

Intercepción de precipitación en dos especies forestales nativas:

Vochysia guatemalensis Donn. Sm. y *Vochysia ferruginea* Mart.

Dorian Carvajal-Vanegas¹
Julio Calvo-Alvarado²

Resumen

La intercepción de precipitación en plantaciones de *V. ferruginea* Mart. y *V. guatemalensis* Donn. Sm. fue estudiada en la estación biológica La Selva, Heredia, Costa Rica. Se realizaron mediciones diarias de precipitación bruta, precipitación de copas y escorrentía fustal de agosto a noviembre del 2004. Se determinó estadísticamente si el número de pluviómetros utilizados fue el correcto para una precisión aceptable. El porcentaje de precipitación de copas para *V. ferruginea* fue de 87,65% de la precipitación bruta, en *V. guatemalensis* fue del 92,12%. Los porcentajes de escorrentía de fuste fueron 2,98% y 3,39% de la precipitación bruta respectivamente. Las pérdidas totales por intercepción en *V. ferruginea* fueron de 9,37% de la precipitación bruta, en *V. guatemalensis* fueron de 4,49%.

Palabras clave: intercepción de precipitación, precipitación de copas, escorrentía de fuste, hidrología forestal, *Vochysia ferruginea*, *Vochysia guatemalensis*, Costa Rica.

Abstract

Rainfall interception in two forest species: *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. and *Vochysia ferruginea* Mart. The rainfall interception in plantations of *V. ferruginea* Mart. and *V. guatemalensis* Donn. Sm. was studied at La Selva biological station (OTS), Heredia, Costa Rica. Daily measurements of gross rainfall, throughfall and stemflow were taken from August to November 2004. Statistical tests were used to assess if the number of used rain gauges was the correct for acceptable estimates. The percentage of throughfall for *V. ferruginea* was 87,65% of gross rainfall, in *V. guatemalensis* was 92,1%. The percentages of stemflow were 2,98% y 3,39% of the gross rainfall respectively for the same species. Total interception losses in *V. ferruginea* were of 9,37% of the gross precipitation, in *V. guatemalensis* were of 4,49%.

Keywords: rainfall interception, throughfall, stemflow, forest hydrology, *Vochysia ferruginea*, *Vochysia guatemalensis*, Costa Rica.

1. Escuela de Ing. Forestal - Instituto Tecnológico de Costa Rica.
dcarvajal@itcr.ac.cr Tel: (506) 2550-2211

2. Escuela de Ing. Forestal - Instituto Tecnológico de Costa Rica.
juicalvo@itcr.ac.cr Tel: (506) 2550-2211

Introducción

El efecto de la disminución de grandes extensiones de bosques en el clima local y global ha sido por mucho tiempo poco entendido y resulta importante tomar en cuenta el papel que tiene la cobertura boscosa en la regulación del balance hídrico durante y después de las lluvias (Lloyd y Marques-Filho 1988).

En Costa Rica por muchos años se eliminó el bosque para dar espacio a la agricultura y ganadería (Rosero-Bixby y Palloni 1997) y no es hasta hace unas décadas que se iniciaron programas de reforestación o procesos de restauración natural de bosques. Por lo tanto es importante estudiar el efecto de las plantaciones forestales y los diferentes tipos de bosques en la hidrología y su impacto en los flujos de cuencas que abastecen agua para consumo humano u otros usos, por lo que es importante controlar la cantidad como la calidad del agua (Nambiar y Brown 1997).

En Costa Rica se ha llegado de manera acumulada a reforestar más de 215 000 hectáreas de plantaciones hasta 2008, hasta el 2009 se estimaba que existían unas 40 000 ha de plantaciones de Teca, Melina, y otra especies nativas (Calvo-Alvarado 2009). Por esta razón es importante conocer cual es el efecto de las especies utilizadas en la reforestación dado que los proyectos de reforestación pueden causar un impacto positivo o negativo dependiendo de la regulación de los flujos que se desee obtener.

La Intercepción de precipitación (I) se define como el agua atrapada y retenida en la vegetación, follaje y tallos que no llega efectivamente al suelo mineral. Esta agua interceptada se pierde por evaporación directa hacia la atmósfera y por tanto no llega a las aguas subterráneas o a los ríos y lagos (Calvo-Alvarado 1996; Cavelier y Vargas 2002; León Peláez *et al.* 2010). Los flujos que intervienen en la intercepción son: la precipitación de copas (PC) que es el agua que pasa a través del dosel (Pidwirny 2006) y la escorrentía de fuste (E) que es el agua que escurre por la corteza de una planta (Wang *et al.* 2004). La intercepción se representa mediante la siguiente ecuación:

$$I = P - (PC + E) \quad (1)$$

La intercepción también se ve afectada por la capacidad de almacenamiento de copas que es la cantidad máxima de agua que puede retener el follaje antes de escurrir (Dunkerley 2000; Cavelier y Vargas 2002). Este valor depende de la naturaleza de la superficie de intercepción, forma, tamaño, textura, viento entre otros factores (Jackson 1975; Klaassen *et al.* 1998).

Valores promedios de intercepción en bosques del neotrópico rondan el 14,8% de la precipitación bruta con una variación desde 5% hasta 26,6% (Cavelier y Vargas 2002). En plantaciones forestales de *Pinus patula*, *Quercus humboldtii* y *Cupressus lusitanica*, ubicadas en la cordillera central de Antioquia, Colombia,

León Peláez *et al.* (2010) encontraron valores de pérdidas por intercepción de 19,1%, 14,5% y 10,2% de la precipitación respectivamente. Jiménez-Rodríguez (2005) reporta para un bosque secundario de bajura del Caribe costarricense una intercepción del 23,55%.

Este conocimiento básico es aplicado en el manejo forestal y de cuencas, dado que es necesario en algunos casos seleccionar especies que promuevan el mayor flujo de agua (áreas que requieren abastecimiento) y en otros casos que se reduzcan el mismo (áreas que requieren regulación y control de régimen de caudales). Por lo tanto los objetivos de este estudio son:

- Generar información que permita realizar una evaluación comparativa del efecto de las especies *V. ferruginea* y *V. guatemalensis*, dos especies nativas, en el ciclo hidrológico en agrosistemas de plantación forestal, específicamente midiendo la intercepción de la precipitación diaria.
- Desarrollar a partir de la información colectada modelos de regresión que permita estimar la intercepción de la precipitación en función de las características de la plantación de cada especie y la precipitación bruta a cielo abierto.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el año 2004, en la Estación Biológica La Selva (OET) localizada en el cantón de Sarapiquí, provincia de Heredia, Costa Rica. (10°26' N, 83°59' W) específicamente en el sector conocido como La Flaminea, adquirido por la OET en 1991 (Figura 1).

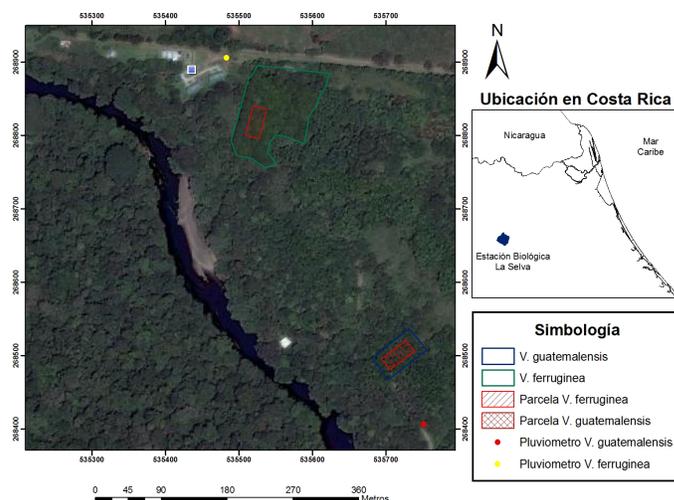


Figura 1. Ubicación de las parcelas de *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica.

La precipitación anual promedio es de 3962 mm, con picos de precipitación mensual mayores a los 400 mm los cuales ocurren entre los meses de Junio-Julio y Noviembre-Diciembre. La temperatura promedio

mensual es de 25,8 °C con pequeñas diferencias durante el año. Este sitio es descrito con más detalle por McDade y Hartshorn (1994).

Se seleccionaron dos plantaciones de *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis*, con edades de 11 y 10 años respectivamente y un distanciamiento entre árboles de 4 x 4 metros, con una densidad inicial de 625 individuos por hectárea. La parcela de *V. ferruginea* tiene una altura media de 19 m, con un DAP promedio de 22,4 cm, por su parte la parcela de *Vochysia*, tiene una altura media de 18 m y un DAP promedio de 26,5 cm.

Diseño experimental

Ambas plantaciones carecen de manejo desde su establecimiento. Dentro de cada plantación se ubicó una parcela rectangular, de 50 x 40 m, con un área total 2000m². En su interior se ubicó una sub-parcela experimental de 20 x 30 m, con un área efectiva de medición de 600 m², dejando así un borde de 10 metros.

En cada parcela se ubicaron 40 pluviómetros de manera aleatoria los cuales se reubicaron cada 10 eventos a nuevas posiciones, la ubicación se realizó con una cuadrícula donde se dividió cada parcela en 600 cuadros de 1 m², el arreglo se compone de 20 filas de 30 cuadros. El sorteo de ubicación de cada pluviómetro fue con dos números al azar de 1 a 30 donde reubicaron 2 pluviómetros en cada fila hasta completar los 40, después de cada 10 eventos se volvió a escoger nuevos números para así tener nuevas ubicaciones. El objetivo de la rotación de los pluviómetros es el de muestrear una mayor cantidad de posibles ubicaciones para reducir la varianza.

Una vez establecidas las parcelas se procedió a medir la precipitación a cielo abierto, precipitación de copas y escorrentía de fustes, se realizó de la siguiente forma:

Precipitación a cielo abierto: se midió con dos pluviómetros construidos con recipientes plásticos de un galón de capacidad (3785 ml) y embudos plásticos de 125 mm de diámetro. Los dos pluviómetros se colocaron en un espacio abierto a menos de 100 m de distancia de cada parcela para minimizar errores por lluvias locales (Figura 2a). La lluvia a cielo abierto o bruta es entonces el promedio de las dos lecturas de estos dos pluviómetros.

Precipitación de copas: se midió con 40 pluviómetros construidos de la misma forma y empleando el mismo embudo con el mismo diámetro y capacidad que los de cielo abierto. En la ubicación de cada pluviómetro se limpió un área alrededor de cada uno para que el sotobosque no obstruyera la caída de agua en un ángulo de 45° grados de la boca del pluviómetro. La precipitación de copas es por tanto el promedio de hasta 40 pluviómetros (Figura 2b).

De esta forma se puede compensar los errores por pérdida de datos por caída de ramas o alteraciones por animales silvestres (saínos, venados, armadillos, etc) de algunos pluviómetros (aunque resulto casi inusual).

Escorrentía de fustes: se colocaron collares de manguera plástica de 1 pulgada de diámetro en cinco árboles para cada parcela (Figura 2c). Los árboles seleccionados representan todo el rango de diámetros de la plantación, las mangueras fueron fijadas con clavos y selladas al fuste con pasta asfáltica o tapa goteras. Se colocaron recolectores plásticos al final de cada manguera de 20 a 200 litros de capacidad según el diámetro del árbol. El promedio de la escorrentía de fuste de estos 5 árboles se asume como la escorrentía de fuste de toda la parcela.



Figura 2. Pluviómetros a cielo abierto (2a), pluviómetros bajo dosel (2b) y collares para la recolección de agua en fustes (2c) en plantaciones de *Vochysia guatemalensis* en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica.

Toma de datos

Las mediciones se realizaron entre el 12 de agosto y el 17 de noviembre del 2004. Se realizaron usualmente a partir de las 6.30am, sin embargo en algunas ocasiones se midió en la tarde por motivo de eventos matutinos y en otras ocasiones se incluyó más de un evento en la medición.

Además, en cada parcela se tomaron 32 fotografías del dosel, con una cámara digital con lente de 50 mm, para calcular el área de cobertura de copas, y se recolectaron hojas en cada especie para calcular un área foliar específica para cada especie y promedio por hoja.

Análisis de datos

Los datos de precipitación bruta, de copa y de fuste se midieron en ml o cm³, para traducir este flujo en lámina de agua en mm se necesitó medir el área de recolección en cada caso. Así para los pluviómetros para cielo abierto y para la precipitación de copas el área de recolección es igual al área de boca del embudo (122,72 cm²). En el caso de la escorrentía de fuste el área de recolección es igual al área de proyección de copas de cada árbol con collar. El área de proyección es el producto de una estimación de 6 radios medidos en el campo de la copa del árbol muestreado. El volumen colectado en ml se divide así entre el área obtenida en cm² de cada copa, obteniendo el resultado en cm, que se multiplica por 10 para obtener lámina en mm.

Para calcular el coeficiente de variación entre las mediciones de los pluviómetros dentro la plantación se utilizó la siguiente fórmula (Orozco y Brumér, 2002):

$$CV\% = \frac{S}{Y} * 100$$

Por su parte para calcular los errores de muestreo en esta misma variable de precipitación de copas se utilizaron las siguientes formulas:

$$E_{(1-a)} = Sy * t_{\alpha/2, n-1} \quad E\%_{(1-a)} = \frac{E_{(1-a)}}{Y} * 100$$

Donde:

E = Error de Muestreo

Sy = Error Standard

Y = Promedio

1 - a = Nivel de confianza (5% en este estudio)

t = t de student

La cantidad necesaria de pluviómetros a utilizar para medir la precipitación de copas y tener un error de muestreo determinado es:

$$n = \frac{t^2(CV)^2}{E\%_0^2}$$

Para convertir los valores de precipitación medida en ml a mm se utiliza la siguiente formula:

$$Lamina(mm) = \frac{Volumen(ml)}{Area(cm^2)} * 10$$

Los datos provenientes de la precipitación de copas se correlacionan por medio de una regresión lineal, los de escorrentía de fustes por medio de una regresión polinomial. El área de ocupación de copas se estimó por medio de fotografías del dosel y se analizaron con el software WINPHOT 5.0. El área foliar específica y promedio por hoja se estimó tomando una muestra de 15 hojas, tomando 3 árboles y cinco ramas de cada árbol. El área fue medida con un medidor de área foliar LI-COR® 1200, posteriormente se secaron las hojas a 70° grados Celsius hasta llegar a un peso constante.

Resultados

Precipitación de copas

Para *V. ferruginea* la precipitación de copas fue de 503,2 mm con un error de muestreo de 19,1 mm de lluvia lo que equivale al 87,65% de la precipitación bruta para el total de eventos medidos (574,1 mm en 30 eventos). En el caso de *V. guatemalensis* se recolectaron 545,3 mm con un error de muestreo de 36,3 mm de precipitación, equivalente al 92,12% (total de lluvia bruta de 591,9 mm en 30 eventos). Los valores calculados son menores a la intercepción reportada por Calvo-Alvarado *et al.* (2009) para la misma región en un bosque secundario (76%).

Al graficar los datos de cada evento de precipitación bruta contra precipitación de copas para ambas especies (Figuras 3 y 4) se obtiene una relación lineal y divergente que es de esperar en estudios de intercepción (Woodal 1984).

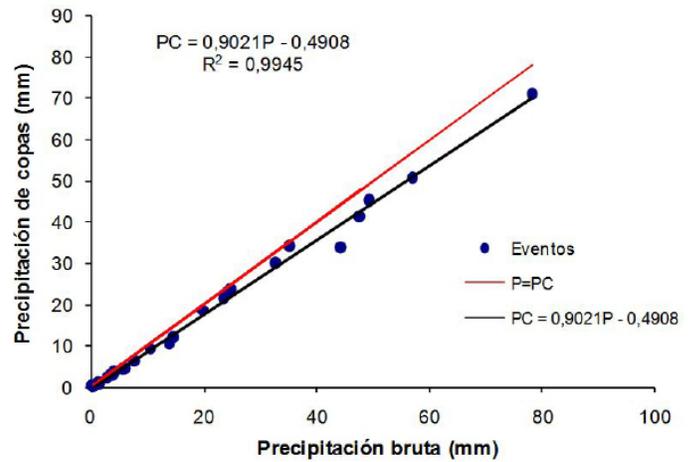


Figura 3. Relación entre precipitación bruta y precipitación de copas para *Vochysia ferruginea* en una plantación de 11 años en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica 2004.

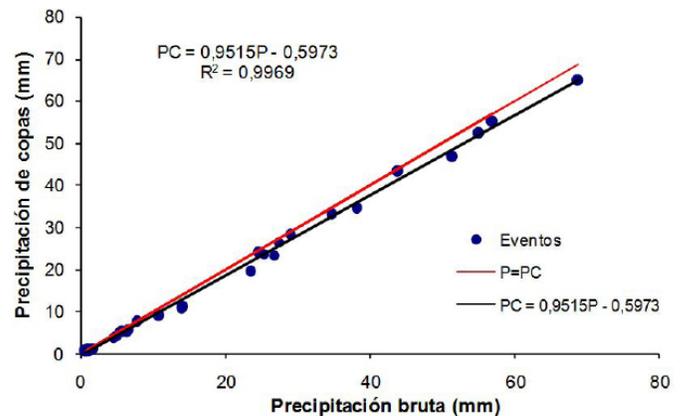


Figura 4. Relación entre precipitación bruta y precipitación de copas para *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica 2004.

La capacidad de almacenamiento de la copa es dada por la intercepción negativa de la línea de tendencia en el eje de la precipitación de copas (Gash y Morton 1978). En este estudio solo el valor para *V. guatemalensis* resultó con significancia estadística para $p < 0,05$. En el caso de *V. ferruginea* el valor no fue significativo y por tanto no es diferente al valor 0. Aunque en el caso de *V. ferruginea* este valor no es estadísticamente significativo se decidió dejarlo en la ecuación ya que la capacidad de almacenamiento en cada especie existe y no es de valor 0. La causa de que este valor no sea significativo puede deberse a la cantidad limitada de eventos muestreados, ya que al tener una mayor cantidad de eventos de precipitación la línea de tendencia en el gráfico de precipitación bruta contra precipitación de copa llega a estabilizarse por lo que el valor de capacidad de almacenamiento o la intercepción de la ecuación se vuelve significativo.

Escorrentía de fuste

Para el mismo periodo de medición y en los 30 eventos medidos, se midió por escorrentía de fuste en *V. ferruginea* 17,1 mm de precipitación equivalentes al 2,98% de la lluvia bruta. En *V. guatemalensis* la escorrentía de fuste

fue de 20,06 mm ó sea el 3,39% de la precipitación bruta. De los eventos medidos en el experimento hubo 9 eventos en ambas especies que no presentaron escorrentía fustal, esto debido a la poca cantidad de precipitación bruta de cada evento, menor a los 5 mm en la mayoría de los casos. Las ecuaciones de escorrentía presentan forma polinomial (figura 5 y 6).

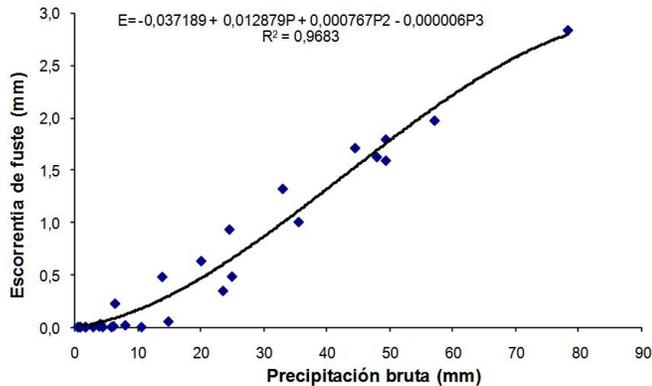


Figura 5. Relación entre precipitación bruta y escorrentía de fuste para *Vochysia ferruginea* en una plantación de 11 años en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica 2004.

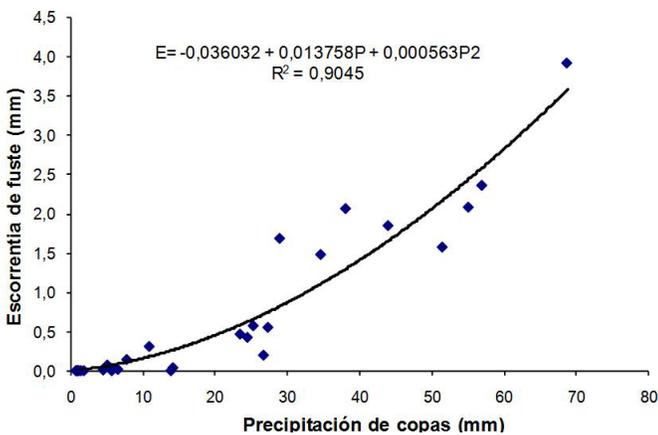


Figura 6. Relación entre precipitación bruta y escorrentía de fuste para *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica 2004.

Aunque la precipitación de copas aporta la mayor cantidad de agua una vez que la lluvia cae sobre el dosel, también la escorrentía de fuste aporta una fracción de agua que llega al suelo. En algunos estudios la escorrentía fustal no se toma en cuenta (Rowe 1983; Ataroff y Sánchez 2000) en otros trabajos simplemente no se mide o se utiliza un valor predeterminado para la especie a estudiar. Tobón Marín *et al.* (2000) reportan valores de 1,1% de escorrentía de fuste en bosques tropicales de la Amazonía colombiana. En *V. ferruginea* el porcentaje de escorrentía fustal con respecto a la lluvia bruta es de 2,98% y en *V. guatemalensis* de 3,39%, ambos son valores nada despreciables por lo que es importante seguir realizando la medición de esta variable en todos los estudios de interceptación. Aunque como lámina la escorrentía

de fuste no tiene gran impacto, lo tiene en términos de las variaciones locales en la humedad del suelo (Jackson 1975).

Comparación de interceptación y ecuaciones entre las dos especies

Utilizando la ecuación para pérdidas por interceptación se tiene que *V. ferruginea* interceptó un 9,37% de la precipitación bruta, mientras que *V. guatemalensis* interceptó un 4,49% de la precipitación bruta para el mismo periodo.

La ecuación de precipitación de copas para *V. ferruginea* es:

$$PC = -0,490792 + 0,902140P$$

Para la misma especie la ecuación de escorrentía de fuste es:

$$E = -0,037189 + 0,012879P + 0,000767P^2 - 0,000006P^3$$

Por su parte *V. guatemalensis* presenta la siguiente ecuación para la precipitación de copas:

$$PC = -0,59734 + 0,951494P$$

La ecuación de escorrentía de fuste para esta especie es:

$$E = -0,036032 + 0,013758P + 0,000563P^2$$

En las ecuaciones 2 y 4 correspondientes a la precipitación de copas, sus coeficientes de regresión representan el porcentaje de lluvia bruta que se convierte en precipitación de copa. Asimismo las interceptaciones de estas ecuaciones se entienden como la capacidad de almacenamiento de lluvia de cada especie. Los coeficientes de regresión obtenidos son significativos además de ser estadísticamente diferentes para ambas especies con una $p < 0,05$.

El área de ocupación de copas para *V. ferruginea* es de 84,17% y en *V. guatemalensis* es de 79,56%. El área foliar específica de cada especie es de 104,7 cm²/gr. y 142,3 cm²/gr. respectivamente, y el área promedio por hoja es de 116 cm² para *V. guatemalensis* y de 29,8 cm² para *V. ferruginea*. El mayor porcentaje de ocupación de copas de *V. ferruginea* sumado a la pubescencia de sus hojas y una mayor rugosidad del fuste en comparación al de *V. guatemalensis* podría ser la causa de que *V. ferruginea* intercepte el doble de la precipitación.

Al existir una mayor interceptación de precipitación en *V. ferruginea* que en *V. guatemalensis* es de suponer que la capacidad de almacenamiento también sea mayor en la primera especie, sin embargo los resultados obtenidos dicen lo contrario. La capacidad de almacenamiento de agua en una especie depende de diversos factores como la forma, las dimensiones, textura de las hojas, orientación y si estas son o no hidrofóbicas (Klaassen *et al.* 1998, Cannel 1999). En nuestro experimento el área foliar promedio por hoja de *V. guatemalensis* es mayor en un 390% que la correspondiente a *V. ferruginea*,

esto podría ser una explicación del porque la capacidad de almacenamiento de *V. guatemalensis* es mayor que en la otra especie, pero esta suposición es meramente especulativa ya que esos valores carecen de significancia estadística como se mencionó anteriormente y si se aumentan el número de eventos muestreados podrían cambiar los valores de las intercepciones. Otro factor que afecta la intercepción mencionado por Park y Cameron (2008) es la forma o los rasgos propios de las copas, en donde para precipitaciones pequeñas los valores de precipitación de copas y escorrentía de fustes fueron similares para plantaciones de *Acacia mangium* Willd. y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. en Panamá, pero al aumentar la precipitación se incrementaron los valores de las variables mencionadas para *G. sepium* más que para la otra especie.

Las pérdidas por intercepción de precipitación para *V. guatemalensis* no difieren tanto de las medidas en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. y de *Pinus radiata* D. Don, de entre 2 y 4 años realizadas por Oyarzún y Huber (1999) con pérdidas de 4,4 y 3,8% respectivamente. González-Arias *et al.* (2000) reporta en plantaciones de *P. radiata* en España, con 6 años más de edad que las anteriores, valores de intercepción del 22,2 al 27,5%. En plantaciones de *E. urophylla* S.T. Blake de dos años de edad ubicadas en el sureste de China, Lane *et al.* (2004) encontraron valores de intercepción de 16,2 a 19,9%. Aunque esas plantaciones son sumamente jóvenes el dato que puede explicar el alto porcentaje es la densidad de siembra de hasta 2000 individuos por hectárea, más de tres veces la densidad de las especies evaluadas en este estudio. Por los datos vistos anteriormente se puede pensar que los valores de pérdidas de intercepción para *V. ferruginea* y *V. guatemalensis* aumentarían conforme envejece la plantación o en el caso que la plantación presente una densidad de individuos mayor a la actual. Jiménez-Rodríguez (2005) encontró en el mismo sitio de estudio, pérdidas de intercepción del 23,55% de la precipitación bruta, este valor de intercepción es mucho mayor al de ambas plantaciones porque el dosel del bosque secundario posee varios estratos y cada uno de estos va a interceptar una parte de la precipitación bruta.

Los valores de intercepción reportados por Ataroff (2002) para una selva nublada (45%), un bosque dominado por *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page (42%), un bosque siempre verde seco montano (27%) y un cafetal arbolado (21%) contrastan con los resultados obtenidos y se acercan mas a los datos obtenidos por Jiménez-Rodríguez (2010) en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical en Costa Rica con porcentajes entre el 21% y 56% de intercepción según aumenta el estadio, la discrepancia de nuestros datos se puede deber a muchos factores y entre estos se puede mencionar la alta cantidad de precipitación del sitio de estudio y la humedad relativa que hace que la evaporación sea mucho mas lenta lo que propicia la escorrentía. Esta suposición concuerda con los datos obtenidos por Huber *et al.* (2008)

que encontró para plantaciones de *P. radiata* en Chile intercepciones de 36 a 40% con precipitaciones medias de 1200 mm, mientras que para precipitaciones medias mayores de 2000 mm, las pérdidas por intercepción son apenas del 15% para la misma especie.

Análisis de precisión del estudio

El coeficiente de variación en la precipitación de copas es menor al 20% para el 99,21% de la precipitación medida en *V. ferruginea* y para el 48,49% de la precipitación medida en *V. guatemalensis*. El comportamiento general es que disminuya el coeficiente de variación conforme aumenta el volumen de precipitación de copas.

Con el error de muestreo para la misma variable se da un comportamiento similar, en eventos “pequeños” el error es alto y disminuye conforme aumenta la precipitación bruta. El error de muestreo de la precipitación promediado de copas para el experimento es menor al 10% para el 99,43% de la precipitación medida en *V. ferruginea* y para el 99,74% de la precipitación medida en *V. guatemalensis*, esto para un nivel de confianza del 95% (Figuras 7 y 8).

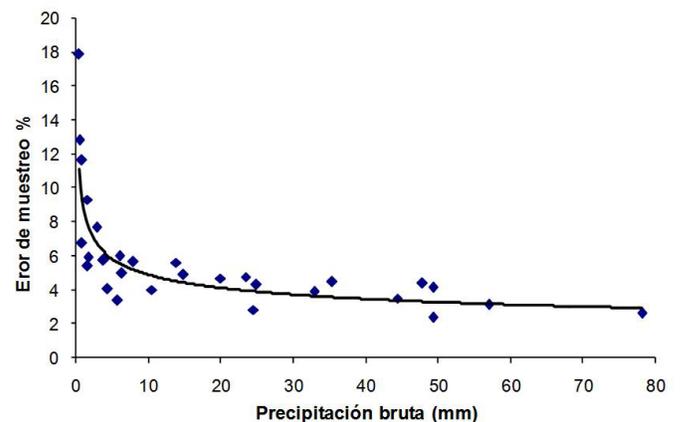


Figura 7. Relación entre el error de muestreo de precipitación de copas y precipitación bruta para *Vochysia ferruginea* en una plantación de 11 años en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica 2004.

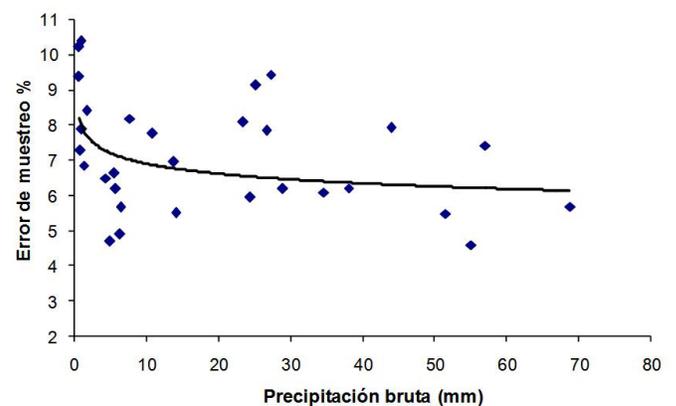


Figura 8. Relación entre el error de muestreo de precipitación de copas y precipitación bruta para *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica 2004.

Una de las interrogantes en este estudio es si el número

de pluviómetros utilizados para medir la precipitación de copas fue el necesario para tener una buena estimación de esta variable. Algunos autores han realizado experimentos con muy pocos pluviómetros: desde 10 pluviómetros Stogsdill (1989) hasta 60 (Johnson 1990). En muchos casos cuando se utilizan pocos pluviómetros el error de muestreo se puede disminuir aumentando el diámetro de los pluviómetros además de rotarlos de posición frecuentemente. En algunos estudios se utilizan canaletas de PVC ya que estas forman transeptos continuos, éstas lo que permite controlar la variabilidad de la precipitación de copas (Cantú y González 2002).

Con 40 pluviómetros en cada parcela el error de muestreo fue menor al valor máximo establecido para este estudio (10%) en más del 99% de la precipitación medida. De los 30 eventos medidos solo 3 eventos en *V. ferruginea* necesitarían más de 40 pluviómetros para que alcanzar un error de muestreo menor al 10%, en *V. guatemalensis* solo dos eventos superan este error. Durante todos estos eventos con un error mayor al 10%, anteriormente mencionados la precipitación bruta fue menor a 1 mm, lo que significa que este estudio tuvo un alto grado de precisión.

Entre las limitaciones de este estudio se debe destacar la imposibilidad logística de incluir una especie exótica como la Melina o Teca, con lo cual se hubiera podido hacer una comparación más amplia sobre el impacto de las especies más empleadas en la reforestación en la Zona Norte de Costa Rica. Una segunda limitación fue el reducido número de eventos muestreados, a pesar de haber estado en la estación por más de 70 días.

Conclusiones

La precipitación de copas es la variable que aporta el mayor porcentaje de agua al suelo con un 87,65% de la precipitación bruta para *V. ferruginea*, en *V. guatemalensis* fue del 92,12%.

Los porcentajes de escorrentía de fuste fueron 2,98% en *V. ferruginea* y 3,39% de la precipitación bruta para *V. guatemalensis*.

Las pérdidas por interceptación en *V. ferruginea* fueron de 9,37% de la precipitación bruta, en *V. guatemalensis* fueron de 4,49%.

El error de muestreo para todo el estudio en precipitación de copas fue menor al 10% para el 99% de la precipitación medida, esto en ambas especies.

El número de pluviómetros utilizado fue el correcto para medir la precipitación de copas y los datos y modelos obtenidos sirven para tomar decisiones en materia de reforestación de cuencas o zonas vulnerables a inundaciones.

Recomendaciones

La interceptación de una especie varía con la edad, por lo que es recomendable realizar este tipo de estudio en diferentes edades y así poder construir un modelo de interceptación que cubra un rango amplio de edades. Además es importante comparar los resultados de este estudio con la interceptación en especies exóticas comúnmente utilizadas en la reforestación como la Teca y Melina.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Fundación CRUSA, a la Organización para estudios tropicales y a la Vicerrectoría de investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica por su apoyo en la realización de este estudio.

Referencias

- Ataroff, M. 2002. Precipitación e interceptación en ecosistemas boscosos de los andes venezolanos. *Ecotrópicos* 15:195-202.
- Ataroff, M; Sánchez, LM. 2000. Precipitación, interceptación y escorrentía en cuatro ambientes de la cuenca media del río El Valle, estado Táchira, Venezuela. *Rev. Geog. Venez.* 41(1):11-30.
- Calvo Alvarado, JC. 1996. Principios de hidrología forestal tropical. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 136p. (Serie de Apoyo Académico N°23).
- Calvo Alvarado, JC. 2009. Bosque, cobertura y recursos forestales 2008. Informe Estado de la Nación. XV Informe Estado de la Nación. San José, CR, Proyecto Estado de la Nación. 26 p. (Capítulo Armonía con la Naturaleza).
- Calvo Alvarado, JC; Jiménez Rodríguez, C; Carvajal Vanegas, D; Arias Aguilar, D. 2009. Rainfall interception in tropical forest ecosystems: tree plantations and secondary forest. (en línea). In Virginia Water Research Conference: Water Resources in Changing Climates. 48-58 p. Consultado 16 mar. 2011. Disponible en <http://www.vwrrc.vt.edu/proceedings.html>
- Cannell, MGR. 1999. Environmental impacts of forest monocultures: Water use, acidification, wildlife conservation, and carbon storage New Forests 17:239-262.
- Cantú, I; González, H. 2002. Propiedades hidrológicas del dosel de bosques de pinoencino en el nordeste de México. *Revista Ciencia UANL* 5(1):72-77.
- Cavelier, J; Vargas, G. 2002. Procesos hidrológicos. In Guariguata, M; Kattan G. Ecología y conservación de bosques tropicales. Cartago, CR, Libro Universitario Regional. p. 145-165.
- Dunkerley, D. 2000. Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: A brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrol. Process.* 14:669-678.

- Gash, JHC; Morton, AJ. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *Journal of Hydrology* 38:49-58.
- Huber, A; Iroumé, A; Bathurst, J. 2008. Effect of *Pinus radiata* plantation on water balance in Chile. *Hydrol. Process.* 22:142-148.
- Jackson, IJ. 1975. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forest. *J. Hydrol.* 24:215-238.
- Jiménez Rodríguez, CD. 2005. Lavado de nutrientes en plantaciones de *Vochysia ferruginea* Mart. y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. y su comparación con un bosque secundario en el neotrópico. Informe de práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 51 p.
- Jiménez Rodríguez, CD. 2010. Intercepción de lluvia en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, parque nacional Santa Rosa, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 59 p.
- Johnson, RC. 1990. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. *Journal of Hydrology* 118:281-287.
- Klaassen, W, Bosveld, FC; de Water, E. 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *J. Hydrol.* 212-213: 36-50.
- Lane, PNJ; Morris, JD, Zhang, NN; Zhou, GY; Zhou, GY; Xu, D. 2004. Water balance of tropical eucalypt plantations in south-eastern China. *Agricultural and Forest Meteorology* 24:253-267.
- León Peláez, JD; González Hernández, MI; Gallardo Lancho, JF. 2010. Distribución del agua lluvia en tres bosques altoandinos de la Cordillera Central de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63(1):5319-5336.
- Lloyd, CR; Marques-Filho, A. 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 42:63-73.
- McDade, LA; Hartshorn, GS. 1994. La Selva biological field station. In L. McDade, K. Bawa, G. S. Hartshorn, and H. Hespeneide (Eds.). *La Selva: Ecology and natural history of a neotropical rain forest*. Chicago, Illinois, US, University of Chicago Press. p. 6-14 p.
- Nambiar, EKS; Brown, AG. 1997. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest. Canberra, AU, CSIRO. 571 p.
- Orozco, L; Brumér, C. 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 264 p. (Serie técnica n° 50).
- Oyarzún, C; Huber, A. 1999. Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. *Terra* 17(1):35-44.
- Park, A; Cameron, JL. 2008. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. *Forest Ecol. Manag.* 255:1915-1925.
- Pidwirny, M. 2006. Interception, stemflow, canopy drip, and throughfall. *Fundamentals of physical geography*. (en línea). CA, Okanagan University College.. Consultado 23 abr. 2011. Disponible en <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8k.html>
- Rosero-Bixby, L; Palloni, A. 1997. Población y deforestación en Costa Rica. *In* Reunión de expertos en conservación del bosque. CR, Academia Nacional de Ciencias. San Rafael de Heredia p. 1-17.
- Rowe, LK. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *J. Hydrol.* 66:143-158.
- Stogsdill, WR; Wittwer, RF; Hennessey, TC; Dougherty, PM. 1989. Relationship between throughfall and stand density in a *Pinus taeda* plantation. *Forest Ecology and Management* 29:105-113.
- Tobón Marin, C; Bouten, W; Sevink, J. 2000. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western amazonia. *Journal of Hydrology* 237:40-57.
- Wang, MC; Liu, CP; Sheu, CH. 2004. Characterization of organic matter in rainfall, throughfall, stemflow, and streamwater from three subtropical forest ecosystems. *J. Hydrol.* 289(1-4):275-285.
- Wooddall, S. 1984. Rainfall interception losses from *Melaleuca* Forest in Florida. North Carolina, US, Southeastern Forest Experiment Station. 11 p.