

Parámetros hidrológicos y de cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica¹

Ney Ríos

jrios@catie.ac.cr

Francisco Jiménez

catie.fjimenez@catie.ac.cr

Muhammad Ibrahim

catie.mibrahim@catie.ac.cr

Hernán Andrade

catie.handrade@catie.ac.cr

Freddy Sancho

Universidad de Costa Rica.

fsancho@cia.ucr.ac.cr

Los sistemas silvopastoriles presentaron características hidrológicas de escorrentía e infiltración intermedias entre las pasturas sobrepastoreadas y los bosques secundarios. Esto demuestra sus beneficios potenciales para recuperar y mejorar el manejo de pasturas en la cuenca del río Barranca, Costa Rica.

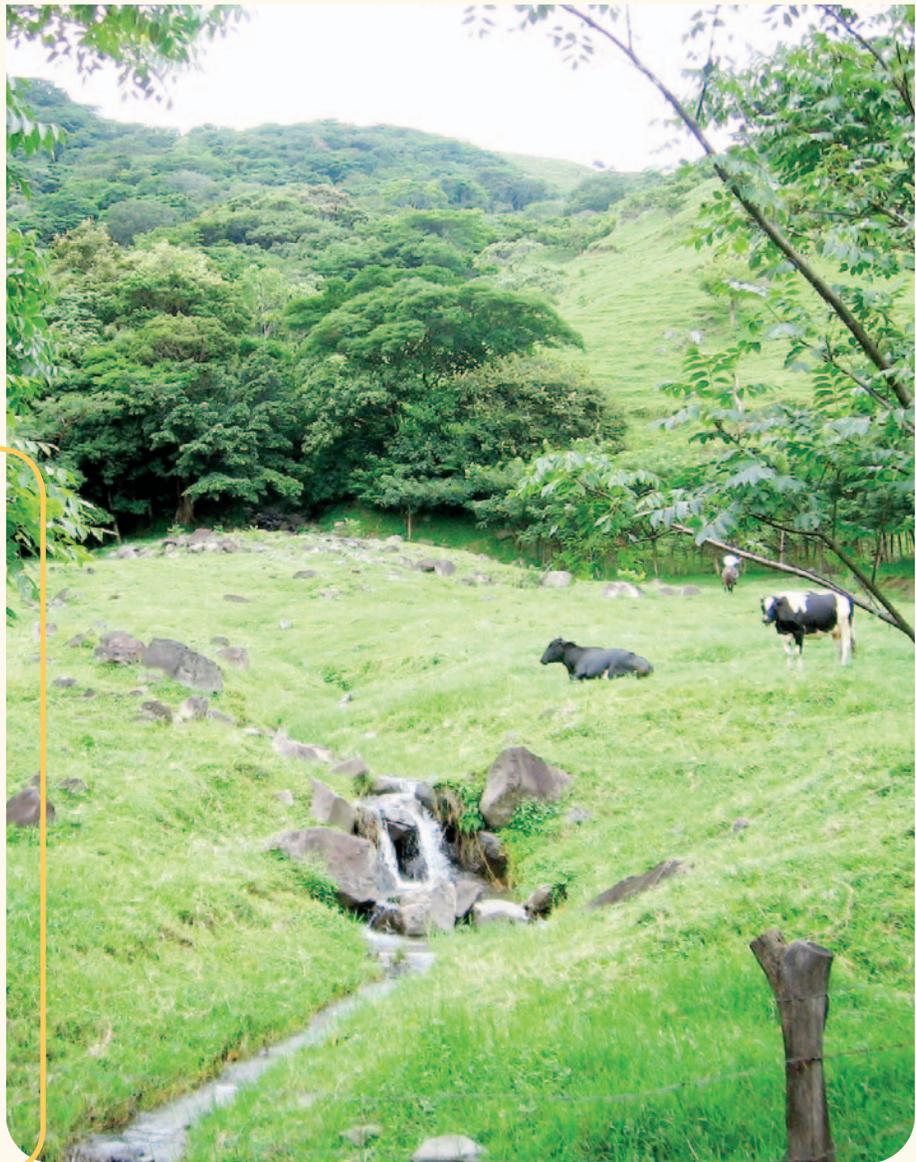


Foto: Ruth Cecilia Aquilla.

¹ Basado en Ríos, N. 2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.

Resumen

Se evaluó la escorrentía superficial, la capacidad de infiltración, la conductividad hidráulica del suelo y la cobertura vegetal en cuatro sistemas de uso de la tierra en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Los sistemas evaluados fueron: pasturas nativas sobrepastoreadas sin árboles, pasturas nativas con árboles, pasturas mejoradas con árboles y un bosque secundario intervenido. La escorrentía superficial mostró un comportamiento inverso a la cobertura arbórea en las fincas ganaderas; se determinó una correlación negativa de la cobertura arbórea y del área basal con respecto a la escorrentía superficial. La capacidad de infiltración presentó una correlación positiva con la cobertura de árboles y el área basal, lo que implica que la infiltración mejoró donde hay una mayor cobertura arbórea. Los sistemas silvopastoriles presentaron características hidrológicas de escorrentía e infiltración intermedias entre las pasturas sobrepastoreadas y los bosques secundarios. Esto demuestra sus beneficios potenciales para recuperar y mejorar el manejo de pasturas en la subcuenca del río Jabonal.

Palabras claves: Sistemas silvopastoriles; utilización de la tierra; escorrentía; infiltración; permeabilidad; propiedades hidráulicas del suelo; cubierta vegetal; pastizales; Costa Rica.

Summary

Hydrologic and vegetal cover parameters in cattle production systems located in the recharge area of Jabonal River sub-watershed, Costa Rica. Superficial runoff, infiltration capacity, hydraulic conductivity, and vegetal cover were evaluated in four land use systems in the recharge area of Jabonal River sub-watershed, Costa Rica. The systems evaluated were: overgrazed native pasture with no trees, native pasture with trees, improved pastures with trees, and intervened secondary forest. Superficial runoff and forest cover showed an inverse relationship in the cattle ranches evaluated; a negative correlation between forest cover and basal area, and superficial runoff was found. Infiltration capacity showed a positive correlation with forest cover and basal area; it implied that infiltration improved with forest cover. Silvopastoral systems showed intermediate runoff and infiltration values, evidencing potential benefits for pasture management and recovery in the Jabonal River sub-watershed.

Keywords: Silvopastoral systems; land use; runoff; infiltration; hydraulic conductivity; soil hydraulic conductivity; plant cover; pastures; Costa Rica.

Introducción

La cuenca como unidad de gestión territorial constituye un espacio natural relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones y acciones del ser humano sobre el uso y manejo de los recursos naturales. En el ámbito de una cuenca se da una estrecha interdependencia entre los subsistemas biofísicos y socioeconómicos; por ello, es necesario establecer mecanismos de gestión integral que permitan compatibilizar los intereses y necesidades de los habitantes y las actividades productivas y de conservación.

Las interacciones entre los componentes biofísicos y socioeconómicos en la cuenca -por ejemplo, a través de los usos de la tierra- dan lugar a cambios que afectan el ciclo hidrológico (Lluval y Uhl 1990). El cambio más importante en el uso de suelo en América Tropical en los últimos 30 años ha sido la conversión de bosques a pasturas (Kaimowitz 1996). Según la FAO (2001), en América Latina se pierden cerca de cinco millones de hectáreas de bosque natural por año; la mayor parte para establecer pasturas (Bilsborrow y Carr 2001). En América Central, muchas laderas se han erosionado

a causa del sobrepastoreo (Pezo et ál. 1992); de hecho, más del 50% de las tierras bajo pasturas presentan algún nivel de degradación (Szoot et ál. 2000).

El modelo tradicional de pastoreo en praderas sin árboles y la falta de tecnologías para una producción sostenible han ocasionado el avance de la frontera agrícola, la destrucción de grandes áreas de bosques naturales y el surgimiento de problemas ambientales como pérdida de diversidad biológica, degradación de suelos, contaminación de fuentes de agua y alteración del ciclo hidrológico (Murgüeitio et

ál. 2003). Los sistemas silvopastoriles son una opción para reducir los impactos ambientales negativos de los sistemas de producción ganadera tradicional (Pezo e Ibrahim 1996). Wilson y Ludlow (1991) indican que posiblemente la consecuencia más importante de los árboles en los sistemas silvopastoriles es su efecto positivo sobre el balance hídrico del sistema.

Varios estudios se han desarrollado con el propósito de evaluar el efecto del manejo de pasturas en los indicadores hidrológicos y edáficos, pero la mayoría se han realizado en zonas templadas (Rhoades et ál. 1964, Rauzi y Hanson 1966, Lusby 1970, McGinty et ál. 1979, Warren et ál. 1986, Yates et ál. 2000). El objetivo de este estudio fue evaluar parámetros hidrológicos y de cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica.

Materiales y métodos

Ubicación

La investigación se realizó en fincas ubicadas en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica, durante el periodo junio a noviembre del 2005. La subcuenca mide 42 km², con un rango altitudinal que va desde 300 a 1400 msnm, aunque los sitios de estudio estuvieron ubicados alrededor de 700 msnm. El 33% del territorio de la subcuenca se dedica a la producción ganadera en áreas de alta vulnerabilidad ecológica. La zona presenta dos periodos pluviométricamente bien definidos: la época seca de diciembre a abril y la lluviosa de junio a noviembre. La precipitación anual es de cerca de 3200 mm. Los suelos predominantes son Inceptisoles, de textura franca a franca arcillosa, quebrados, fuertemente ondulados con zonas escarpadas y pendientes de 30 a 60%.

Sistemas evaluados

Los sistemas evaluados fueron: pasturas nativas sobrepastoreadas, pasturas nativas con árboles, pasturas mejoradas con árboles y bosque secundario intervenido (Fig. 1). Se buscó que los sistemas seleccionados fueran representativos de la zona, que estuvieran en una zona de recarga de la subcuenca y que tuvieran similar tipo de suelo, con pendientes entre 30 y 35%. Las principales características de los sistemas se describen a continuación.

- Pasturas nativas sobrepastoreadas (PNS): establecidas hace diez años, no hay árboles, se encuentran

bajo pastoreo continuo; hay signos evidentes de compactación, erosión y degradación.

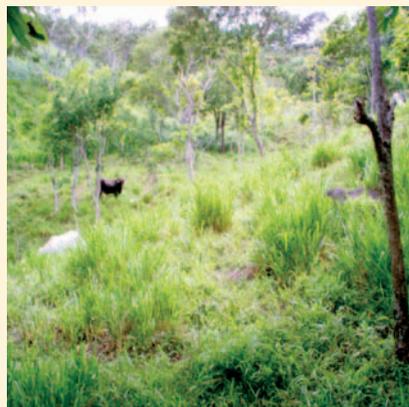
- Pasturas nativas con árboles (PNA): establecidas hace 15 años, se encuentran bajo pastoreo rotativo, el pasto predominante es *Brachiaria decumbens*, hay una abundancia mayor a 30 árboles por hectárea.
- Pasturas mejoradas con árboles (PMA): establecidas hace diez años, se encuentran bajo pastoreo rotativo, el pasto predominante es *Paspalum atratum*, hay una abundancia mayor a 30 árboles por hectárea.



Pasturas nativas sobre pastoreadas



Pasturas nativas + árboles



Pasturas mejoradas + árboles



Bosque secundario intervenido

Figura 1. Vistas de los sistemas evaluados en la subcuenca del río Jabonal, Barranca, Costa Rica

Fotos: Ney Ríos.

■ Bosque secundario intervenido (BSI): establecido hace 30 años, se encuentra bajo regeneración natural y con manejo selectivo, hay una abundancia mayor a 50 árboles por hectárea.

Variables evaluadas

Cobertura vegetal: se caracterizó la estructura horizontal y vertical en cada uno de los sistemas. La caracterización horizontal se realizó mediante un muestreo en una parcela de 20 x 50 m dividida en subparcelas de 10 x 10 m. En cada subparcela, con ayuda de un marco metálico de 0,50 m x 0,50 m se estimó visualmente el porcentaje de cobertura de pasto, maleza y suelo sin cobertura herbácea viva. La caracterización vertical se realizó mediante la estimación del porcentaje de cobertura vegetal en tres estratos: 0,0 – 2,0 m, 2,1 – 9,0 m y 9,1 – 20,0 m. En cada estrato se evaluó la riqueza y abundancia de árboles y arbustos, altura de los árboles, diámetro a la altura del pecho y área basal. Se realizaron correlaciones entre la cobertura vegetal y los parámetros hidrológicos evaluados con la finalidad de conocer el grado de relación entre ellos.

Escorrentía superficial: Se establecieron tres parcelas de escorrentía por sistema, con dimensiones de 5 m x 10 m (Fig. 2), separadas mediante láminas de hierro galvanizado de 15 cm de altura (10 cm sobre el suelo y 5 bajo el suelo). Para evitar la pérdida de agua escurrida durante lluvias mayores a 20 mm se usó un sistema de drenaje que permitiera recolectar la escorrentía superficial (Fig. 3); el segundo recipiente recolectaba sólo una fracción del agua escurrida (1/15) del primer recipiente. Las mediciones se registraron por las mañanas (6 – 9 am) durante el periodo de estudio. Para la medición del volumen de agua escurrida de las parcelas de escorrentía se utilizó una regla graduada en centímetros; en el recipiente 2 se midió el nivel del agua

y luego se vació. El recipiente 1 se mantuvo lleno de agua durante todo el periodo de evaluación. Además, se verificó que los recipientes quedarán nivelados para la próxima lectura: en el primero, para asegurar una pérdida de agua equitativa y en el segundo, para realizar la lectura del nivel de agua. Para el cálculo de la escorrentía superficial en cada parcela, el volumen medido en el segundo recipiente fue multiplicado por la cantidad de salidas del primer recipiente (15). La precipitación fue medida mediante el uso de un pluviómetro instalado en la parte superior de cada parcela de escorrentía, a 2 m de altura sobre el suelo.

Infiltración: La capacidad de infiltración se estimó con el método de inundación o anillos concéntricos. En forma simultánea, en la parte superior, media y baja de cada sistema se instalaron dos cilindros: uno interno de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura y uno externo de 50 cm de diámetro y una altura de 20 cm. El anillo externo se introdujo en el suelo 5 cm y el interno 10 cm, el anillo externo se llenó y mantuvo con agua a una altura de 5 cm. La lectura se realizó en el anillo interno mediante una regla graduada a intervalos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos. Con los datos obtenidos se desarrollaron las ecuaciones de relación entre infiltración y tiempo para cada sistema con su respectivo coeficiente de regresión. La capacidad de infiltración se calculó con la ecuación de Kostiakov, según la metodología descrita por Henríquez y Cabalceta (1999), utilizando los valores del intercepto y pendiente obtenidos en la ecuación de cada sistema y el tiempo de referencia de una hora.

Conductividad hidráulica (K): La determinación del flujo de agua en el suelo saturado se realizó en dos fases: la fase de campo y la fase de laboratorio. En la fase de campo se recogieron muestras de suelo no disturbado al lado de cada una de las parcelas de

escorrentía; se usó un barreno y cilindros metálicos de 7,5 cm de diámetro por 7,5 cm de altura y 15 cm de profundidad. En la fase de laboratorio se hicieron las pruebas de conductividad hídrica en el suelo saturado, según la metodología descrita por Henríquez y Cabalceta (1999).

Análisis estadístico de los datos

Bajo un esquema de muestreo, se aplicó un análisis de varianza a los datos de escorrentía superficial e infiltración, para los diferentes sistemas (3 muestras por sistema). El modelo de análisis fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + E_{ij}$$

donde, Y_{ij} es la variable de respuesta, μ es la media general, S_i es el efecto del i ésimo sistema y E_{ij} es el término de error aleatorio.

Para la conductividad hidráulica se utilizó un esquema de submuestreo (4 submuestras en cada parcela utilizada para escorrentía). No hubo repeticiones. Se aplicó un análisis de varianza según el modelo siguiente (Steel y Torrie 1988):

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_{ij} + Esm_{ijk}$$

donde Y_{ijk} es la variable de respuesta, μ es la media general, S_i es el efecto del i ésimo sistema, E_{ij} es el término de error aleatorio y Esm_{ijk} es el error debido a la variación de las submuestras dentro de una muestra.

En los casos que los modelos evidenciaron diferencias estadísticas entre sistemas de uso de la tierra, se aplicó una prueba de Duncan para comparar las medias.

Resultados y discusión

Cobertura vegetal

Los resultados de cobertura vegetal (Fig. 4) muestran que el sistema PNS presenta una mayor área de suelo sin cobertura herbácea viva (60%), en comparación con los demás sistemas: PNA (46%), PMA (23%) y BSI (48%). La cobertura de pastos fue mejor en el PMA (62%), segui-

do por PNA (39%) y PNS (19%); en el bosque secundario intervenido no se encontraron pastos. Asimismo, este último sistema tuvo la mayor cobertura de malezas (52%), seguido por PNS (22%) y PNA/PMA (ambos con 15%). En cuanto a la estructura vertical (Fig. 5), el sistema PNS no presentó estructura vertical (ni árboles ni arbustos), en tanto que el BSI mostró los mayores valores en los tres estratos y fue el único sistema con una estructura vertical en el estrato de 9 a 20 m.

Escorrentía superficial

Con base en 50 eventos pluviométricos ocurridos durante el periodo de evaluación, el umbral de escurrimiento (lámina de lluvia a partir de la cual se inicia la escorrentía superficial) fue de 2,5 mm en PNS, 2,7 mm en PNA, 3,2 mm en PMA y 12,6 mm en BSI. Estas marcadas diferencias se deben a que los tallos, hojas y ramas se comportan como una barrera física, absorben el impacto de las gotas del agua y actúan como una esponja que reduce y retarda la escorrentía superficial, especialmente en zonas de ladera (Alegre et ál. 2000). El bosque secundario intervenido necesitó seis veces más lluvia que las pasturas nativas sobrepastoreadas para generar escurrimiento superficial. El aumento de la interceptación de la precipitación en sistemas con mayor cobertura vegetal demuestra que los árboles afectan la dinámica hídrica, al incrementar la infiltración y la retención de agua (Young 1997). La escorrentía superficial fue cuatro veces mayor en PNS (28%) que en el BSI (7%) y dos veces más que en PMA (15%), aunque no presentó diferencia significativa con el PNA (27%). La escorrentía superficial tuvo influencia de la cobertura arbórea ($r = -0,71$; $p = 0,01$) y el área basal ($r = -0,67$; $p = 0,02$). Hong (1978) y Humphreys (1991) coinciden en que la escorrentía superficial se relaciona inversamente con la cobertura vegetal.

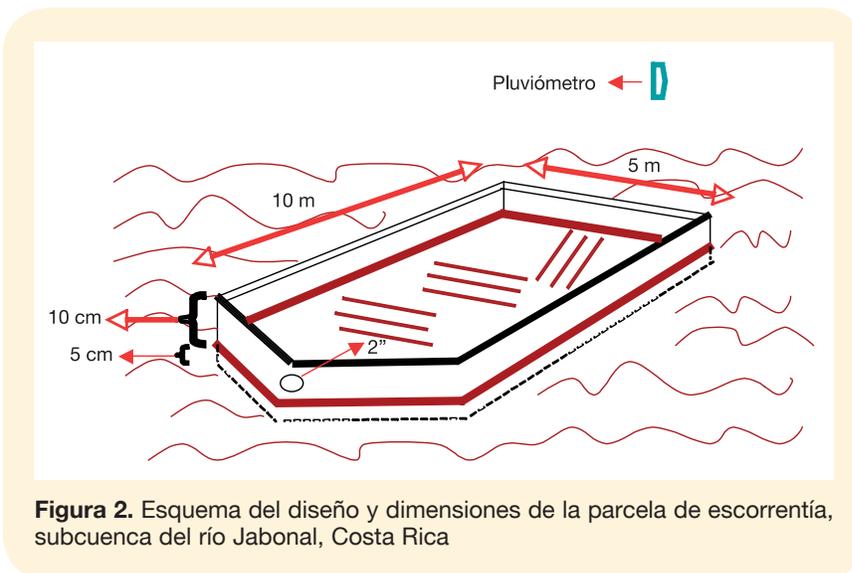


Figura 2. Esquema del diseño y dimensiones de la parcela de escorrentía, subcuenca del río Jabonal, Costa Rica



Figura 3. Vista del sistema colector y drenaje de las parcelas de escorrentía, subcuenca del río Jabonal, Costa Rica

El manejo que ha recibido cada sistema es un factor importante que influye en la escorrentía superficial. Así, se observó un incremento en la escorrentía superficial durante el periodo de pastoreo, posiblemente por efecto del pisoteo del ganado. Rhoades et ál. (1964) y Rauzi y Hanson (1966) afirman que a una mayor carga animal, mayor es la compactación del suelo y la escorrentía superficial y menor la infiltración. Cuando las pasturas no fueron pastoreadas, la escorrentía superficial disminuyó (hasta en 20%). Turcios (1994) reporta resultados similares.

Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración fue mayor en el BSI (3,54 cm/h), seguido por PMA (0,23 cm/h), PNA (0,19 cm/h) y PNS (0,07 cm/h). Tendencias similares encontró Suárez de Castro (1980) al comparar la eficiencia de infiltración entre bosque (68,9 %) y pastura (24,7%).

La capacidad de infiltración también es influenciada por la cobertura arbórea ($r = 0,75$; $p = 0,01$) y por el área basal ($r = 0,78$; $p < 0,01$). Los sistemas con mayor cobertura presentaron los valores más altos debido, posiblemente, al efecto esponja

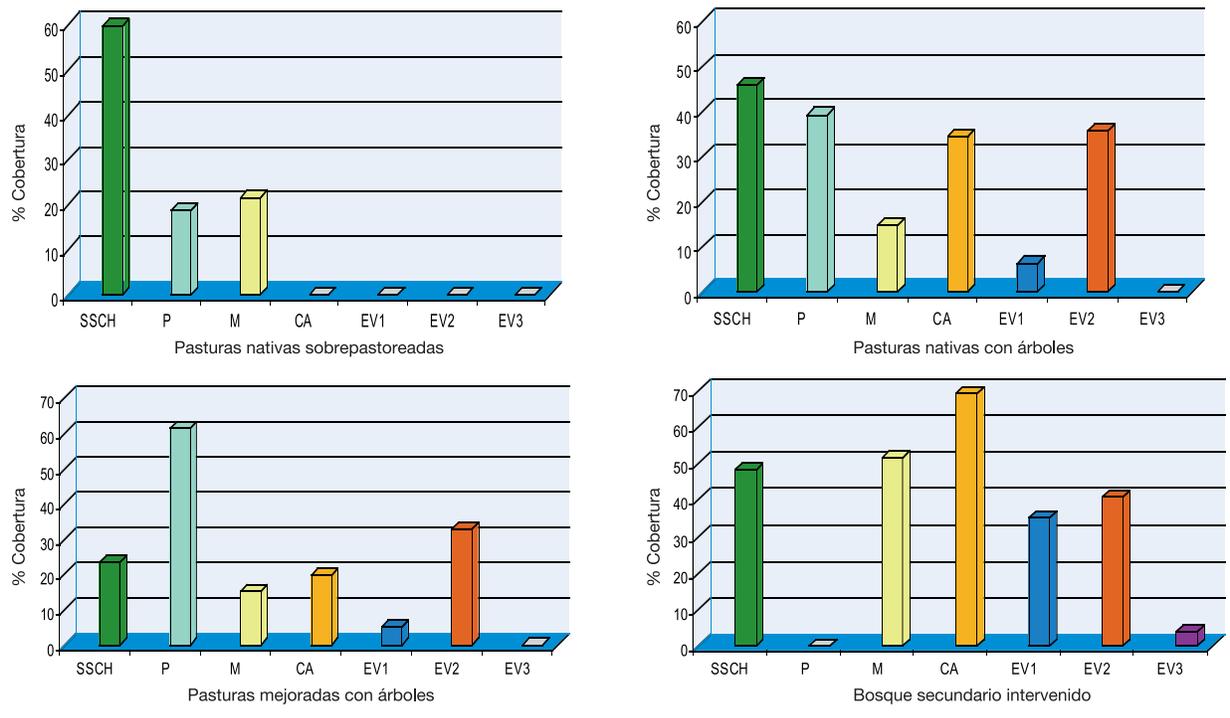


Figura 4. Caracterización vegetal en los sistemas silvopastoriles evaluados en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica
 SSCH = suelo sin cobertura herbácea viva; P = pastos; M = maleza; EV1 = estructura vertical de 0 - 2 m; EV2 = estructura vertical de 2 - 9 m; EV3 = estructura vertical de 9 - 20 m.

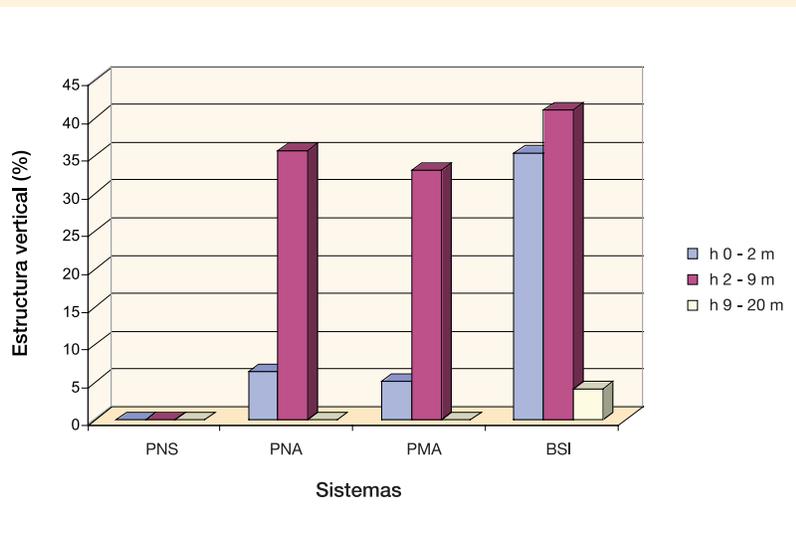


Figura 5. Estructura vertical de los sistemas silvopastoriles evaluados en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica
 PNS = pastura nativa sobrepastoreada; PNA = pastura nativa con árboles; PMA = pastura mejorada con árboles; BSI = bosque secundario intervenido; h = altura.

del *mulch* en el suelo (Adams 1966, Musgrave y Nichols 1942), lo cual pudiera contribuir a la recarga de los mantos freáticos. La intensidad del pastoreo en los sistemas ganaderos es un factor que afectó la capacidad de infiltración. Takar et ál. (1990) y Singh y Gupta (1990) reportaron también el efecto negativo de la compactación del suelo por pisoteo del ganado sobre la infiltración.

Conductividad hidráulica
 La conductividad hidráulica del suelo depende de su estructura y textura (Henríquez y Cabalceta 1999). Los análisis de conductividad hidráulica arrojaron los siguientes resultados: PNS (1,24 cm/h), PMA (0,35 cm/h), BSI (0,20 cm/h) y PNA (0,10 cm/h); las diferencias fueron estadísticamente significativas. La

mayor conductividad en el PNS se puede explicar por el mayor espacio poroso en el suelo debido al sistema radicular y el brote masivo de las pasturas, ya que en el momento del muestreo se encontraban en descanso. En el PNA y el PMA, el pisoteo del ganado influyó negativamente en la conductividad hidráulica debido a la obstrucción parcial de la superficie a causa de la lluvia o el pisoteo del ganado, que transforma la superficie de un suelo estructurado en una capa con

mayor densidad aparente y baja porosidad y disminuye la conductividad hidráulica (Moore 1981 citado por Zhang et ál. 2001, Sadeghian et ál. 1997).

Conclusiones

La escorrentía superficial mostró un comportamiento inverso a la cobertura arbórea en las fincas ganaderas. Se determinó una correlación negativa de la cobertura arbórea y del área basal con respecto a la escorrentía superficial.

La capacidad de infiltración presentó una correlación positiva con la cobertura de árboles y el área basal, lo que implica que la infiltración mejoró donde hay una mayor cobertura arbórea.

Los sistemas silvopastoriles presentaron características hidrológicas de escorrentía e infiltración intermedias entre las pasturas sobrepastoreadas y los bosques secundarios. Esto demuestra sus beneficios potenciales para recuperar y mejorar el manejo de pasturas en la cuenca del río Barranca, Costa Rica 

Literatura citada

- Adams, J. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion. American Society of Soil Science. Proceeding (30):110-114.
- Alegre, J; Meza, A; Arévalo, L. 2000. Establecimiento de barbechos mejorados. Revista Agroforestería de las Américas (7): 27.
- Bilsborrow, R; Carr, D. 2001. Population, agricultural land use and the environment in developing countries. In Lee, DR; Barret, CB. Eds. Tradeoffs or synergies? Agricultural intensification, economic development and the environment. Wallingford, UK, CABI. p. 35-56.
- FAO (UN Food and Agriculture Organization). 2001. The Global Forest Resources Assessment 2000. Summary Report. Rome, IT, Committee on Forestry (Information Note, 15th Session, 12-16 March). 92 p.
- Henríquez, C; Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José, CR, UCR. 122 p.
- Hong, A. 1978. Evaluation on the use of vegetative covers for soil conservation. Agricultural Journal of. Malaysia 51: 335 -342.
- Humphreys, L. 1991. Tropical pasture utilization. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 202 p.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation in Central America in the 1980s: a policy perspective. Bogor, IN, CIFOR. 88 p.
- Lluval, J; Uhl, Ch. 1990. Transpiration rates for several woody successional species and for a pasture in the Upper Amazon basin in Venezuela. Acta Amazónica 20: 29-38.
- Lusby, GC. 1970. Hydrologic and biotic effects of grazing versus no grazing near Gran Junction, Colorado. Journal of Range Management 23: 256-260.
- McGinty, WA; Smeins, FE; Merrill, LB. 1979. Influence of soil, vegetation, and grazing management on infiltration rate and sediment of Edwards Plateau rangeland. Journal of Range Management 32 (1):33-37.
- Murgüeitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapato, A; Mejía, C; Casasola, F. 2003. Uso de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto "Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas" Cali, CO, CIPAV. 97 p.
- Musgrave, G; Nichols, M. 1942. Organic matter in relation to land use. American Society of Soil Science. Proceeding (7): 22-28.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. Memoria [1er Foro Internacional sobre "Pastoreo intensivo sobre zonas tropicales". Veracruz, México, 7 - 9 noviembre 1996]. Morelia, MX, FIRA - Banco de México. 39 p.
- _____; Romero, F; Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. In Fernández Baca (ed) Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Santiago, CL, FAO. p. 47-98
- Rauzi, F; Hanson, C.1966. Water intake and runoff as affected by intensity of grazing. Journal of Range Management 19:351-356.
- Rhoades, E; Locke, L; Taylor, H; Mcilvain, E. 1964. Water intake on a sandy range as affected by 20 years of differential cattle stocking rates. Journal of Range Management 17:185-190.
- Sadeghian, S; Rivera, J; Gómez, M. 1997. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. In Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica". Disponible en: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afri/ espanol/document/agrofor1/Agrofor1.htm>
- Singh, R; Gupta, M. 1990. Impact of grazing on infiltration in forest ecosystems. Journal of Tree Sciences 9(2): 82-85.
- Steel, R; Torrie, J. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. México D.F. McGraw-Hill / Interamericana de México. 622 p.
- Suárez de Castro, F. 1980. Conservación de suelos. IICA, San José, CR. 315 p.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The Hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE-DANIDA-GTZ. 71 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 313).
- Takar, A; Dobrowski, J; Thurow, T. 1990. Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and inter-rill erosion on Somalian rangeland. Journal of Range Management 43(6): 486-490.
- Turcios, W. 1994. Producción y valorización económica del componente hídrico y forestal de los robledales de altura bajo intervenciones silviculturales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.
- Warren, SD; Thurow, TL; Blackburn, WH; Garza, NE; 1986. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. Journal of Range Management 39(6):491-495.
- Wilson, J; Ludlow, M. 1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. In Shelton, HM; Stür, WW. Eds. Forages for plantation crop. Canberra, AU, ACIAR. p. 10-24.
- Yates, CJ; Norton, DA; Hobbs, RJ. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in South-Western Australia: implications for restoration. Austral Ecology 25:36-47.
- Young, A. 1997. The potential of agroforestry for soil conservation and sustainable land use. In Seminar on land and water resources management. Washington D.C., World Bank. p. 303-317.
- Zhang, B; Horn, R; Baumgarti, T. 2001. Changes in penetration resistance of Ultisols from southern China as affected by shearing. Soil & Tillage Research 57:193-202.