Porras 2002; Zwart et al. 2005). Aún así, la información existente se encuentra dispersa, sobre todo en lo referente a especies nativas, ya que la mayoría de las investigaciones se enfoca en el uso de plantas exóticas como control de la erosión (Porras 2000).

Es así como surge la necesidad de abordar esta temática, para lo cual se seleccionó una microcuenca urbana de la región central del país, en donde los procesos erosivos e inestabilidad de taludes son evidentes (Romero et al. 2011). Por esto, el objetivo de este trabajo es evaluar las plantas nativas como factor de control de la erosión laminar en taludes de la microcuenca del Pirro, Heredia Costa Rica.

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el Valle Central, la región más densamente poblada del país, caracterizada por un clima tropical de altura, entre premontano y montano (Holdridge 1967), con lluvias intensas (entre los 1500 mm y 2500 mm anuales) desde abril a noviembre. El relieve, mayormente de origen volcánico, presenta pendientes desde onduladas a muy abruptas, principalmente en las partes altas de las cuencas y en los taludes de los ríos (Romero et al. 2011).

El río Pirro, con un área de 7,3 km², un perímetro de 20,17 km y una longitud de 9,7 km, se encuentra a una elevación entre los 1050 y 1420 msnm (Romero et al. 2011). Constituye un tributario o pequeño afluente del río Bermúdez, que a su vez es un afluente del río Virilla, el principal río de la región. Administrativamente, el Pirro está localizado en la provincia de Heredia (Figura 1).

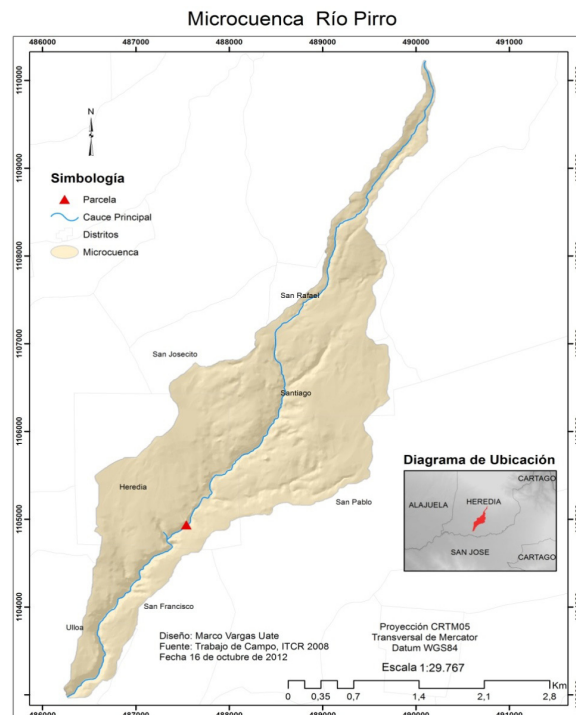


Figura 1. Área de estudio. Sector Guayabal, Heredia, Costa Rica (Vargas 2012).

El cauce principal es poco profundo y de naturaleza intermitente; el suelo es muy permeable debido a su origen volcánico, por lo que la impermeabilización de éste se debe principalmente al urbanismo, pavimento y entubamiento de algunos tramos del río. El uso del suelo en la zona está caracterizado por uso urbano (70%), cafetales (18%), pastos y vegetación (6% cada uno). Además, el 80,2% del área tiene relieve plano-plano ondulado (pendientes entre 0 y 8%). En la sección baja de la microcuenca se exhiben las mayores pendientes, así como las mayores profundidades en el cauce (Romero et al. 2011).

La precipitación promedio anual es de 2374,3 mm, donde los meses más lluviosos son setiembre y octubre con un promedio mensual de 461,1 y 440,5 mm, respectivamente. La temperatura promedio anual es de 21,1 °C, con un máximo de 25,1 °C y un mínimo de 15,2 °C. De acuerdo con el sistema de clasificación de Holdridge (1967) se presentan dos zonas de vida, Bosque muy Húmedo Premontano en la parte alta y Bosque Húmedo Premontano en la parte media y baja; además, se distinguen tres biotipos, árboles dispersos en zonas agrícolas, vegetación de ribera y jardines urbanos (Romero et al. 2011).

El sitio de estudio propiamente, se encuentra ubicado en la parte baja de la microcuenca, en el sector de Guayabal (09°59'33.62" N, 84°06'49.19" O). En él se seleccionó un talud de aproximadamente 1000 m² con una pendiente promedio de 42° y a una distancia de 100 m del margen del río. El terreno presenta árboles aislados como *Cojoba arborea* (L.) Britton y Rose (Lorito), *Dilodendron costaricensis* Radlk. (Iguano), *Spathodea campanulata* P. Beauv. (Llama del bosque) y *Spondias purpurea* L. (Jocote). El suelo corresponde al orden de los Andisoles.

2.2. Selección de especies vegetales

De la lista preliminar de plantas utilizadas para el control de la erosión (Alvarado et al. 2011),

se seleccionaron tres especies que cumplen con diversos criterios como su hábito herbáceo, presencia de un sistema radicular profundo y fasciculado, densa cobertura (follaje), tolerancia a condiciones desfavorables, rápida propagación y disponibilidad comercial. Dos de ellas fueron nativas, *Costus pulverulentus* Presl (Caña agria) y *Heliconia tortuosa* (Griggs) Standl. (Platanilla); y una tercera exótica, *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash (Vetiver).

2.3. Establecimiento de parcelas de erosión

Se establecieron parcelas de erosión o escorrentía (León 2003; Hernández 2011), modificadas para las condiciones locales. Se limpió el terreno hasta remover la cobertura vegetal herbácea y se delimitaron las parcelas en el talud.

Se establecieron parcelas rectangulares de 4 x 2 m para un área total de 64 m². Cada una se protegió con láminas de zinc y/o fibrocemento de 1,22 m de largo x 30 cm de altura, insertadas en el suelo unos 10 cm y sujetadas con varillas de construcción o estacas de madera. Las láminas se traslaparon unos 10 cm para evitar pérdidas de agua y sedimentos por las ranuras.

Como trampas de sedimentos, se emplearon contenedores plásticos (225 L) partidos longitudinalmente, los cuales se colocaron de forma cóncava en la base de cada parcela, esto con el fin de formar un recipiente. A cada uno de ellos, se le realizaron 500 perforaciones (10 mm de diámetro) en su base, con el fin de facilitar el drenaje y se mantuvo su borde (20 cm) sin perforar con el objeto de evitar la pérdida de sedimentos por desborde. Cada recipiente fue cubierto con geotextil sin tejer (GT160 de 200 gr/m²) para que así el agua pudiera ser drenada sin afectar la retención de sedimentos en la trampa creada.

Se establecieron cuatro tratamientos, cada uno con una repetición para un total de ocho parcelas (Tabla 1). En cada tratamiento vegetal se sembraron ocho plantas separadas entre sí 70 cm. Cada semana y hasta las primeras

lluvias, las plantas se irrigaron para ayudar a su adaptación y crecimiento. El período de siembra se realizó durante los meses de febrero y marzo del 2011.

Las parcelas estuvieron expuestas a una cobertura arbórea similar, con más de un 50% de sombra y a una distancia de las copas de los árboles, de 5 m de altura en promedio.

Tabla 1. Tratamientos utilizados en las parcelas experimentales

Tratamiento	Descripción	Cobertura (%)
A	Caña agria	70,5
B	Platanilla	72,5
C	Vetiver	67,5
D	Control sin vegetación	75,5

2.4. Suelo, precipitación e intensidad

Se recolectaron muestras del suelo a una profundidad de 20 cm para el análisis de pH, acidez, materia orgánica, textura y capacidad de intercambio de cationes efectiva, los cuales fueron analizados por el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR) de la Universidad Nacional de Costa Rica. El pH y la acidez (H⁺) se analizaron mediante extracciones de KCl-Olsen modificado; mientras que la materia orgánica se basó en la técnica de Walkley y Black (Díaz y Hunter 1982). La textura se determinó mediante un hidrómetro de Bouyoucos (Briceño y Pacheco 1984) y la conductividad hidráulica mediante un cilindro muestreador (Sampat 1979).

Adicionalmente, se obtuvieron los datos de precipitación diaria para la zona, correspondientes al período agosto 2011 a enero 2012, suministrados por la Red de Observación del Nivel del Mar de América Central (RONMAC) de la Universidad Nacional de Costa Rica. Con ello, se obtuvo los datos de precipitación acumulada semanal y mensual. En cuanto a la intensidad de lluvia, se obtuvo con los datos máximos en 15 minutos diarios, semanales y mensuales (durante el período de estudio).

2.5. Recolección de sedimentos

Los sedimentos retenidos en los contenedores fueron recolectados en horas de la mañana y llevados al laboratorio de Geomorfología de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional para su pesaje en húmedo y en seco, mediante el uso de una balanza de 10 kg ± 5 g. El período de estudio fue de 20 semanas donde se abarcaron los meses de agosto 2011 a enero 2012 (época lluviosa y transición).

Los análisis integrados se realizaron por medio del programa Past V1.94b. Para determinar diferencias entre la retención de sedimentos entre los diferentes tratamientos, se realizó un análisis de Anova de una vía (basada en Tukey). Además, se realizó un análisis de similitud basado en el coeficiente general de Gower, para evaluar la semejanza entre los tratamientos aplicados. Finalmente, mediante regresiones lineales se comparó la intensidad de la lluvia y la generación de sedimentos para cada uno de ellos.

3. Resultados

De las tres especies seleccionadas, todas colonizaron de forma exitosa el talud; además, el sistema diseñado como trampa de sedimentos, mostró ser efectivo para este fin. El análisis de las propiedades del suelo mostró un suelo con textura franco arcillo-arenoso con predominancia de arenas; el pH, la acidez, el intercambio de cationes y el contenido de materia orgánica, están dentro de los niveles medios (Tabla 2).

Los meses más lluviosos fueron octubre, setiembre y agosto respectivamente, donde

el primero registró la precipitación máxima del período de estudio; entre tanto, enero presentó el evento con menor lluvia. Los valores de intensidad máxima fueron similares en los meses más lluviosos, donde setiembre presentó el día con mayor intensidad de lluvia (Tabla 3).

De los 141 días de estudio, sólo cinco días registraron intensidades máximas por encima de los 50 mm h⁻¹ (Tabla 4) que corresponden a los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre. Setiembre presentó dos días de intensidades fuertes, 97,52 mm h⁻¹ y 67.04 mm h⁻¹.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del suelo en las parcelas experimentales

Arena	Limo (%)	Arcilla	pH	Acidez (H ⁺) (cmol ₍₊₎ /L)	CIC	MO (%)	Text
47,4	22,2	30,4	6,16	0,20	15,31	6,30	FARA

CIC = Capacidad de intercambio catiónico, MO = Materia orgánica, Text = Textura, FARA = franco arcillo-arenoso. Fuente: INISEFOR 2011.

Tabla 3. Precipitación e intensidad máxima mensual durante el período de estudio

Mes	Precipitación mensual (mm)	Intensidad máxima en 15 min (mm h ⁻¹)
Ago-11	221,7	65,0
Sep-11	236,8	97,5
Oct-11	483,9	86,3
Nov-11	150,3	52,8
Dic-11	41,8	27,4
Ene-12	0,0	0,0

Tabla 4. Intervalos de intensidad de lluvia máxima diaria durante el período de estudio

Intensidad (mm h ⁻¹)	Días
0 – 10	106
10 – 20	14
20 – 30	6
30 – 40	5
40 – 50	5
> 50	5

Se evidenció diferencias significativas con respecto a la producción de sedimentos en cada tratamiento ($F=6.70$, $df=3$, $P<0.05$), donde *C. pulverulentus*, *H. tortuosa* y *V. zizanioides* fueron significativamente diferentes al control ($p=0,001$, $p=0,0007$ y $p=0,002$, respectivamente). De igual manera, la cantidad total de sedimentos

en el tratamiento de control fue hasta cinco veces mayor que los tratamientos vegetales; además los tratamientos con especies nativas (A y B) registraron menor cantidad de sedimentos totales, mientras que B presentó la mejor retención de éstos. Los valores promedio mostraron un comportamiento similar (Tabla 5).

Tabla 5. Cantidad de sedimentos totales y promedio durante el período de estudio

Tratamiento	Sedimentos totales (g)	Sedimentos promedio (g)
A	28925 ± 1855	723 ± 928
B	23130 ± 1457	578 ± 729
C	32125 ± 2739	803 ± 1370
E	129182 ± 9510	3230 ± 4755

A = Caña agria, B = Platanilla, C = Vetiver, D = Control.

El análisis de similitud muestra la formación de dos grupos claros, el primero entre los tratamientos con cobertura vegetal y el segundo que corresponde al control, quien se muestra completamente diferente. Igualmente, el

análisis muestra que las plantas nativas (A y B) son las más semejantes entre sí con un 97% de similitud, quienes además muestran una mayor eficacia en la retención de sedimentos (Figura 2).

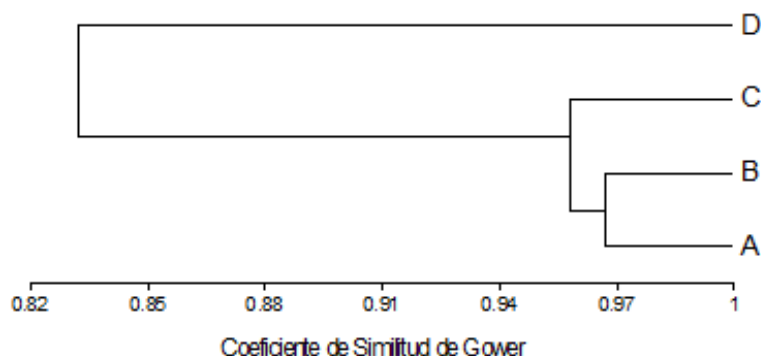


Figura 2. Agrupación obtenida a partir del coeficiente de similitud de Gower. A = Caña agria, B = Platanilla, C = Vetiver, D = Control.

Se evidenció una relación entre la precipitación y la intensidad de lluvias, con los sedimentos, siendo la intensidad, la que mejor explica la producción de éstos. Los tratamientos mostraron un comportamiento similar durante el período de estudio, donde el control registró los valores máximos. Los tratamientos con cobertura vegetal mostraron mayor eficacia para la retención de sedimentos, principalmente las especies nativas y específicamente el tratamiento B (Figura 3).

Se observó una diferencia estacional con respecto a las precipitaciones e intensidad de lluvia. Los picos de precipitación máxima corresponden a los meses de octubre y noviembre; en tanto que los picos de intensidad máxima se dan en los meses de setiembre y noviembre. Para la época de transición, se registró un nuevo pico de precipitación e intensidad, pero sin cambios notables en la producción de sedimentos.

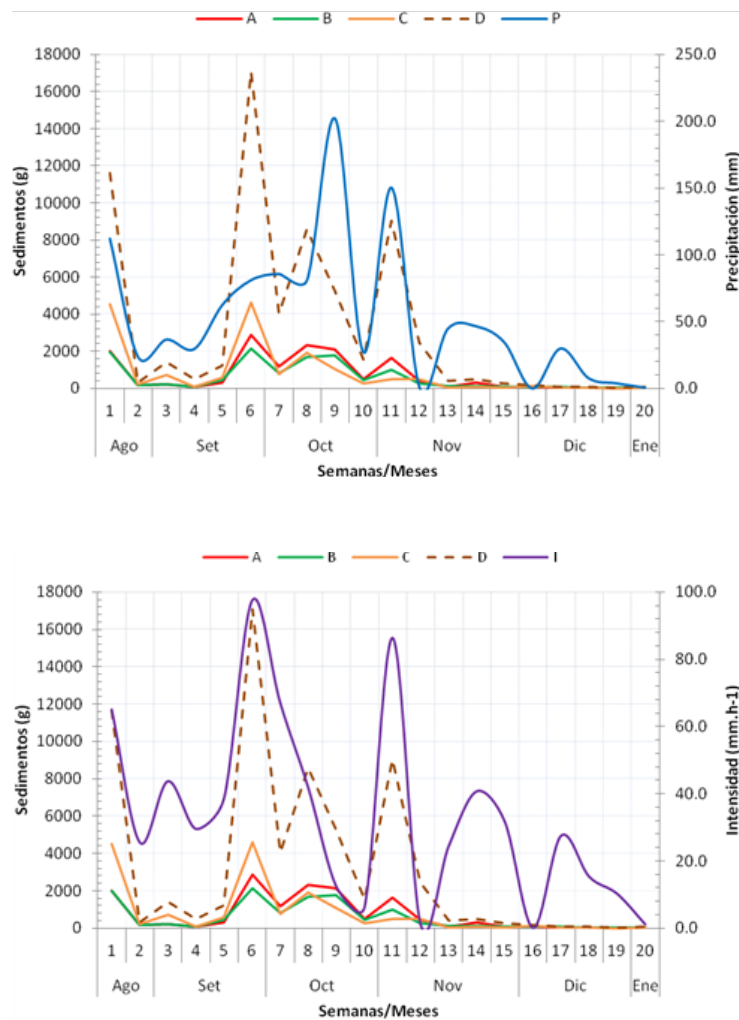


Figura 3. Precipitación acumulada semanal y cantidad sedimentos por tratamiento (arriba). Intensidad máxima de lluvia semanal y cantidad sedimentos por tratamiento (abajo). A = Caña agria, B = Platanilla, C = Vetiver, D = Control, P = Precipitación, I = Intensidad.

4. Discusión

Se observó una relación positiva entre la intensidad y la producción de sedimentos en todos los tratamientos (Figura 4); principalmente en las parcelas de control, para lo cual, en eventos de intensidades fuertes un suelo desprovisto de vegetación es más propenso a la producción de sedimentos.

De los factores que más afectan la erosión del suelo, el más citado es la lluvia (Wei et al. 2009). El impacto de las gotas provoca una ruptura de los agregados y la reordenación de las partículas, lo que da lugar a la formación de una capa con porosidad y permeabilidad reducida llamada costra. El efecto prolongado de las gotas sobre el suelo produce una capa más gruesa, con mayor impermeabilidad y con mayor capacidad de escorrentía, lo cual incrementa la erosión y exposición del suelo (Robinson y Woodun 2008).

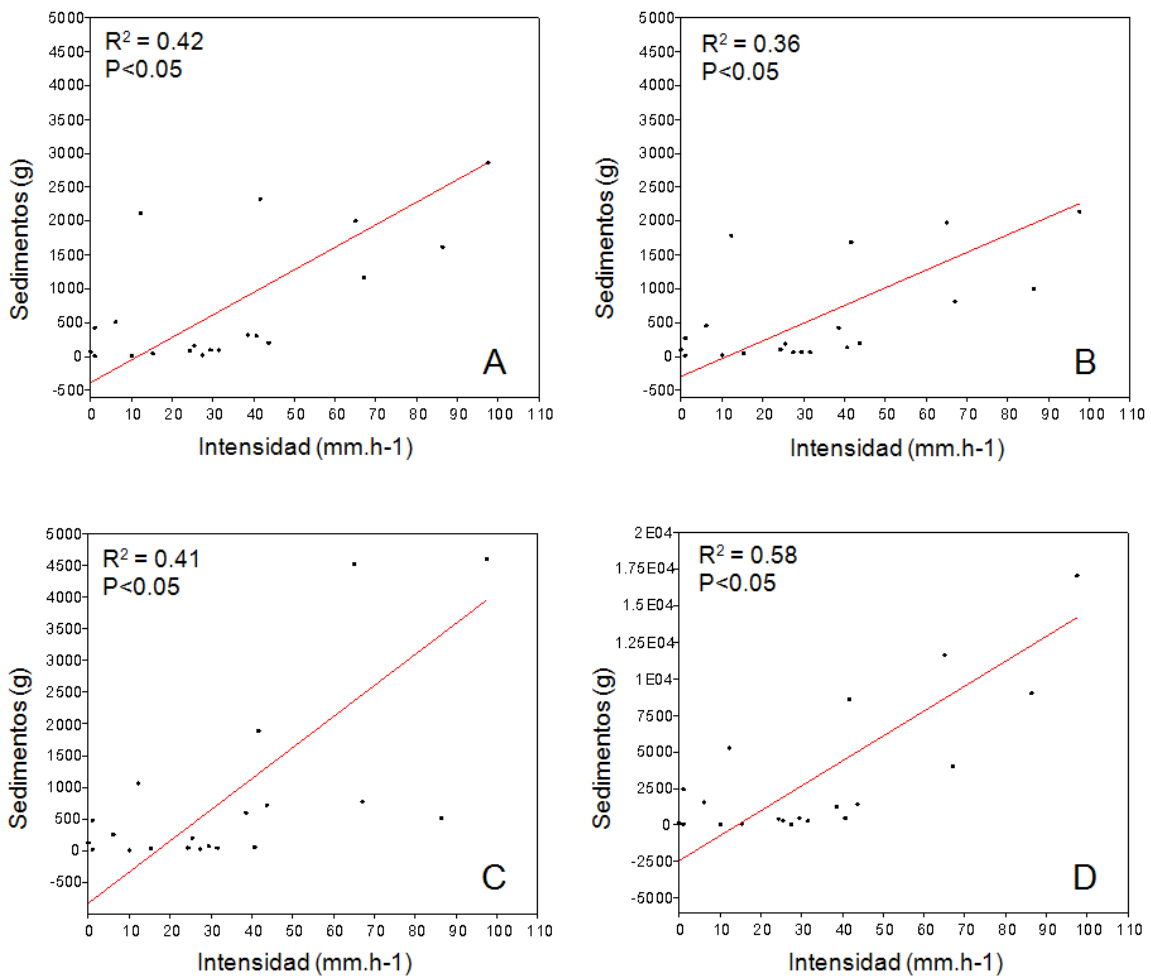


Figura 4. Relación entre la intensidad y sedimentos en cada tratamiento. A = Caña agria, B = Platanilla, C = Vetiver, D = Control.

Una de las características más importantes de la lluvia es su intensidad (Muñoz y Ritter 2005). En países tropicales las lluvias son en un 40% intensidades mayores a 25 mm h^{-1} y son comunes los eventos que rebasan los 150 mm h^{-1} (Jiménez 1996). En este caso, las intensidades máximas reportadas fueron mayores a 50 mm h^{-1} , que para condiciones tropicales son valores acertados. Aunque no se reportaron intensidades por encima de los 100 mm h^{-1} , para las condiciones del estudio, si hubo un incremento en los sedimentos al aumentar la intensidad, lo cual evidencia la relación entre la intensidad y la pérdida de suelo.

Esta pérdida de suelo se dio durante los eventos de intensidad fuerte que precedían de una condición más estable; es decir, una escasa pérdida de suelo en la primera lluvia y una elevada pérdida en la segunda.

Según Morgan (1997), el material que se remueve por acción de la escorrentía deja poco material para ser removido en las siguientes precipitaciones. Como se mencionó anteriormente, la formación de una costra limita la disgregación de los agregados del suelo, por lo que es necesario un nuevo evento de precipitación para proporcionar la energía necesaria para lavar el suelo (García 2004).

Los primeros milímetros de suelo controlan en gran medida la respuesta del suelo a las fuerzas de erosión hídrica (Wei et al. 2009). En terrenos arenosos o arcillosos, la intensidad de la lluvia supera la velocidad de infiltración y se produce escorrentía; cuando ésta tiene alta capacidad de transporte es capaz de arrastrar elementos finos y gruesos (Almoza et al. 2007). En las parcelas de estudio, la combinación de arenas y arcillas supone una mayor facilidad de disgregación y lavado del material, pero en distancias cortas.

Al igual que la precipitación, la cobertura influye en los procesos erosivos. La vegetación aumenta la estabilidad de los agregados del suelo, lo protege del impacto de las gotas de lluvia, incrementa la capacidad de infiltración y frena la escorrentía. La vegetación mantiene las características del suelo homogéneas

debido a la materia orgánica aportada por las plantas (García 2004). El suelo presentó un contenido de materia orgánica óptimo, lo cual es importante en términos de conservación del suelo.

Otra característica importante en los suelos y que depende del porcentaje de materia orgánica y las arcillas, es la capacidad de intercambio catiónico. Un suelo con alto contenido de arcillas y un alto porcentaje de materia orgánica puede retener más cationes intercambiables (Ruales y Ruíz 2006), lo cual es beneficio para la vegetación presente y para la misma coherencia del suelo. Los valores de CIC (capacidad de intercambio catiónico) en las parcelas fueron normales y aunque el porcentaje de arenas supera las arcillas, la presencia de estas partículas supone ser una buena propiedad para el suelo.

El intercambio catiónico es fundamental para el establecimiento y desarrollo de coberturas vegetales (Ruales y Ruíz 2006), las cuales a su vez, proporcionan una mayor estabilidad del suelo a nivel superficial y profundo (Suárez 2001). Aún cuando no se demostró una mejor estabilidad en la estructura del suelo, las parcelas con tratamientos vegetales redujeron hasta cinco veces la pérdida de suelo; lo que concuerda con los estudios realizados por Dlamini et al. (2011) y Durán et al. (2011), en donde el uso de coberturas ayudó a disminuir la pérdida de suelo.

En este estudio, las tres especies utilizadas demostraron una efectividad similar, lo cual apoya la teoría de que la vegetación ayuda a controlar la erosión; sin embargo, aunque la vegetación por sí misma contribuye, el tipo de vegetación importa (García 2004). Se ha observado que las plantas herbáceas pueden ser superiores a las plantas leñosas en términos de conservación del suelo; esto se comprobó en el estudio de Lin et al. (2007), donde se comparó la eficacia del vetiver y el falso indigo (*Amorpha fruticosa* L.) y el primero mostró mejores resultados en cuanto a retención de sedimentos.

A pesar de que el estudio se enfocó únicamente en especies de hábito herbáceo, se observó una leve diferencia entre la planta exótica y las plantas nativas. Si bien, el vetiver es ideal para la conservación del suelo y se ha utilizado exitosamente para el control de la erosión (Briceño y Bolívar 2007), existen otras alternativas de manejo como el uso de especies autóctonas. Esto por cuanto poseen un gran potencial en conservación y recuperación de tierras degradadas, están adaptadas al sitio y contribuyen a la sustentabilidad ecológica (De Camino 2005; Melgoza et al. 2007).

Este último punto es fundamental por los servicios que brindan estas plantas. Sólo por citar un ejemplo, en el caso de *C. pulverulentus* y *H. tortuosa*, se han documentado diferentes especies de colibríes que polinizan dichas especies (Stiles y Skutch 2003; Kay y Schemske 2008; Yost y Kay 2009), lo cual es esencial en los ecosistemas. Además de su valor ecológico *C. pulverulentus*, también se utiliza con fines medicinales contra el paludismo, la fiebre, dolores menstruales, úlceras y picaduras de serpientes (Quinzo y Guzmán 2010). En el caso de *H. tortuosa*, son reconocidas por su carácter ornamental, su fácil propagación, largos períodos de floración y una alta durabilidad, esto las convierten en plantas con fines de exportación (Jerez 2007) y amplia disponibilidad comercial.

Finalmente, ambas especies se desarrollaron exitosamente durante el período de estudio y resultaron ser excelentes retenedores de sedimentos. Por ello, se considera el uso de especies nativas como alternativa de manejo en taludes cercanos a ríos urbanos debido al valor ecológico, paisajístico, ornamental y geotécnico que implican.

5. Conclusiones

- La intensidad está relacionada con la pérdida de suelo, ya que a mayor intensidad existe una mayor sedimentación, sobre todo en terrenos desprovistos de cubiertas vivas. En eventos de intensidades altas, el suelo forma una capa poco permeable que limita la producción de sedimentos en las siguientes semanas y al darse un nuevo evento de lluvias, el material del suelo se disgrega y se lava.
- El uso de plantas para el control de la erosión es una práctica efectiva; sin embargo, las especies nativas son fundamentales por su valor ecológico y estético en los ecosistemas.
- El diseño de las parcelas de erosión, adaptadas a las condiciones de estudio, resultó ser un método sencillo, de bajo costo y fácilmente replicable.

6. Agradecimientos

Extendemos nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional, especialmente a la Escuela de Ciencias Biológicas, Escuela de Ciencias Geográficas, INISEFOR y RONMAC por su colaboración. También al Centro Cristiano de Heredia y a todos los colaboradores que hicieron posible esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almoza Y, Medina H, Schiettecatte W, Ruiz ME, Leal Z. 2007. Análisis de la relación temporal entre los valores de precipitación mensual y gastos en la subcuenca La Güira del río Cuyaguaje. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 16(4):88-94.
- Alvarado V, Bermúdez T, Romero M, Piedra L. 2011. Plantas nativas para el control de la erosión en laderas de ríos urbanos. In: I Simposio de Ecología Urbana; 2011 May 12; San José, Costa Rica: UNA-UNED. Publicado en CD ROM.
- Briceño A, Pacheco R. 1984. Métodos Analíticos para el estudio de Suelos y Plantas. San José: Universidad de Costa Rica.
- Briceño L, Bolívar F. 2007. Evaluación de la eficiencia del vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en la conservación de suelos de laderas en parcelas yuqueras de Macapó Edo. Cojedes. *Agrolandia* 4:143-148.
- Camacho N. 2005. Elaboración de propuestas para el ordenamiento y planificación de un territorio sobre el río Cuareim. Uruguay: Universidad de la República.
- De Camino R. 2005. ¿Especies nativas o exóticas? Ése es el dilema. *Ambientico* 141:7-8.
- Díaz R, Hunter A. 1982. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba: CATIE.
- Dlamini P, Orchard C, Jewitt G, Lorentz S, Titshall L, Chaplot V. 2011. Controlling factors of sheet erosion under degraded grasslands in the sloping lands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agricultural Water Management* 98:1711-1718.
- Durán VH, Rodríguez CR, Martín FJ, de Graaff J, Francia JR, Flanagan DC. 2011. Environmental impact of introducing plant covers in the taluses of terraces: Implications for mitigating agricultural soil erosion and runoff. *Catena* 84:79-88.
- García P. 2004. Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. En: Valladares F, editor. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: EGRAF.
- González E. 2003. Erosión: la importancia de la conservación del suelo. *Vida rural* 169:22-24.
- Hernández D. 2011. Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos. Tesis de Maestría. Universidad del Bío – Bío. Concepción, Chile.
- Holdridge LR. 1967. *Life zone ecology*. San José: Tropical Science Center.
- Jerez E. 2007. El cultivo de las heliconias. *Cultivos Tropicales* 28(1):29-35.
- Jiménez A. 1996. Caracterización física de lluvias bajo dos regímenes pluviométricos y un perfil altitudinal en Costa Rica. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Kay K, Schemske D. 2008. Natural selection reinforces speciation in a radiation of neotropical rainforest plants. *Evolution* 62-10:2628-2642.
- Laporte G, Porras G. 2002. Uso de la vegetación para la estabilización de taludes. In: VIII Seminario Nacional de Geotecnia, III Encuentro Centroamericano de Geotecnistas; 2002 Jun 5-7; San José, Costa Rica: Memoria del VIII Seminario Nacional de Geotecnia, III Encuentro Centroamericano de Geotecnistas.
- León JD. 2003. Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica. *Revista Gestión y Ambiente* 6:39-56.
- Lin C, Tu S, Huang J, Chen Y. 2007. Effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area. *Acta Ecológica Sinica* 27(6):2191-2198.
- Mataix C, López J. 2007. Factores ambientales: funciones y uso de la vegetación en la estabilización de laderas. In: *Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalse*; 2007 Jun 11-13; Zaragoza, España; Confederación Hidrográfica del Ebro. Disponible en: http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Congresos_Seminarios/Laderas2007/Ponencias/6%20Lopez%20Factores.pdf.
- Melgoza A, Ortega C, Morales CR, Jurado P, Vélez C, Royo MH, Quintana G, Lafón A, Alarcón MT, Bezanilla G, Pinedo C. 2007. Propagación de plantas nativas para la recuperación de áreas degradadas: opción para mejorar ecosistemas. *Tecnociencia Chihuahua* 1(3):38-41.
- Montoya F. 2005. Degradación y rehabilitación de ecosistemas terrestres: estado de la cuestión. *Biocenosis* 19(2):24-30.
- Morgan R. 1997. *Erosión y Conservación del Suelo*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Muñoz R, Ritter A. 2005. *Hidrología agroforestal*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Navarro J, Vélez M, Sáiz A, Cruz P, Sanz FJ. 2006. Efectos de las carreteras en los ríos; estudio preliminar de producción y emisión de sedimentos en las obras de la A-63 en Asturias. In: *Homenaje al Douro/Duero y sus ríos*; 2006 Abr 27-29; Salamanca, España. Disponible en: <http://www.unizar.es/fnca/duero/index2.php?idioma=es&pagina=04>.

- Porras G. 2000. Uso de la vegetación para la estabilización de taludes. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Quinzo AM, Guzmán MA. 2010. Caracterización de Flores Silvestres en el Bosque y Área Aledaña a Sacha Wiwua. Guasaganda, La Mana. Tesina de Seminario. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Rivera JH, Sinisterra J, Calle Z. 2007. Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia. Cali, Colombia: CIPAV.
- Robinson DA, Woodun JK. 2008. An experimental study of crust development on chalk downland soils and their impact on runoff and erosion. *European Journal of Soil Science* 59:784-798.
- Romero M, Piedra L, Villalobos R, Marín R, Núñez F. 2011. Evaluación ecológica rápida de un ecosistema urbano: El caso de la microcuenca del río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* 47:41-70.
- Ruales P, Ruíz JF. 2006. Necesidades nutricionales de la alcachofa (*Cynara scolymus* L.) en dos tipos de suelo en dos localidades. Tesis de Ingeniería Agropecuaria. Sangolquí, Ecuador.
- Sampat A. 1979. Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. México, D.F.: Limusa.
- Sancho F, Cervantes C. 1997. El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 21(1):111-120.
- Stiles G, Skutch A. 2003. Guía de aves de Costa Rica. Heredia: INBIO.
- Suárez J. 2001. Control de erosión en zonas tropicales. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Vargas M. 2012. Microcuenca río Pirro. Escala 1:29.767. Proyección CRTM05. ArcGIS 10.0. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Wei L, Chen L, Fu B. 2009. Effects of rainfall change on water erosion processes in terrestrial ecosystems: a review. *Progress in Physical Geography* 33(3):307-318.
- Yost J, Kay K. 2009. The evolution of postpollination reproductive isolation in *Costus*. *Sex Plant Reprod.* 22:247-255.
- Zwart M, Rojo J, De la Cruz R, Yeomans J. 2005. Coberturas y la salud del suelo. *Tierra tropical* 1(1):9-20.