

Influencia del dosel y sotobosque en pérdida de suelo por escorrentía en bosque de realce

Ricardo Vinicio Abril Saltos, email: rvabril@uea.edu.ec
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

Anabel Carolina López Torres, email: lopeztorres.anabel@gmail.com
Departamento de seguridad y ambiente, Petroamazonas, Quito, Ecuador.

Jorge Julio Reyes Mera, email: jreyes@uea.edu.ec
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

RESUMEN

Los procesos de colonización cambian el bosque lluvioso tropical de la amazonia ecuatoriana, e impulsan la necesidad de conocer los niveles de pérdida de suelo, por lo cual esta investigación evalúa las características de dosel y sotobosque en esta problemática. Los resultados mostraron que parcelas con mayor cobertura a nivel del sotobosque y dosel, tuvieron menor escorrentía y pérdida de nutrientes. El agua de escorrentía presentó correlación negativa entre precipitación y concentraciones de nitrógeno total, fosfato, conductividad eléctrica, temperatura, nitritos, nitrato y potasio. Reportaron menor pérdida de suelo en parcelas con mayor cobertura de sotobosque y mejor infiltración las de mayor cobertura en dosel. Se concluye que la cobertura del suelo en sotobosque incide en la escorrentía, pérdida de nutrientes y sedimentos y mayor cobertura de dosel mejora la infiltración.

Palabras clave: conservación de bosques, erosión del suelo, hidrología, infiltración.

Influence of canopy and understory on soil loss through runoff in enhancement forest

ABSTRACT

Colonization processes generate changes in the tropical rainforest of the Ecuadorian Amazon, and drives the need to know the levels of soil loss, so this research evaluates the characteristics of canopy and understory in this problem. The results showed that plots with more coverage level of understory and canopy had less runoff and nutrient loss. Runoff water presented negative correlation between precipitation and concentrations of total nitrogen, phosphate, electrical conductivity, temperature, nitrite, nitrate and potassium. They reported less soil loss in plots with more coverage of understory and better infiltration with higher canopy coverage. It is concluded that the soil covered with understory affects runoff, nutrient and sediment loss and increased canopy cover improves infiltration.

Keywords: forest conservation, soil erosion, hidrology, infiltration .

INTRODUCCIÓN

La protección del bosque lluvioso y el desarrollo del uso sustentable de la tierra en el trópico húmedo son de significancia global, puesto que exhibe una gran biodiversidad y es de alta importancia para la regulación del clima de la tierra. Los ecosistemas amazónicos se caracterizan por baja fertilidad y la presencia de suelos altamente degradados, donde la presencia humana y los reducidos tiempos de regeneración, fomentan la degradación del suelo (Glaser & Birk 2012). En la región amazónica ecuatoriana, predominan los ecosistemas de bosque lluvioso tropical, donde existen zonas con altos valores de precipitación. La colonización en determinadas zonas ha generado, posterior a la tala, por procesos de sucesión natural, un bosque de realce que presenta características diferentes a las de un bosque primario. A nivel mundial se han realizado numerosos estudios en cuanto a las pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes condiciones de precipitación en el bosque lluvioso tropical (Londoño et al. 2007), pero considerando este cambio de uso de suelo, es necesario, en bosque de realce en la región amazónica ecuatoriana, cuantificar las pérdidas de suelo y nutrientes por efecto de la escorrentía superficial generada por las altas precipitaciones.

Esta investigación planteó como objetivo: identificar si las características de dosel y sotobosque influyen en los niveles de pérdida de suelo y nutrientes generados por escorrentía superficial en microparcelas en bosque de realce en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de investigación

La presente investigación se realizó en un bosque de realce en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) (figura 1), perteneciente a la Universidad Estatal Amazónica ubicado en las provincias de Pastaza y Napo, en los cantones Santa Clara y Arrosemena Tola km. 44, junto a la desembocadura del río Piatúa y Anzu. El área presenta suelos arcillosos con pendiente ligera.

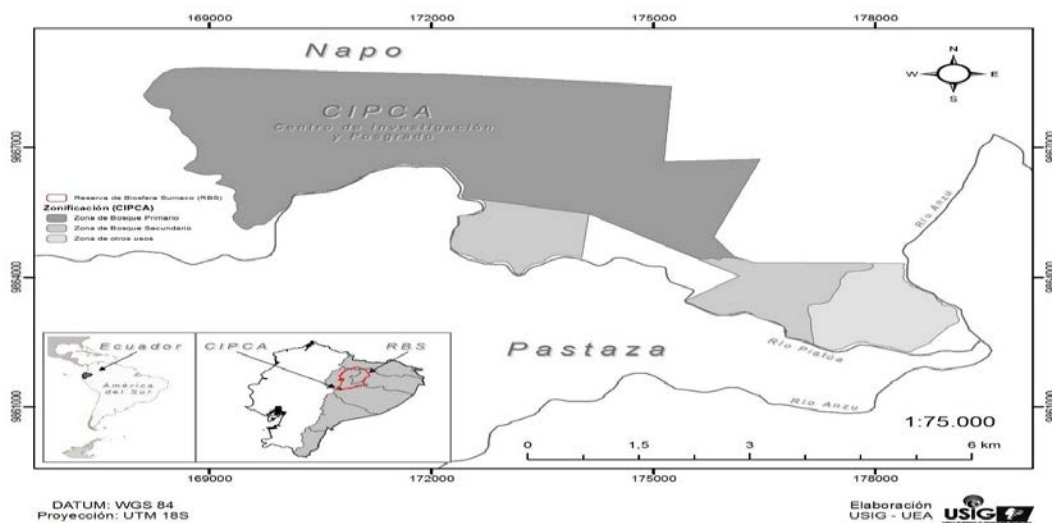


Figura 1. Ubicación del área de estudio [fuente: UEA-SNI (2014)]

Condiciones climáticas

Se descargaron los datos de la estación meteorológica automática existente en el CIPCA, los cuales reportan para el año 2014, una temperatura media anual de 24,54 °C, que alcanza en junio los 25,12 °C; mientras que la mínima es de 23,06 °C. Presenta su mayor precipitación (figura 2) en mayo con 486,75 mm y su mínima en agosto con 312,58 mm.

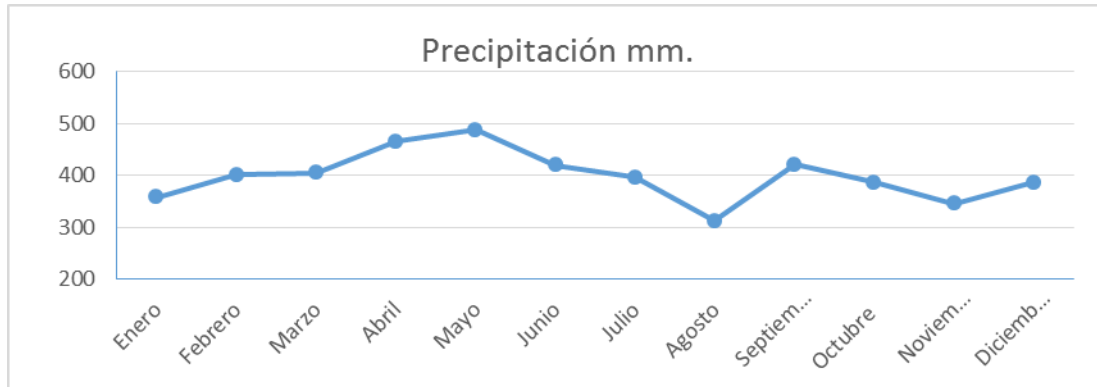


Figura 2. Precipitación registrada año 2014 en la estación meteorológica del CIPCA

Recolección de datos

Se dividió el área en 15 bloques, seleccionando cinco al azar, para obtener características homogéneas en cada bloque y, debido a la vegetación existente en dosel y sotobosque, se delimitaron microparcels experimentales de 1 m x 1 m, las cuales son una alternativa económica y que, debido a las precipitaciones que se generan en la región, permiten tomar muestras representativas de las aguas de escorrentía, sin que la capacidad del envase colector se vea subdimensionada con respecto a volúmenes que se obtendrían con parcelas de mayor tamaño. En cada una se colocaron canales de plástico que conducen a una botella recolectora, simulando el principio del aliviador Gerlach (Hudson 1997), donde se depositan sedimentos y agua de escorrentía superficial (figura 3A). Junto a cada parcela experimental se instaló un pluviómetro elaborado con materiales reciclados para medir la precipitación (mm) durante los cuatro meses de muestreo (figura 3B). Se instaló una varilla de hierro, en el centro de cada parcela, se marcó la altura inicial en el mes de marzo, se midió la variación de altura en junio último mes de muestreo (figura 3C)

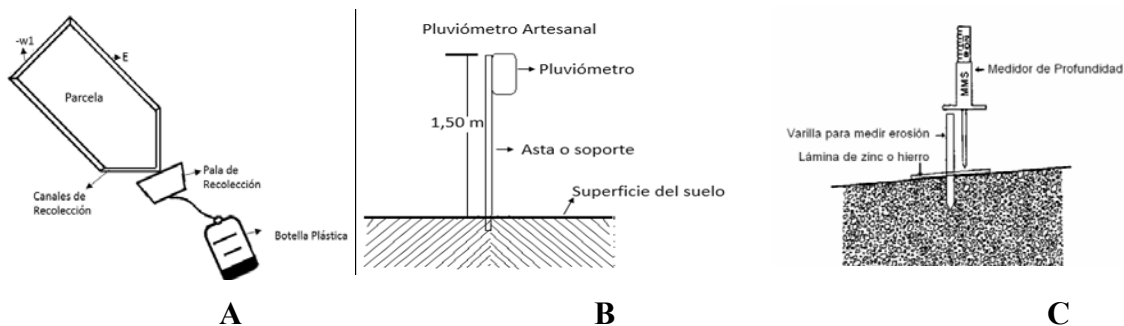


Figura 3. (A) Sistema para recolección de aguas de escorrentía (B) Pluviómetro artesanal (C) Varilla para medir pérdida de suelo

Se tomaron muestras de agua de escorrentía recogidas en las botellas recolectoras de las cinco parcelas durante los meses marzo, abril, mayo y junio y se analizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal amazónica, donde se determinó a través del método Hach (Hach 2015), los parámetros:

- Fosfato (PO_4^{-3}): método Hach 8048 ac.
- Nitrógeno (N): método Micro-Kjeldahl
- Nitrato (NO_3^{-} -N): método Hach 8171
- Nitrito (NO_2^{-} -N): método Hach 8507 ap.
- Conductividad eléctrica, pH, temperatura: Equipo multiparamétrico HACH.

También se utilizaron los métodos citados en el Standard Methods 22 ND (Rice et al. 2012), para los parámetros:

- Potasio (K): método 3030F,3111B.
- Sólidos totales: método 2540 B.
- Sólidos Suspendidos Totales: método 2540 D.
- Sólidos Disueltos totales: método 2540 C.

Se determinó la cobertura vegetal en dosel a través del uso de un densitómetro artesanal y la cobertura de vegetación en la superficie con el uso de un cuadro de pvc de 1 m^2 .

Se tomó una muestra de suelo en cada una de las 5 parcelas experimentales en el primer y último muestreo, se analizó la textura del suelo (método bouyoucos) y concentración de nutrientes Nitrógeno (N): método Micro-Kjeldahl, Fósforo (P): método extracción Olsen colorimetría Potasio (K): método extracción Olsen espectrofotómetro de extracción atómica, los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Amazónica.

Se estimó la velocidad y altura acumulada de infiltración del agua en el suelo en cada una de las parcelas a través del método del cilindro simple y se calculó la velocidad media de infiltración (García et al. 2008).

Análisis estadístico

Se aplicó análisis de varianza entre las diferentes épocas de muestreo) y análisis de correlación lineal de Pearson entre las variables, con el uso del programa INFOSTAT (Di Rienzo et al. 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de cada parcela y escorrentía generada

Las características de las parcelas pueden ser observadas en la tabla 1, que presenta en forma general cobertura a nivel de dosel entre densa y semi-densa, a nivel del sotobosque entre el 20 al 75 % y pendiente del 10 %. El volumen de escorrentía varió en cada época de muestreo. Se observa que existe diferencia en la escorrentía superficial generada, donde las parcelas 1, 2 y 5 presentan mayor volumen durante los meses de muestreo, en las cuales se tiene una cobertura

vegetal semi-densa a nivel del dosel, lo que faculta una menor retención de la precipitación y el aumento del flujo, mientras las parcelas 3 y 4 presentaron menores volúmenes y en las cuales se tiene cobertura vegetal densa, lo que concuerda con Roldán (2005) quien manifiesta que la cobertura vegetal intercepta las precipitaciones y disminuye el volumen de lluvia que llega a la superficie, por lo cual disminuye el flujo de escorrentía.

El mes de mayo registró el mayor volumen de escorrentía en las cinco parcelas, donde los datos descargados de la estación meteorológica del CIPCA reportaron la mayor precipitación en el período de muestreo con valor de 486,75 mm.

Tabla 1. Escorrentía generada en parcelas experimentales en los meses de marzo, abril, mayo, junio

Parcela	Volumen generado de escorrentía L.					Características de la parcela			
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Promedio	Dosel	Sotobosque		Pendiente %
						Cobertura	Cobertura a nivel del suelo (%)	Altura (cm)	
1	1,00	1,20	1,10	1,00	1,10	Semi -densa	20	30	10
2	1,05	1,00	1,10	0,95	1,03	Semi -densa	60	40	10
3	0,95	1,00	1,00	1,00	0,99	Densa	70	35	10
4	0,95	0,95	1,00	0,95	0,96	Densa	75	40	10
5	1,00	1,10	1,20	1,10	1,10	Semi -densa	50	35	10

Nutrientes del suelo

El análisis de varianza (tabla 2) de la concentración de los nutrientes N, P, K en el suelo, muestra valores significativos de “p” entre las medidas iniciales y finales del nitrógeno y potasio, esto se refleja en la tabla 3 donde la medida inicial presenta mayor valor. La correlación entre la escorrentía superficial y los nutrientes del suelo (tabla 4), muestra valores significativos al 0,05 en las relaciones escorrentía acumulada con la concentración de nitrógeno y potasio.

La correlación de la concentración de nutrientes en aguas de escorrentía con la precipitación (tabla 5), presenta significación al 0,05 con las concentraciones de nitrógeno total y fosfato y al 0,01 con conductividad eléctrica, temperatura, nitritos, nitrato y potasio.

Tabla 2. Análisis de Varianza de la concentración de los nutrientes en el suelo al inicio y al final del muestreo

Concentración	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F de Fisher	Valor de p (probabilidad)
Nitrógeno	0,17	1	0,17	12,6	0,008
Fósforo	2,82	1	2,82	1,78	0,219
Potasio	0,02	1	0,02	11,04	0,011

Tabla 3. Concentración de nutrientes en el suelo

Nutriente	Concentración mg/L		Error experimental	Pérdida mg/L
	Inicial	Final		
Nitrógeno	0,93 a	0,67 b	0,05	0,26
Potasio	0,22 a	0,14 b	0,02	0,08

a, b: valores con letras comunes no difieren para $P < 0,05$

Tabla 4. Correlaciones entre escorrentía superficial vs nutrientes del suelo

	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Escorrentía acumulada
Nitrógeno	1	0,650*	0,641*	-0,731*
Fósforo		1	0,714*	-0,389
Potasio			1	-0,741*
Escorrentía acumulada				1

* Significación al 0,05

Tabla 5. Correlación precipitación vs nutrientes presentes en aguas de escorrentía

	Conductividad	pH	Temperatura	Nitrato	Nitrito	Nitrógeno total	Fosfato	Potasio
Precipitación	-0,572**	-0,245	-0,628**	-0,577**	-0,630**	-0,462*	-0,462*	-0,790**

* significación al 0,05 **significación al 0,01

La concentración de nutrientes del suelo es menor en aquellas parcelas donde se generó mayor flujo de escorrentía superficial. Investigaciones realizadas por Adema et al. (2001) muestran que en suelos haplustol de características oxisoles al igual que el haplartox, las pérdidas de nutrientes en períodos de 6 meses para N en un valor de 0,5 g/kg y de P de 2,2 g/kg. Los resultados de la presente investigación presentan una menor pérdida de P en un período de 3 meses. Considerando las características de la parcela, obtenemos valores de pérdida de nutrientes de 0.00104 g/m² año de Nitrógeno y 0.00024 g/m² año de potasio.

Londoño et al. (2007) plantea que, en bosques húmedos tropicales, se han reportado pérdidas de potasio entre 3,5 a 20,8 kg/ha año o su equivalente de 0,35 g/m² año, en zonas con precipitaciones entre los 3565 a 3920 mm, siendo estos valores superiores a los obtenidos en el presente trabajo. También los resultados muestran que, a mayores volúmenes de precipitación, se tienen menores concentraciones de los elementos en las aguas de escorrentía debido principalmente a un efecto de dilución.

En la concentración de sólidos presentes en las aguas de escorrentía (tabla 6), se tuvieron diferencias a $p < 0,05$ donde el factor cobertura, muestra incidencia en la concentración de sólidos totales y suspendidos, mientras el mes de muestreo, presenta diferencias en los sólidos totales, suspendidos y disueltos y la altura del sotobosque en la concentración de sólidos suspendidos.

Tabla 6. Análisis de varianza de la concentración de sólidos para las diferentes épocas de muestreo

Parámetro	Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F de Fisher	Valor de p (probabilidad)
Sólidos totales	Cobertura	10717358,7	1	10717358,7	15,01	0,0015
	Cobertura a nivel de suelo.	1248426,5	3	416142,17	0,58	0,6353
	Altura del sotobosque	4460180,2	2	2230090,1	2,08	0,1554
	Mes	5101834,4	3	1700611,47	3,64	0,0447
Sólidos suspendidos	Cobertura	683124,3	1	683124,3	13,41	0,0023
	Cobertura a nivel de suelo.	32216,5	3	10738,83	0,21	0,8873
	Altura del sotobosque	544208,18	2	272104,09	4,95	0,0203
	Mes	409678,15	3	136559,38	4,63	0,0226
Sólidos disueltos	Cobertura	200,21	1	200,21	0,08	0,7757
	Cobertura a nivel de suelo.	8636,79	3	2878,93	1,21	0,34
	Altura del sotobosque	6705,38	2	3352,69	1,51	0,2496
	Mes	18515,35	3	6171,78	4,32	0,0278

El comportamiento de la concentración de sólidos en las aguas de escorrentía (tabla 7), mostró los menores valores para sólidos totales, suspendidos y disueltos en junio que también reportó la menor precipitación, mientras las muestras provenientes de parcelas que poseían de cobertura arbórea densa presentan menor pérdida de sólidos y aquellas con altura de sotobosque superior a 35 cm, perdieron menor cantidad de sólidos suspendidos en las aguas de escorrentía.

Tabla 7. Comportamiento de la concentración de sólidos en las aguas de escorrentía

Factor	Medida	Concentración de sólidos mg/L		
		Totales	Suspendidos	Disueltos
Mes	Marzo	1436,4ab	439,4b	108b
	Abril	1854,4b	461,2b	125b
	Mayo	1376,4ab	428,4b	103,6b
	Junio	469,6a	113,6a	44,4a
	EE	352,93	88,73	19,53
Cobertura	Densa	686,5a	209,75a	
	Semidensa	2180,75b	587b	
	EE	227,81	57,28	
Altura del sotobosque (cm.)	40		196,75a	
	35		381,88a	
	30		646b	
	EE		70,15	

a, b: valores con letras comunes no difieren para $P < 0.05$

Estos resultados evidencian que las pérdidas de sedimentos por arrastre de escorrentía superficial, son influenciadas por las características de la parcela donde su correlación (tabla 8), muestra valores significativos al 0,05 entre: concentración de sólidos totales y suspendidos con la escorrentía generada, escorrentía y cobertura del sotobosque a nivel del suelo, cobertura del suelo del sotobosque y sólidos totales.

Se encontraron correlaciones al 0,01 para: la concentración de sólidos totales con cobertura del dosel, concentración de sólidos suspendidos con cobertura del dosel, cobertura del suelo en el sotobosque y altura del sotobosque lo cual indica que a medida que la cobertura vegetal aumenta, la lámina de agua de escorrentía superficial tiende a disminuir. Esto puede deberse a que una mayor cobertura de dosel, presenta mayor intercepción foliar de la lluvia, disminuyendo la cantidad y fuerza con que las gotas de agua golpean sobre la superficie del suelo, disminuyendo con esto su fuerza erosiva y generando menor cantidad de sedimentos a ser transportados en las aguas de escorrentía. Una mayor cobertura y altura a nivel de sotobosque, contribuyen con el efecto citado anteriormente.

Tabla 8. Correlación entre características de la parcela y concentración de sólidos en aguas de escorrentía

Elemento	Concentración mg/L			Escorrentía	Cobertura del suelo		Altura sotobosque
	Sólidos totales	Sólidos suspendidos	Sólidos disueltos		Dosel	Sotobosque	
Sólidos totales	1	0,910**	0,276	0,474*	-0,688**	-0,501*	-0,443
Sólidos suspendidos		1	0,480*	0,506*	-0,680**	-0,630**	-0,603**
Sólidos disueltos			1	0,247	-0,067	-0,286	-0,254
Escorrentía				1	-0,626**	-0,541*	-0,393
Cobertura dosel					1	0,838**	0,764**
Cobertura suelo						1	0,823**
Altura							1

* significación al 0,05 **significación al 0,01

Bruijnzeel (2004), plantea que la pérdida anual de sedimentos suspendidos en bosque lluvioso oscila tropical entre 0,25 a 40 tm/ha en dependencia de encontrarse en áreas tectónicas estables o inestables como el caso del Círculo de Fuego del Pacífico y superiores que 65 tm/ha por año en margas en Java áreas donde se clarificó el bosque.

Extrapolando los resultados de esta investigación a la pérdida de sólidos suspendidos por año y por hectárea, se tienen valores de 25,2 tm/ha para las parcelas con cobertura superior al 70 % en el dosel y 70,44 tm/ha para las parcelas con cobertura inferior al 70 % en el dosel, valores que guardan relación con lo expuesto por este autor y además corroboran una mayor pérdida en zonas con menor cobertura.

Pérdida de la capa superficial del suelo en las parcelas experimentales

Durante la investigación se registró la pérdida del suelo en relación con el tiempo (figura 4) y muestra que las parcelas con mayor cobertura a nivel del sotobosque, son las que presentaron menor pérdida en altura de la capa del suelo. La parcela 1 posee 20 % cobertura de sotobosque a nivel del suelo, y es la que presenta mayor arrastre de suelo; mientras la parcela 2 tiene 60 % cobertura de sotobosque y presenta menor pérdida.

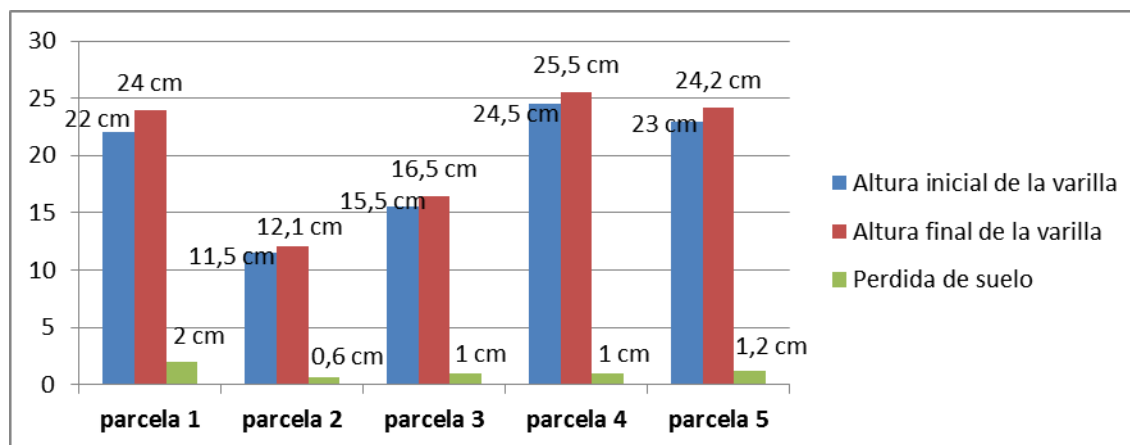


Figura 4. Evaluación de la pérdida de la capa superficial del suelo generada en las parcelas (1, 2, 3, 4, 5) tomando como punto de partida el primer muestreo

Sin embargo, las parcelas 3 y 4 perdieron 1 cm de capa superficial del suelo respectivamente, debido a que tienen características muy similares en cuanto a la cobertura vegetal densa que presentan a nivel del dosel; mientras que la parcela 5 perdió 1,2 cm de capa superficial del suelo por acción de la cobertura vegetal semi-densa a nivel del dosel la cual permitió el paso de la precipitación y por ello el aumento de escorrentía, contribuyendo a la pérdida de capa superficial del suelo. Cabe resaltar que las pérdidas de la capa superficial del suelo están más relacionadas con las parcelas que presentaron cobertura vegetal semi-densa a nivel del dosel y menor porcentaje de sotobosque a nivel del suelo.

Stadmuller (1994) indica que en bosques naturales tropicales es el sotobosque y no los árboles altos, el que presenta mayor incidencia en la protección del suelo, ya que la cobertura vegetal a este nivel, amortigua el golpeteo de las gotas de lluvia y de aquellas provenientes de las hojas de los árboles. Esto se corrobora con los resultados de la presente investigación donde los mayores niveles de pérdida de suelo se presentaron en las parcelas 1 y 5 que son las de menor cobertura de sotobosque.

En la infiltración acumulada se observa que las parcelas 3 y 4, que poseen mayor cobertura en el dosel muestran una mayor infiltración acumulada (figura 5), sobrepasando los 80 cm, y velocidad de infiltración (figura 6) donde la parcela 4 tiene una velocidad inicial superior al resto de parcelas, la cual decae rápidamente, mientras en la parcela 3 a pesar de ser menor decrece más lentamente. Esto también se ve reflejado en la velocidad de infiltración (tabla 9) donde las parcelas 3,4 y 5, presentan mayores valores.

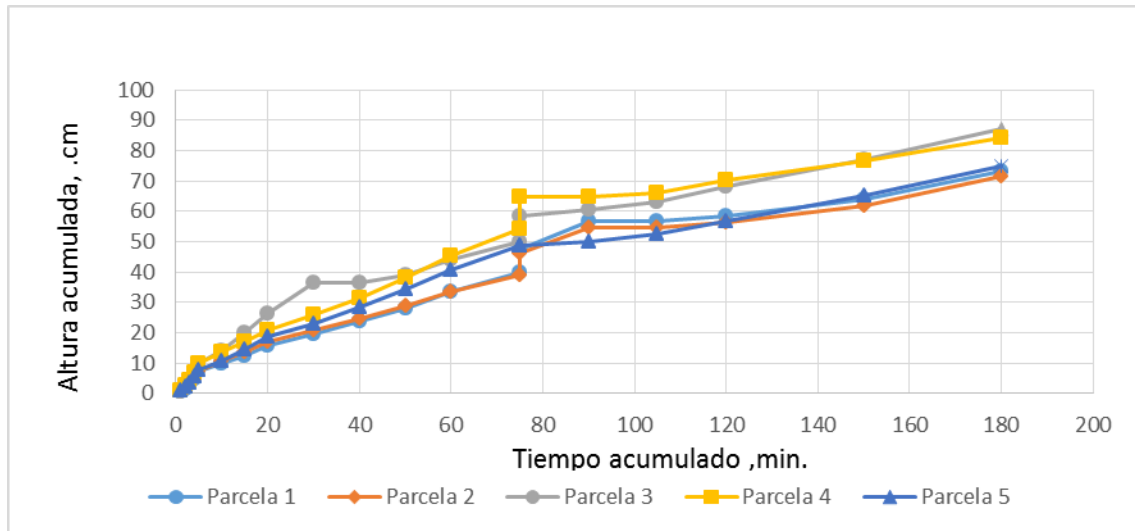


Figura 5. Infiltración acumulada

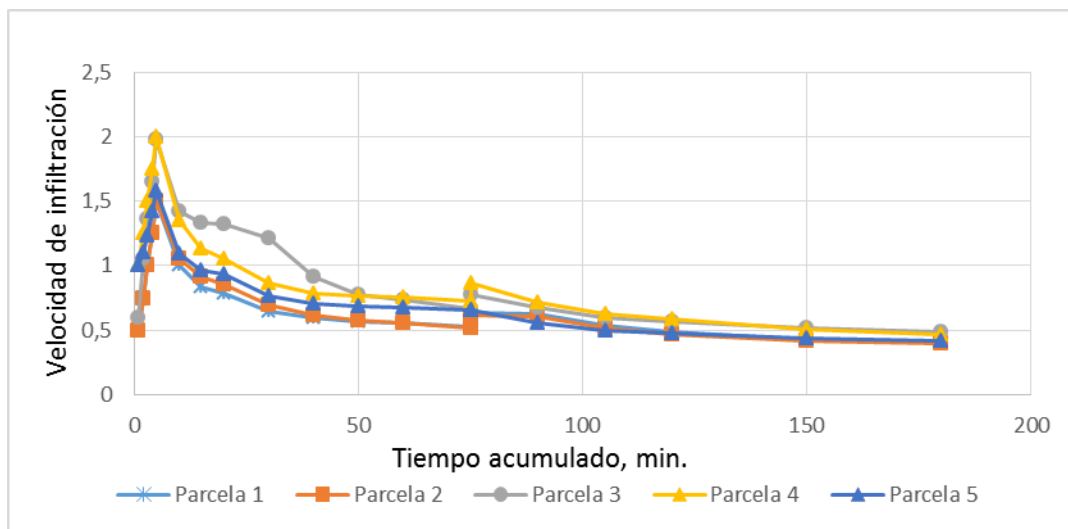


Figura 6. Velocidad de infiltración

Tabla 9. Velocidad de infiltración media

	Velocidad de infiltración cm/min
Parcela 1	0,499
Parcela 2	0,499
Parcela 3	0,598
Parcela 4	0,985
Parcela 5	0,983

Las parcelas que presentan mayor cobertura en el dosel, muestran mayor velocidad e infiltración acumulada con respecto a las otras parcelas. Observaciones realizadas en la zona de muestreo, permiten describir que los árboles no poseen un sistema radicular profundo, sino que el mismo se extiende sobre la superficie del suelo, donde sus raíces se expanden en forma horizontal a profundidades entre 0,5 a 1 m, lo cual puede deberse a que el suelo es arcilla compacta de característica dura, dificultando el desarrollo de las raíces en profundidad. Estos resultados concuerdan con Roldán (2005) quien plantea que la cobertura vegetal evita la degradación del suelo por escorrentía, disminuyendo el flujo total, aumentando la capacidad de infiltración y disponibilidad de nutrientes para las plantas. Stadmuller (1994) indica que la alta capacidad de infiltración de los suelos forestales, se debe principalmente a densidades bajas, buena estructura, intercepción parcial de la infiltración, cobertura de materia orgánica y ausencia del golpeo directo sobre el suelo, las raíces de los árboles forman canales que favorecen la infiltración y percolación del agua, lo que fundamenta lo expuesto anteriormente.

CONCLUSIONES

- La cobertura de dosel y del sotobosque influyó en la escorrentía generada, la cual a su vez influye en la pérdida de sedimentos, donde las parcelas con cobertura de dosel superior al 70%, presentaron promedios de volúmenes inferiores a 1 L y que reportaron concentraciones de 686,5 mg/L de sólidos totales, 209,75 mg/L de sólidos suspendidos, valores que estuvieron por debajo del 50% de las concentraciones en las parcelas con cobertura superior al 70 %.
- La escorrentía generada mostró diferencias significativas al 0,05 en las concentraciones de nitrógeno y potasio en el suelo teniendo a mayor cobertura, menores pérdidas. Esto también se ve reflejado por una mayor capacidad de infiltración en las parcelas que poseen mayor cobertura.

REFERENCIAS

- Adema E., Babinec F. y Peinemann N.** (2001). “Pérdida de nutrientes por erosión hídrica en dos suelos del Caldenal Pampeano”, *Ciencia del suelo*, vol. 19–2, pp. 144-154, ISSN 1850-2067, Universidad de la Rioja, La Rioja, España.
- Bruijnzeel L.** (2004). “Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?”. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 104. pp. 185–228, ISSN 0167-8809. Elsevier, Oxford, England.
- Di Rienzo J., Casanoves F., Balzarini M., González L., Tablada M. y Robledo C.** (2014) “INFOSTAT” Grupo INFOSTAT, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Extraído de <http://www.infostat.com.ar> en julio 2014.
- García M., Peláez C., García M., Cano Z. y Castellanos I.** (2008). “Variación de la velocidad de infiltración media en seis ecosistemas inalterados”. *Terra Latinoamericana*, vol. 26, pp. 21-27, ISSN 2395-8030, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.

- Glaser B. & Birk J.** (2012). “State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Indio)”. *Geochimica et Cosmochimica*. vol 82. pp 39-51, ISSN: 0016-7037, Geochemical Society; Meteoritical Society, Elsevier, Washintong, USA.
- Hach** (2015). “EPA Compilant Methods”. Hach, Loveland, United States. Extraído de: <http://www.hach.com/epa> en mayo del 2016.
- Hudson N.** (1997). “Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía”. *Boletín de Suelos de la FAO – 68*, ISBN 92-5-303406-8, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia.
- Londoño A., Montoya D., León J. y González M.** (2007). “Ciclaje y pérdida de nutrientes del suelo en bosques altoandinos de Antioquia”, *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, vol. 60, núm. 1, pp. 3717-3734, ISSN 2248-7026, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Rice E., Baird R., Eaton A. and Clesceri L.** (2012). “Standard methods for the examination of water and wastewater”, 22nd Ed., ISBN-13: 978-0875530130, American Public Health Association, American Water Works Association, Washington, USA.
- Roldán M.** (2005). “Factores que intervienen en la erosión hídrica. Módulo: erosión”. Curso de grado en hidrología de superficie y conservación de suelos. Notas de clase. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Stadmuller T.** (1994). “Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales, medidas para mitigarlo: una revisión bibliográfica”. Colección silvicultura y manejo de bosques naturales Serie técnica, Tropical Agricultural Research and Training Center, Informe técnico 246, ISBN 9977571961, 9789977571966. IICA / CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- UEA-SNI** (2014). “Mapa de Ubicación 1ra. edición”. Departamento de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la Amazonía (CIPCA), Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.