

## Intercepción de lluvia por matorral inerme espinoso en Atotonilco el Grande, Hidalgo\*

### Rainfall interception by thorn scrub forest in Atotonilco el Grande, Hidalgo

Eulogio Flores Ayala<sup>1</sup>, Francisco Becerra Luna<sup>2§</sup>, Enrique Buendía Rodríguez<sup>1</sup>, Fernando Carrillo Anzures<sup>1</sup>, Gerardo H. Terrazas González<sup>3</sup>, Tomás Pineda Ojeda<sup>1</sup> y Miguel Acosta Mireles<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México- INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, Coatlinchán, Texcoco, km13.5. Estado de México. C. P. 56250. Tel. (595)92 127 38. (flores.eulogio@inifap.gob.mx; buendia.enrique@inifap.gob.mx, flores.eulogio@inifap.gob.mx; carrillo.fernando@inifap.gob.mx; pineda.tomas@inifap.gob.mx; acosta.miguel@inifap.gob.mx)<sup>2</sup>Sitio Experimental Hidalgo- INIFAP. Carretera Pachuca-Ciudad Sahagún, km 13.5. C. P. 42186. Tel. (771)713 6387. Autor para correspondencia: becerra.francisco@inifap.gob.mx.

#### Resumen

La intercepción de lluvia, es el proceso por el cual el agua de lluvia, modifica su trayectoria al ser interceptada por el dosel de los árboles, ejerciendo de esta manera, una marcada influencia en el patrón de la lluvia que alcanza a llegar al piso forestal. Una vez interceptada, el agua es retenida por las hojas y ramas de los árboles, incluso por plantas epifitas, pudiendo a partir de este momento, continuar su trayectoria, por una o más de estas tres vías: evaporarse, gotear desde la copa, o fluir por las ramas hasta la base del fuste (García, 2006). Los estudios de intercepción constituyen una de las formas que permiten identificar cómo es que las condiciones actuales en la cobertura arbórea, o las modificaciones a esta condición estructural, afectan el balance hidrológico de un área arbolada, ya sea por la aplicación de técnicas silvícolas o por perturbaciones naturales. Para el caso de México, esta área de investigación ha sido poco explorada en particular en el ámbito de la ecología. El objetivo del presente trabajo es cuantificar la intercepción de lluvia y su variabilidad, medida bajo dosel en rodales cuya vegetación dominante es *Acacia farnesiana* y *Juniperus flaccida*. En una zona forestal del municipio de Atotonilco el Grande, Hidalgo, se estableció un módulo de investigación de 0.64 ha, en donde se colocaron 60 pluviómetros bajo el dosel de un bosque representativo de la zona, conformado

#### Abstract

Interception of rain is the process by which rainwater modifies its trajectory to be intercepted by the canopy, thereby exerting a marked influence on the pattern of the rain that makes it to the forest floor. Once intercepted, the water is retained by the leaves and branches of trees, including epiphytes, making from now, its trajectory by one or more of these three ways: evaporation, dripping from the top, or flow through the branches to the base of the stem (García, 2006). Interception studies are one of the ways that identify how the current conditions in tree cover, or changes to this structural condition, affect the water balance of a wooded area, either by the application of silvicultural techniques or natural disturbances. In the case of Mexico, this research area has been moderately explored in particular in the field of ecology. The objective of this study is to quantify the interception of rain and its variability, measured under canopy in stands whose dominant vegetation is *Acacia farnesiana* and *Juniperus flaccida*. In a forest area of the municipality of Atotonilco el Grande, Hidalgo; it was established a research module of 0.64 ha, where 60 rain gauges were placed under the canopy of a forest area representative, formed by different species and degrees of canopy cover and an

\* Recibido: julio de 2012  
Aceptado: febrero de 2013

por distintas especies y grados de cobertura de copa y con una topografía irregular. El estudio abarcó todo el periodo de lluvia del año 2007. Como resultado, se determinó una intercepción promedio 18.6%, encontrando una gran variabilidad, tanto entre como dentro de los eventos de lluvia. Se reporta una relación estadística de tipo logarítmico entre el porcentaje de intercepción y la cantidad de precipitación total por evento. No se encontró una relación estadística entre la intercepción con los desniveles del terreno. Se concluye sobre la necesidad de ampliar los análisis para evaluar la contribución de variables del sitio y de la vegetación.

**Palabras clave:** *Acacia farnesiana* (L.) Willd, *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., *Juniperus flaccida* Schltdl. var. *Flaccida*, dosel, escurrimiento fustal, intercepción de lluvia, lluvia interfoliar.

## Introducción

La hidrología en ecosistemas forestales está conformada por complejos procesos en los que interactúan factores bióticos y abióticos. Aun cuando la intercepción de la lluvia no es el principal factor contabilizado en las estimaciones hidrológicas (Webb *et al.*, 2005), sí constituye una de las formas que permiten identificar como las modificaciones en la cobertura arbórea afectan el balance hidrológico de un área arbolada (Dunne y Leopold, 1978; Burgos y Maass, 1999).

Aún cuando los bosques no tienen influencia preponderante en la precipitación (Webb *et al.*, 2005), su participación no se puede considerar como insignificante, en particular cuando se contabiliza la cantidad y la distribución de la lluvia que llega al piso forestal; ésta es una de las razones principales por la que diversos estudios de ecología forestal, se hayan enfocado en la generación de relaciones entre la composición y variabilidad espacial de la estructura de los bosques con la intercepción de la lluvia (Nadkarni y Sumera, 2004). En el proceso de intercepción, la vegetación forestal participa en la distribución espacial de la lluvia que golpea a dicha vegetación en distintos estratos y que llega al piso forestal presentando patrones de temporalidad (Loescher *et al.*, 2002; Cameron, 2007), constituye un proceso de gran complejidad, debida a los elementos estructurales del bosque y a su interacción con el ambiente (Sinoquet y Le Roux, 2000). Las copas del arbolado regulan el recorrido que sigue la lluvia antes de llegar al piso forestal, modificando la trayectoria de la caída de las gotas de lluvia, dividiéndola

irregular topography. The study covered the entire rainy season of 2007. As a result, it was determined an average interception of 18.6%, finding a great variability, both between and within rain events. It is reported a statistical relationship between the logarithmic type between interception percentage and total amount of precipitation by event. We found no statistical relationship between the interceptions with the irregular topography. We conclude on the need to extend the analysis to assess the contribution of site variables and vegetation.

**Key words:** *Acacia farnesiana* (L.) Willd, *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., *Juniperus flaccida* Schltdl. var. *Flaccida*, canopy, stemflow, interception of rain, throughfall.

## Introduction

The hydrology in forest ecosystems consists of complex processes, in which interact biotic and abiotic factors. Although the interception of rain is not the main factor in hydrological estimates recorded (Webb *et al.*, 2005), it is one of the ways that allows to identify how the modifications in tree cover affect the water balance of a wooded area (Dunne and Leopold, 1978; Burgos and Maass, 1999).

Even when forests have no major influence on precipitation (Webb *et al.*, 2005), their participation can't be considered as insignificant, particularly when counts the amount and distribution of rainfall reaching the forest floor; this is one of the main reasons why diverse studies on forest ecology, have focused in generating relationships between the composition and spatial variability of forest structure with the interception of rain (Nadkarni and Sumera, 2004). In the process of interception, forest vegetation is involved in the spatial distribution of the rain that hits such vegetation in different layers and reaching the forest floor presenting temporal variability (Loescher *et al.*, 2002, Cameron, 2007), is a complex process, due to the structural elements of the forest and its interaction with the environment (Sinoquet and Le Roux, 2000). The tops of trees regulate the path that the rain follows before reaching the forest floor, changing the trajectory of falling raindrops, breaking it into: direct rain, throughfall and stemflow. In fact, the tops prevent the rain from reaching the forest floor as such, since it is intercepted and retained in leaves, branches, trunk (Chappell *et al.*, 2001; Germer *et al.*, 2006) and even

en: lluvia directa, lluvia interfoliar y lluvia de escurrimiento fustal. De hecho, las copas evitan que la lluvia llegue como tal al piso forestal, dado que es interceptada y retenida en hojas, ramas, fuste (Chappell *et al.*, 2001; Germer *et al.*, 2006) e inclusive por plantas epifitas, y que son las causantes de que considerables cantidades de agua sean retenidas por la vegetación forestal (Hölscher *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2006; Pypker *et al.*, 2006b; Guevara-Escobar *et al.*, 2011).

La manera en que la literatura reportó la forma de determinar las relaciones involucradas en este complejo proceso, se fundamenta en una comparación de la lluvia medida bajo el dosel de copas, y de la lluvia medida en espacios abiertos o sin vegetación (Dunne y Leopold, 1978; Xiao, 2000; García, 2006). Por otra parte, las comparaciones que comúnmente se realizan involucran diversos periodos de tiempo: años, meses, estaciones del año o por evento, como lo recomiendan varios autores, entre ellos Kittredge (1948) y condiciones de coberturas, estructuras muy variables y especies, razón por la que, aun considerando sólo unos pocos factores, convierte a este tipo de estudios en procedimientos excesivamente complejos.

Un aspecto que se considera de gran importancia, es que en algunos estudios se presentan resultados en los que se da énfasis a la distribución espacial de la lluvia dentro del bosque, destacando su función en la hidrología de la comunidad forestal estudiada (Návar *et al.*, 1999a; Viramontes *et al.*, 2003) reconociendo el papel de la arquitectura de la vegetación (Xiao, 2000), la densidad (García, 2006), la distribución del arbolado (Herwiz and Slye, 1995; Germer *et al.*, 2006) o de variables meteorológicas (Toba and Ohta, 2006), en las cantidades de agua de lluvia que el dosel intercepta. Los objetivos de este documento son cuantificar las cantidades de lluvia interceptada por la vegetación de tipo matorral espinoso, realizar un análisis de su variabilidad, generar un modelo estadístico de la relación precipitación total-porcentaje de intercepción, así como explorar la participación de la variable desnivel del terreno, en las cantidades de lluvia que intercepta esta vegetación.

## Metodología

### Características generales del área de estudio

El área de estudio se localiza en la localidad "La Estancia" ubicada en la zona forestal del municipio de Atotonilco El Grande, Hidalgo. El clima en el Municipio es semi-seco

by epiphytes, and which cause considerable amounts of water retained by forest vegetation (Hölscher *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2006; Pypker *et al.*, 2006b; Guevara-Escobar *et al.*, 2011).

The way in which literature reported how to determine the relationships involved in this complex process, is based on a comparison of the rainfall measured under the canopy, and the rain measured in open spaces or without vegetation (Dunne and Leopold, 1978; Xiao, 2000; García, 2006). Moreover, the comparisons that are made commonly, involve different time periods: years, months, seasons or by event, as recommended by several authors, including Kittredge (1948) and conditions of coverage, highly variable structures and species, reason why, even considering only a few factors, makes this type of study in overly complex procedures.

One aspect that is considered of great importance, is that in some studies presented results in which gives emphasis is to the spatial distribution of the rain in the forest, emphasizing its function in the hydrology of the forest community studied (Navar *et al.*, 1999a; Viramontes *et al.*, 2003) recognizing the role of vegetation architecture (Xiao, 2000), density (García, 2006), distribution of trees (Herwiz and Slye, 1995; Germer *et al.*, 2006) or environmental variables (Toba and Ohta, 2006), in the amount of rainwater that the canopy intercepts. The objectives of this paper are to quantify the amounts of rainfall intercepted by vegetation type of thorn scrub, to make an analysis of its variability, generate a statistical model of the relationship total-percentage of rainfall interception and explore the participation of the variable of uneven terrain, in the amount of rainfall that intercepts this vegetation.

## Methodology

### General characteristics of the study area

The study area is located in the town "La Estancia" located in the forest area of the municipality of Atotonilco El Grande, Hidalgo. The climate in the municipality is semi-dry with rains in summer and warm winter. The average annual temperature is 15 °C and an annual rainfall ranging from 400 to 1000 mm. The vegetation consists of native and induced species, reported *Quercus rugosa*, *Q. obtusata*, *farnesiana Acacia*, *Prosopis ssp.*, *Buddleia cordata* and *Taxodiun mucronatum*, among others. The topography in the upper area consists of low hills and deep ravines at altitudes between 1 700 to 2 080 m. The relief and steep slopes are

con lluvias en verano e invierno cálido. La temperatura media anual es de 15 °C y una precipitación pluvial anual que oscila de 400 a 1000 milímetros. La vegetación está conformada por especies nativas e inducidas reportándose *Quercus rugosa*, *Q. obtusata*, *Acacia farnesiana*, *Prosopis* ssp., *Buddleia cordata* y *Taxodiun mucronatum*, entre otras. La topografía en la zona alta está conformada por lomeríos bajos y cañadas hondas en altitudes entre los 1 700 a 2 080 msnm. Los relieves y pendientes predominantes son abruptas y varían en ambas cañadas que colindan con la cabecera municipal. Los suelos son Luvisoles crómicos, Vérticos y Orticos. El municipio pertenece a la Región Hidrológica Pánuco y le corresponde la Cuenca Hidrológica Río Moctezuma, con dos subcuencas, la del Río Amajac y el Río Metztlán, las cuales abarcan 100% de la superficie Municipal (Becerra-Luna *et al.*, 2006).

### Características del área de investigación

El área donde se estableció la investigación se encuentra en una zona cubierta de vegetación forestal, aproximadamente a 6 km al noroeste de la cabecera municipal. La parcela experimental en su parte central tiene las siguientes coordenadas geográficas 20° 17' 37" latitud norte y 98° 42' 14" longitud oeste y se localiza a una altitud, en la parte más baja de la parcela, de 1 920 msnm. La vegetación característica es matorral inerme espinoso compuesto por huizache, palo dulce, enebro, tepozán y nopal. La zona de estudio presenta una topografía escarpada, principalmente en la parte alta.

### Toma de datos

Se realizó un inventario de la vegetación de las especies arbóreas dominantes. La toma de datos incluyó: las variables especie, diámetro normal, altura de fuste limpio, altura total y su localización por coordenadas (x, y) dentro del sitio. Se colectaron muestras botánicas de todas las especies arbóreas para su identificación en el Herbario Forestal de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

Se trazó una parcela experimental de 0.64 ha, la que se dividió en cuatro cuadrantes de 40 m x 40 m cada uno. Uno de los cuadrantes no presentó vegetación, razón por la cual se tomó como testigo (área abierta). Para medir la precipitación total, a 25 m del borde de la vegetación, se colocaron 2 colectores de lluvia en condición abierta. Al igual que la vegetación arbórea, los colectores fueron también ubicados mediante coordenadas (x, y) dentro del módulo. El área para las

predominant and vary in both creeks that border the county seat. Soils are chromic luvisols, orthic and vertic. The municipality belongs to the Panuco Hydrologic Region and holds the Watershed Moctezuma River, with two sub-basins, the Amajac River and the Metztlán River, which cover 100% of the municipal area (Becerra-Luna *et al.*, 2006).

### Characteristics of the research area

The area where the research was established is in an area covered with forest vegetation, approximately 6 km northwest of the county seat. The experimental plot at its core has the following geographical coordinates 20° 17' 37" N and 98° 42' 14" W and is located at an altitude, in the lower part of the plot, of 1920 masl. The characteristic vegetation is thorny thicket composed by huizache (needle bush), kidneywood, juniper, tepozan and cactus. The study area has a steep topography, especially in the highlands.

### Data collection

An inventory of the dominant tree species was made. Data collection included: species, normal diameter, trunk height, total height and location by coordinates (x, y) within the site. Were collected botanical specimens of all tree species for identification at the Forest Herbarium from Division of Forestry at the University of Chapingo (UACH).

It traced an experimental plot of 0.64 ha, which was divided into four quadrants of 40 m x 40 m each. One quadrant did not have vegetation, reason why, was taken as control (open area). To measure total rainfall, at 25 m from the edge of the vegetation, were placed two rain collectors in open condition. As tree vegetation, the collectors were also located by coordinates (x, y) within the module. The area measurements for rain interception had a surface of 0.48 ha that, for better control of field data, was subdivided into sub-quadrants of 10 m x 10 m. 60 rain collectors of direct reading rain Tru-Chek® were distributed under the tree vegetation at a height of 0.9 m above ground level, placed according to their accessibility and ease of data collection. The rain measurements were recorded by event. These were carried out throughout the year 2007.

To measure the amount of rainfall during the interception process, were taken 46 records that comprised all significant events for this period in the study area. For the objectives of this paper, it was not quantified the stemflow. Two events (Se-097 and Oc-207), were eliminated due to problems in its measurement.

mediciones de intercepción de lluvia tuvo una superficie de 0.48 ha que, para mejor control de toma de información de campo, se subdividió en subcuadrantes de 10 m x 10 m. Se distribuyeron 60 colectores de lluvia de lectura directa Tru-Chek® bajo la vegetación arbórea a una altura de 0.9 m sobre el nivel del suelo, colocados en función de su accesibilidad y facilidad en la toma de datos. Las mediciones de lluvia se realizaron por evento. Estas se llevaron a cabo durante todo el año 2007.

Para la medición de las cantidades de lluvia durante el proceso de intercepción, se tomaron 46 registros que comprendieron la totalidad de eventos significativos para ese periodo en la zona de estudio. Para los objetivos de este trabajo, no se cuantificó el escurrimiento fustal o cortical. Dos eventos (Se-097 y Oc-207), fueron eliminados por problemas en su medición.

Adicionalmente, para generar la topografía del módulo, se tomaron datos de los desniveles del terreno tomando como referencia cada vértice de los subcuadrantes, los cuales fueron la base para generar el modelo digital de desniveles (MDD). Estas mediciones se realizaron con aproximación al decímetro.

## Resultados y discusión

El tipo de vegetación en la zona de trabajo, es un bosque denominado matorral inerme espinoso, en el cual predomina *Acacia farnesiana* (L.) Willd (Huizache), *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg. (Palo dulce), *Juniperus flaccida* Schltld. var. *flaccida* (Enebro), *Buddleia cordata* Kunth (Tepozán) en mínima proporción y *Opuntia* spp., en su mayoría de porte medio. *Acacia farnesiana* es la especie dominante en cuanto a número de individuos. *Juniperus flaccida* var. *flaccida* es la especie de mayor porte y área basal dentro del módulo (Cuadro 1).

Additionally, to generate the topography of the module, data were taken for uneven ground taking as reference each vertex of the sub-quadrants, which were the basis to generate the digital elevation model (DEM). These measurements were made with approximation to decimeter.

## Results and discussion

The vegetation type in the work area is a forest called thorn scrub, in which predominates *farnesiana Acacia* (L.) Willd (Huizache or needle bush), *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., (kidneywood), *Juniperus flaccida* Schltld. var. *flaccida* (Juniper), *Buddleia cordata* Kunth (Tepozan) in small proportion and *Opuntia* spp., mostly medium size. *Acacia farnesiana* is the dominant specie in number of individuals. *Juniperus flaccida* var. *flaccida* is the specie of larger size and basal area within the module (Table 1).

### Unevenness of the terrain

In order to generate information on the topography of the land were taken 39 uneven within the experimental plot. All measurements were taken at the vertex of the sub-quadrants. From lower to the higher point, it was found a slope of 40.57 m. This information was used to analyze the contribution of the variable uneven of the plot in the amount of rainfall intercepted.

### Amount and distribution of rainfall

In the study area was presented a cumulative annual rainfall of 866.7 mm (866.7 L/m<sup>2</sup>), with a monthly average of 72.2 mm (72.2 L/m<sup>2</sup>), making this an amount greater than average rainfall, compared to previous years.

**Cuadro 1. Especies y características dasométricas de la vegetación en la parte arbolada del módulo (0.48 ha de superficie).  
Table 1. Species and size characteristics of the vegetation in the wooded part of the module (0.48 ha in size).**

Nombre científico*	Número de árboles	Área basal (m <sup>2</sup> )	Diámetro normal promedio (cm)	Altura total promedio (m)
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	243	0.6283	4.54	3.32
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg.	68	0.1629	4.72	4.02
<i>Juniperus flaccida</i> Schltld var. <i>flaccida</i>	55	2.2423	15.14	5.54
Total	366	3.0335		

\*Material identificado por el Dr. Enrique Guizar Nolasco, responsable del Herbario Forestal de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

### Desnivel del terreno

Con el fin de generar información acerca de la topografía del terreno, se tomaron 39 desniveles dentro de la parcela experimental. Todas las medidas se tomaron en los vértices de los subcuadrantes. Del punto de menor al de mayor altura, se encontró un desnivel de 40.57 m. Ésta información se utilizó para analizar la contribución de la variable desnivel de la parcela en la cantidad de lluvia interceptada.

### Cantidad y distribución de la precipitación

En la zona de estudio se presentó una precipitación acumulada anual de 866.7 mm (866.7 L/m<sup>2</sup>), con una media mensual de 72.2 mm (72.2 L/m<sup>2</sup>), siendo ésta una cantidad mayor a la precipitación promedio, respecto de años anteriores.

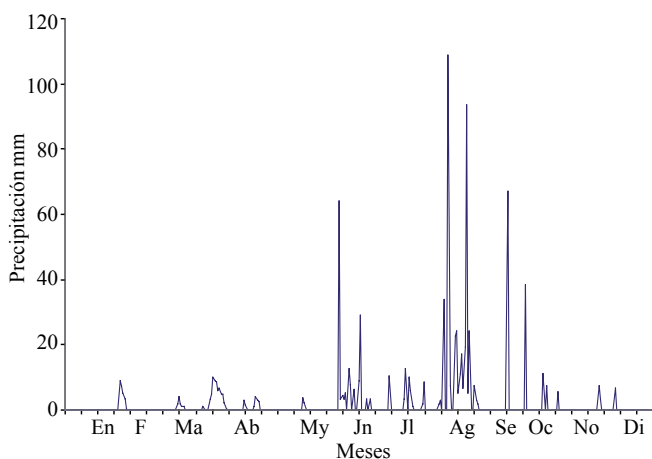
El periodo de lluvia, de manera significativa, inició en la segunda mitad el mes de junio con una cantidad máxima de precipitación en los meses de agosto-septiembre. El 76.3% de los eventos de precipitación medidos durante todo el año fueron iguales o menores a 10 mm de lluvia (Figura 1).

### Intercepción de lluvia

El procedimiento consistió en medir 46 eventos de lluvia durante en 2007. Dos mediciones se eliminaron por errores en la toma de datos. El periodo de estudio comprendió del 17 de junio al 03 de diciembre. El procedimiento para medir la cantidad de lluvia interceptada fue considerando la diferencia entre la precipitación total medida en condiciones abiertas y el promedio general obtenido del volumen del agua de los 60 colectores, colectada bajo la vegetación por cada evento de lluvia (Xiao, 2000). Para efectos del trabajo, se le denominó lluvia interfoliar. El resultado anterior, indicó los valores de intercepción para cada evento, mismo que sirvió de base para medir la cantidad total de intercepción, que fue el promedio del total de los 44 eventos considerados. Estos valores se reportan como porcentaje.

La asociación vegetal forestal estudiada, interceptó en promedio 18.6% de la cantidad de lluvia en el periodo de lluvias evaluado. En términos prácticos, este resultado indica que en un evento de lluvia de 10 mm, 1.86 mm de lluvia se pierden, y la diferencia pasa formar parte del proceso de infiltración y escorrentía.

The rainy season, significantly, began in the second half from June with a maximum amount of precipitation in the months of August - September. 76.3% of measured precipitation events throughout the year were equal to or less than 10 mm of rain (Figure 1).



**Figura 1. Distribución anual de la cantidad de precipitación (mm) medida durante 2007. Datos tomados en el cuadrante sin vegetación, utilizando el valor promedio de dos pluviómetros.**

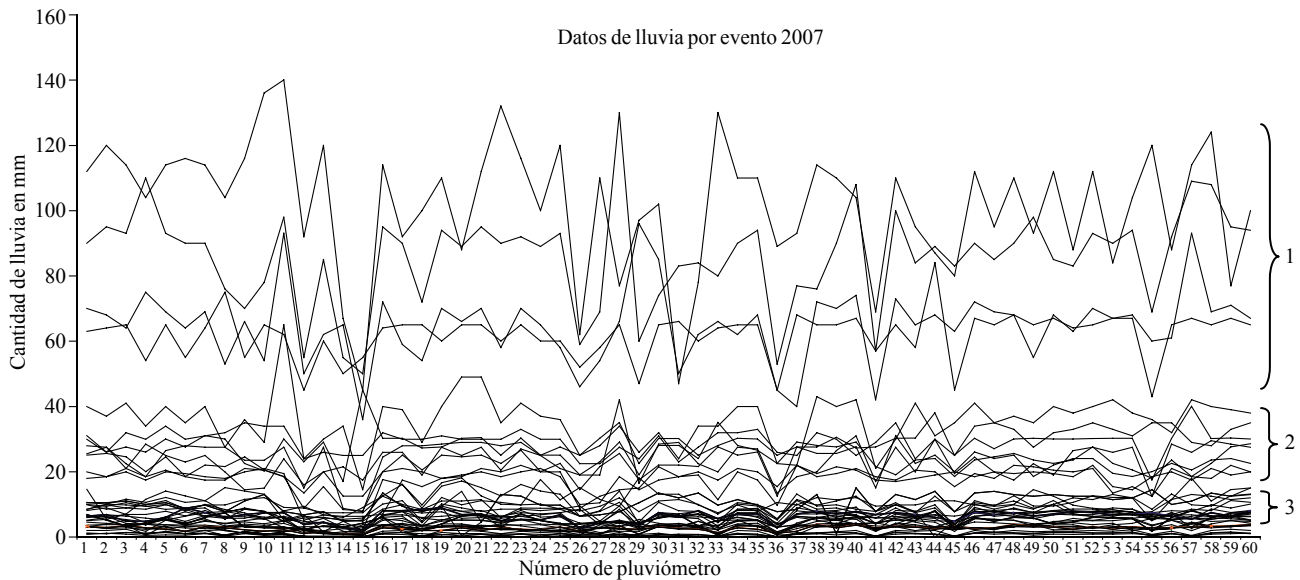
**Figure 1. Annual distribution of the precipitation amount (mm) measured in 2007. Data taken from the quadrants without vegetation, using the average value of two rain gauges.**

### Interception of rain

The procedure consisted of measuring 46 rain events during 2007. Two measurements were removed by errors in data collection. The study covered the period from June 17 to December 3. The procedure to measure the amount of rainfall intercepted was considering the difference between the total precipitation measured in open conditions and the general average obtained from the water volume of 60 collectors, collected under the vegetation by each rain event (Xiao, 2000). For purposes of the work, it was called throughfall. The above result indicated the interception values for each event, which served as the basis for measuring the total amount of interception, which was the average of all the 44 events considered. These values are reported as a percentage. The studied forest plant association, intercepted on average 18.6% of the amount of rainfall in the rainy season evaluated. In practical terms, this result indicates that a rainfall event of 10 mm, 1.86 mm of rain is lost, and the difference happens to be part of the infiltration and runoff process.

Al realizar un análisis por eventos, se observó una variación importante del volumen de intercepción durante el periodo de lluvias en el año, dentro y entre eventos (Figura 2).

When performing an analysis by event, there was a substantial change in the volume of interception during the rainy season in the year, within and between events (Figure 2).



**Figura 2. Gráficas del comportamiento de los 44 eventos de lluvia analizados.**  
**Figure 2. Charts of behavior of the 44 rainfall events analyzed.**

### Medición de la variabilidad de las medidas de intercepción

Dada la variabilidad observada en las distintas mediciones de datos de lluvia interfoliar, se consideró importante agrupar esta información para que permitiera tener una visión general de estos eventos. Analizando la gráfica que relaciona cantidad de lluvia (mm) medida para 44 eventos de lluvia (Y) para cada uno de los 60 pluviómetros (X), un análisis visual sugiere que hay al menos tres categorías. Como se observa en la Figura 2, cada línea representa un evento de lluvia medido en cada uno de los 60 pluviómetros y su variación en cuanto a la cantidad de lluvia medida bajo dosel (lluvia interfoliar), dentro del módulo.

El anterior análisis agrupó a los eventos de la siguiente manera:

### Variabilidad estadística de las mediciones

Para describir estadísticamente la variabilidad de los eventos de lluvia, se identificaron aquellos que tuvieron influencia en la captación de agua, para ello se determinaron los promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de la precipitación interfoliar de cada evento a través de la cantidad de lluvia capturada por los 60 pluviómetros. El resumen de los datos por evento se presenta en el Cuadro 2.

### Measurement of the variability of the measured interception

Given the variability observed in the different measurements of throughfall data, it was considered important to group this information to allow an overview of these events. Analyzing the graph relating the amount of rainfall (mm) measured for 44 rain events (Y) for each of the 60 gauges (X), a visual analysis suggests that there are at least three categories. As shown in Figure 2, each line represents a rain event measured in each of the 60 gauges and its variation in the amount of rain measured under canopy (throughfall) within the module.

The latter analysis grouped the events as follows:

### Statistical variability of the measurements

To describe statistically the variability of rain events, we identified those who influenced the uptake of water, for it, is determined the averages, standard deviations and coefficients of variation of precipitation of each throughfall event through the amount of rainfall captured by the 60 rain gauges. The summary of the event data is presented in Table 2.

**Cuadro 1. Resultado de la agrupación gráfica de acuerdo con la cantidad de lluvia medida bajo dosel.**  
**Table 1. Graph clustering result according to the amount of rain measured under the canopy.**

Grupo	Condición	Evento Núm.	n	Pbd (mm)
1	Alta	Jul._177, Ago._237, Sep._037, Sep._287	4	76.24
2	Media	Ago._207, Ago._277, Ago._287, Ago._317, Sep._027, Sep._057, Oct._097	7	23.25
3	Baja	Jun._187, Jun._197, Jun._207, Jun._217, Jun._237, Jun._247, Jun._267, Jun._297, Jul._307, Jul._047, Jul._067, Jul._187, Jul._277, Jul._287, Jul._307, Jul._317, Ago._017, Ago._077, Ago._087, Ago._177, Ago._187, Ago._247, Ago._297, Ago._307, Sep._017, Sep._047, Sep._087, Sep._107, Oct._227, Oct._297, Nov._237, Nov._247, Dic._037	33	5.48
Total			44	

Pbd= valor promedio de la precipitación bajo dosel de ese grupo; Ju\_177= evento medido el día 17 de junio del año 2007.

**Cuadro 2. Relación de los eventos de lluvia medida bajo dosel por fecha de medición y estadísticas de variabilidad.**  
**Table 2. Relationship of rain events measured under the canopy by date of measurement and statistical variability.**

Nco	Evf	Prom	Var	Dest	CV	Nco	Evf	Prom	Var	Dest	CV
1	Jun._177	60.71	33.59	5.80	9.55	23	Ago._207	29.99	12.48	3.53	11.78
2	Jun._187	2.61	0.80	0.90	34.39	24	Ago._237	98.21	246.63	15.70	15.99
3	Jun._197	3.20	0.86	0.93	28.92	25	Ago._247	6.26	2.00	1.41	22.60
4	Jun._207	2.66	0.57	0.75	28.33	26	Ago._277	21.62	8.60	2.93	13.57
5	Jun._217	4.63	1.02	1.01	21.77	27	Ago._287	21.60	11.26	3.36	15.53
6	Jun._237	8.21	11.79	3.43	41.83	28	Ago._297	4.55	1.02	1.01	22.15
7	Jun._247	7.77	0.01	0.11	1.41	29	Ago._307	9.63	4.29	2.07	21.51
8	Jun._267	5.67	0.94	0.97	17.11	30	Ago._317	15.65	11.46	3.39	21.63
9	Jun._297	8.41	0.97	0.99	11.72	31	Sep._017	4.89	1.95	1.40	28.59
10	Jun._307	27.41	7.56	2.75	10.03	32	Sep._027	17.84	8.54	2.92	16.38
11	Jul._047	2.62	0.70	0.84	32.01	33	Sep._037	83.92	156.40	12.51	14.90
12	Jul._067	2.53	0.58	0.76	29.97	34	Sep._047	4.32	1.33	1.15	26.71
13	Jul._187	7.93	3.41	1.85	23.30	35	Sep._057	21.78	10.69	3.27	15.01
14	Jul._277	2.85	0.58	0.76	26.73	36	Sep._087	5.98	1.85	1.36	22.78
15	Jul._287	9.34	5.89	2.43	25.97	38	Sep._107	0.94	0.20	0.45	47.81
16	Jul._307	7.19	3.96	1.99	27.67	39	Sep._287	62.11	59.64	7.72	12.43
17	Jul._317	4.80	1.58	1.26	26.17	40	Oct._097	34.30	32.15	5.67	16.53
18	Ago._017	0.69	0.07	0.27	39.09	42	Oct._227	6.26	2.00	1.41	22.59
19	Ago._077	1.31	0.51	0.71	54.41	43	Oct._297	4.25	1.63	1.27	30.00
20	Ago._087	6.78	3.48	1.87	27.52	44	Nov._237	6.25	1.98	1.41	22.53
21	Ago._177	0.89	0.23	0.48	53.99	45	Nov._247	2.56	0.39	0.63	24.58
22	Ago._187	2.53	0.36	0.60	23.83	46	Dic._037	4.92	1.81	1.35	27.39

NCO= número de evento; EVF= fecha del evento (mes-día-año); PROM= promedio de la cantidad de lluvia bajo dosel; VAR= varianza; DEST= desviación estándar; CV= coeficiente de variación.



Utilizando las estadísticas que se muestran en el Cuadro 2, se realizó un análisis de conglomerados jerárquico usando el método de encadenamiento simple, el cual consiste en medir a través de una distancia euclidiana la similaridad entre observaciones (eventos). Así, puede establecerse que mientras más cercanas sean las observaciones, éstas serán más similares, ya que se pueden establecer como observaciones en un sólo grupo. El resultado (gráfica de similaridad o dendrograma) se muestra en la Figura 3.

Los resultados, tomando como variable a la cantidad de precipitación bajo dosel para 44 eventos de lluvia, indican la existencia de cinco grupos, los cuales están caracterizados por la cantidad de lluvia bajo dosel. Para esto se utilizó el procedimiento Proc Cluster de SAS® el cual realiza análisis de similaridad jerárquico. Esto es, para dos vectores de observaciones, digamos  $x$  y  $y$  de dimensión  $k$ , la distancia euclidiana entre ellos está dada por:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}$$

Los 44 eventos de lluvia, separados en los cinco grupos, de acuerdo con el análisis de conglomerados se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Resultado de la agrupación mediante el Proc Cluster de SAS, utilizando los estadísticos por evento de lluvia medida bajo dosel.**

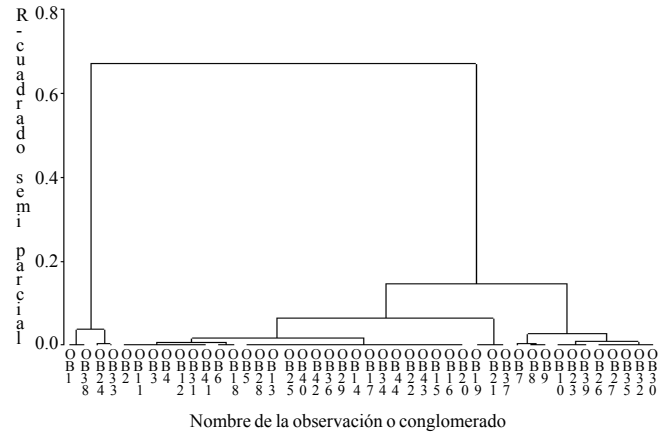
**Table 3. Clustering results by Proc cluster from SAS, using statistical rainfall event measured under canopy.**

Grupo	Evento	N	Pbd (mm)
1	Ago._237, Set._037	2	91.07
2	Jun._177, Sep._287	2	61.41
3	Jun._247, Jun._267, Jun._297, Jun._307, Ago._207, Ago._277, Ago._287, Ago._317, Sep._027, Sep._057, Oct._097	11	19.28
4	Jun._187, Jun._197, Jun._207, Jun._217, Jun._237, Jul._047, Jul._067, Jul._187, Jul._277, Jul._287, Jul._307, Jul._317, Ago._017, Ago._087, Ago._187, Ago._247, Ago._297, Ag._307, Se_017, Se_047, Se_087, Oc_227, Oc_297, Nov._237, Nov._247, Dic._037	26	4.94
5	Ago._077, Ago._177, Sep._107	3	1.05
	Total	44	

Pbd= valor promedio de la precipitación bajo dosel de ese grupo.

Se estimaron las varianzas ( $S^2$ ) y coeficientes de variación ( $CV$ ), de cada evento encontrándose valores máximos de 246.627 y mínimos de 0.012 y de 54.41 y 1.41 respectivamente, indicando una posible participación, en el proceso de intercepción de lluvia por el arbolado, de otras

Using statistics shown in Table 2, we performed a hierarchical cluster analysis using the single linkage method, which consist to measure through a Euclidean distance the similarity between observations (events). Thus it can be stated that while the observations are closer, they will be more similar, and that can be set as observations in a single group. The result (similarity graph or dendrogram) is shown in Figure 3.



**Figura 3. Gráfica de similaridad (dendrograma) de los 44 eventos de lluvia.**

**Figure 3. Similarity graph (dendrogram) of the 44 rain events.**

The results, taking as variable the precipitation amount under canopy for 44 rain events, indicate that there are five groups, which are characterized by the amount of rainfall under canopy. This was done using the procedure of Proc Cluster from SAS® which performs hierarchical

variables tanto del sitio como de la vegetación. Algunos estudios indican que esta variabilidad puede estar asociada con la temporalidad de la lluvia o bien con los cambios en la fenología de la vegetación (Link *et al.*, 2004.)

**Generación del modelo de regresión**

De acuerdo con la dispersión de puntos de la relación precipitación total contra porcentaje de intercepción, y con el fin de correlacionar estadísticamente estas cantidades de intercepción, se realizó una regresión no lineal de tipo logarítmica de acuerdo con el modelo:

$$Y = a \ln X + b$$

Donde: Y= intercepción de lluvia bajo dosel, medida en porcentaje; X= precipitación total (en abierto), medida en mm; a, b = coeficientes de regresión;

Se utilizó el procedimiento PROC GLM de SAS®. El modelo obtenido fue el siguiente:

$$y = -5.8603 \ln X + 29.529$$

La salida de datos del modelo se presenta en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Salida de resultados del modelo de regresión.**  
**Table 4. Output results of the regression model.**

Procedencia	DF	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F valor	Pr > F
Model	1	1618.41	1618.41	23.42	< .0001
Error	34	2349.89	69.1146		
Corrected total	35	3968.31			

Parámetro	Parámetro estimado	Error standar	T for HO	Prob <  tc
	29.529	2.7675	10.46	< .0001
	-5.8603	1.2111	-4.84	< .0001
	R_Square	0.4076		

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis de varianza del modelo. Se nota la significancia de la cantidad de lluvia en el porcentaje de captación; sin embargo, sólo se explica 40.7% de la variabilidad del fenómeno. Esto sugiere que existen otras variables que podrían ayudar a explicar el proceso de intercepción de lluvia.

En la Figura 4, se muestra la gráfica del comportamiento del modelo de regresión obtenido.

similarity analysis. That is, for two vectors of observations, say *x* and *y* of dimension *k*, the Euclidean distance between them is given by:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}$$

The 44 rainfall events, separated into five groups, according to the cluster analysis are presented in Table 3.

Were estimated variances (*S*<sup>2</sup>) and coefficients of variation (*CV*), of each event finding maximum values of 246.627 and minimum values of 0.012 and 54.41 and 1.41 respectively, indicating a possible participation, in the process of rainfall interception by trees, of other variables from both the site and vegetation. Some studies suggest that this variability may be associated with the timing of the rain or with changes in vegetation phenology (Link *et al.*, 2004.)

**Generation of the regression model**

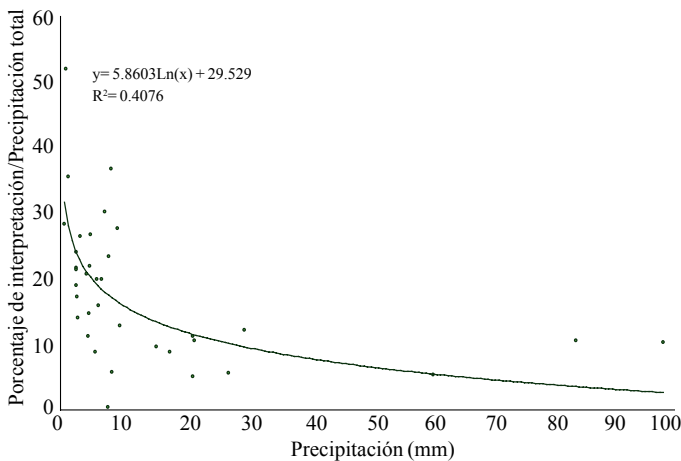
According with the dispersion of points of total precipitation vs. percentage of interception, and in order to correlate statistically these amounts of interception; was performed a nonlinear regression, according to the model:

$$Y = a \ln X + b$$

Where: Y= rainfall interception under canopy, measured in percentage; X= total precipitation (in the open), measured in mm; a, b= regression coefficients;

We used PROC GLM procedure of SAS®. The obtained model was as follows:

$$y = -5.8603 \ln X + 29.529$$



**Figura 4. Comportamiento del modelo de regresión tipo logarítmica para la relación precipitación total contra porcentaje de intercepción.**

**Figure 4. Behavior of the logarithmic regression model for the total rainfall vs. interception percentage relation.**

#### **Contribución de la variable desnivel, en la cantidad de lluvia interceptada**

Un análisis estadístico posterior consistió en determinar la relación entre los valores de intercepción, expresada en porcentaje, y el desnivel del terreno de la parcela, tomando éste como una variable relacionada con la exposición. Dado que no se tiene la medida exacta de desnivel de cada pluviómetro, se tomó como éste el valor que en distancia tendría la distancia más cercana (Figura 5).

El procedimiento consistió en estimar el coeficiente de correlación entre el desnivel y el porcentaje de intercepción (estimada con el modelo de regresión) y el coeficiente de correlación entre desnivel y precipitación. Se utilizó como estadístico de prueba:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}},$$

Donde:  $r$  = coeficiente de correlación estimado;  $n$  = número de pluviómetros instalados (60).

El estadístico de prueba tiene una distribución asintótica  $t$  student con  $(n - 2)$  grados de libertad.

El resultado indicó que esta variable no contribuye de manera significativa en el proceso de intercepción. Esto se basa en los valores de la correlación entre el porcentaje de intercepción y el desnivel, analizado para cada evento.

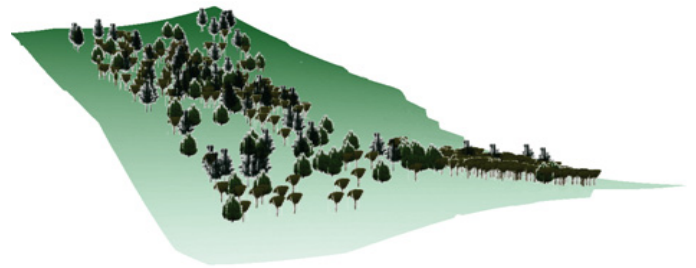
The data output of the model is presented in Table 4.

Table 4 shows the results of the analysis of variance from the model. It shows the significance of the amount of rain in the collecting percentage; however, it only explains only 40.7% of the variability of the phenomenon. This suggests that there are other variables that could help explain the process of rainfall interception.

Figure 4 shows the graph of the behavior of the regression model obtained.

#### **Contribution of variable uneven, in the amount of rainfall intercepted**

A subsequent statistical analysis consisted in to determine the relation between the interception values, expressed as percentage, and the uneven terrain of the plot, taking it as a variable related with exposure. Since there is no accurate measurement of altitude of each rain gauge, it was taken as the value that in distance would have the closest distance (Figure 5).



**Figura 5. Representación gráfica de la distribución de la vegetación forestal y de la topografía del módulo a través del modelo digital de desniveles (MDD) generado.**

**Figure 5. Graphic representation of the distribution of forest vegetation and topography of the module through the digital elevation model (DEM) generated.**

The procedure consisted to estimate the correlation coefficient between the slope and interception percentage (estimated with the regression model) and the coefficient of correlation between elevation and precipitation. Was used as statistic test:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}},$$

Where:  $r$  = estimated correlation coefficient,  $n$  = number of rain gauges installed (60).

The statistic test has an asymptotic distribution  $t$  student with  $(n - 2)$  degrees of freedom.

En el Cuadro 5 se presenta el análisis de correlaciones de cada evento, tanto con la precipitación como con la intercepción (estimada con el modelo ajustado). Es claro que salvo en contadas excepciones, usando  $\alpha=0.1$ , el desnivel es una variable que poco influye sobre la captación de lluvia por la vegetación.

The result indicated that this variable does not contribute significantly to the process of interception. This is based on the values of correlation between the percentage of interception and the slope, for each event analyzed.

**Cuadro 5. Pruebas de hipótesis de la correlación entre desnivel vs % intercepción, y desnivel vs precipitación.**  
**Table 5. Testing hypothesis of correlation between slope vs. (%) interception and slope vs precipitation.**

Evento	Captación %	Precipitación mm	Captación %	Precipitación mm	Captación %	Precipitación mm
	Correlación		Estadístico t		P_value	
Ju_177	0.0766	-0.0838	0.5854	-0.6407	0.5606	0.5242
Ju_177	0.1765	-0.1776	1.3653	-1.3746	0.1774	0.1745
Ju_177	0.0002	0.0267	0.0012	0.2035	0.9990	0.8394
Ju_177	0.0528	-0.0199	0.4029	-0.1519	0.6885	0.8798
Ju_177	0.0102	0.0002	0.0780	0.0015	0.9381	0.9988
Ju_177	-0.0372	0.1255	-0.2837	0.9632	0.7776	0.3394
Ju_177	0.1048	-0.1048	0.8024	-0.8024	0.4256	0.4256
Ju_177	0.1316	-0.1350	1.0107	-1.0378	0.3164	0.3037
Ju_177	0.0049	-0.0199	0.0372	-0.1517	0.9704	0.8799
Ju_177	0.1133	-0.1238	0.8681	-0.9498	0.3889	0.3461
Jl_307	0.1154	-0.1159	0.8848	-0.8883	0.3799	0.3780
Jl_047	0.2050	-0.2338	1.5949	-1.8316	0.1162	0.0722
Jl_067	0.0842	-0.0528	0.6437	-0.4024	0.5223	0.6889
Jl_187	0.2021	-0.1496	1.5713	-1.1521	0.1216	0.2540
Jl_287	0.1757	-0.1724	1.3594	-1.3330	0.1793	0.1877
Jl_307	0.0295	0.0224	0.2247	0.1706	0.8230	0.8651
Jl_317	0.1483	-0.1641	1.1423	-1.2669	0.2580	0.2102
Ag_017	0.1656	-0.1862	1.2786	-1.4436	0.2061	0.1542
Ag_077	-0.0946	-0.0901	-0.7238	-0.6890	0.4721	0.4936
Ag_087	0.1061	-0.0462	0.8130	-0.3524	0.4195	0.7258
Ag_177	-0.1860	0.0747	-1.4418	0.5702	0.1547	0.5707
Ag_187	0.2338	-0.2235	1.8310	-1.7463	0.0722	0.0860
Ag_207	0.0464	-0.0564	0.3539	-0.4301	0.7247	0.6687
Ag_237	-0.0609	0.0706	-0.4648	0.5390	0.6438	0.5919
Ag_247	0.0967	-0.0961	0.7399	-0.7350	0.4623	0.4653
Ag_277	0.1493	-0.1360	1.1497	-1.0536	0.2550	0.2965
Ag_287	0.1111	-0.1030	0.8513	-0.7889	0.3981	0.4334
Ag_297	0.2633	-0.2592	2.0788	-2.0437	0.0421	0.0455
Ag_307	0.0246	-0.0983	0.1874	-0.7525	0.8520	0.4548
Ag_317	0.1518	-0.1198	1.1697	-0.9191	0.2469	0.3619
Se_017	0.2353	-0.2430	1.8439	-1.9081	0.0703	0.0613
Se_027	0.0984	-0.0960	0.7529	-0.7346	0.4545	0.4655
Se_037	0.0748	-0.0680	0.5710	-0.5193	0.5702	0.6055
Se_047	0.0644	-0.0536	0.4917	-0.4086	0.6248	0.6843
Se_057	0.0506	-0.0570	0.3860	-0.4348	0.7009	0.6653
Se_087	0.0920	-0.0775	0.7039	-0.5923	0.4843	0.5560
Se_107	0.0057	0.0385	0.0436	0.2931	0.9654	0.7705
Se_287	0.0086	-0.0013	0.0651	-0.0096	0.9483	0.9924
Oc_097	0.0851	-0.0801	0.6503	-0.6121	0.5180	0.5428
Oc_227	0.0929	-0.0912	0.7104	-0.6971	0.4803	0.4885
Oc_297	0.2188	-0.2510	1.7079	-1.9751	0.0930	0.0530
No_237	0.0879	-0.0839	0.6721	-0.6416	0.5042	0.5237
No_247	0.2285	-0.2139	1.7873	-1.6679	0.0791	0.1007
Di_037	0.2232	-0.2349	1.7442	-1.8404	0.0864	0.0708

$$P\_value = Pr(|t| > t_{(n-2)})$$

## Conclusiones

La metodología utilizada permitió medir, de manera confiable la cantidad de lluvia total anual que se registra en la zona de estudio y permitió realizar las mediciones sobre las cantidades que intercepta el tipo de vegetación forestal presente. Adicionalmente, aportó información sobre la variabilidad que se presenta en los 44 distintos eventos medidos durante el año 2007, proporcionando un sustento a la necesidad de conocer con mayor profundidad acerca de las variables que participan de manera importante en el proceso de intercepción.

El análisis estadístico generado de la relación, precipitación total *versus* porcentaje de intercepción que correlaciona estas cantidades, generó un modelo regresión de tipo logarítmico, cuyo ajuste estadístico ( $R^2$ ) sugiere que existan variables no consideradas en este trabajo que ayudarán a explicar mayormente el proceso de intercepción. Éste patrón de comportamiento es consistente con otros estudios (Llorens *et al.* 1997; Xiao *et al.* 2000).

El dosel de este tipo de bosque tiene una importancia no solo hidrológica; influye de forma importante en las cantidades y distribución del agua de lluvia que llega al suelo forestal, en su infiltración, escorrentía y, al tener la capacidad de retenerla, cumple una función ecológica mayor, por lo que se requiere visualizarla de una manera más amplia y profundizar sobre las relaciones existentes, como pueden ser las variables del sitio. La variable desnivel del terreno, no tuvo participación en explicar las cantidades de intercepción por este tipo de vegetación forestal.

## Literatura citada

- Becerra-Luna, F.; Vélez, A. y Flores, E. 2006. Marco de referencia de Atotonilco El Grande, Hidalgo y caracterización hidrológica de la Microcuenca del Río San Juan Amajac, Hidalgo, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro-Campo Experimental Pachuca. Folleto técnico Núm. 4. 80 p.
- Burgos, A. L. y Maass, J. M. 1998. Aspectos de la hidrología de la Selva Baja Caducifolia (SBC): intercepción de la precipitación. VII Congreso Latinoamericano de Botánica: XIV Congreso Mexicano de Botánica. 18-24 de octubre de 1998. México.

Table 5 shows the correlation analysis of each event, both with rainfall as with the interception (estimated with the adjusted model). It is clear that with few exceptions, using  $\alpha = 0.1$ , the slope is a variable that influences insignificantly on rain collection by vegetation.

## Conclusions

The methodology allowed measuring, reliably the total annual rainfall that is recorded in the study area and allowed to measure the amount that is intercepted by the present forest vegetation. Additionally, provided information on the variability that presents in the 44 different events measured in 2007, providing support to the need for further knowledge about the variables significantly involved in the process of interception.

The statistical analysis generated, from the total rainfall vs. interception percentage relation, that correlates these amounts, generated a logarithmic regression model, whose statistical fit ( $R^2$ ) suggests that there are variables not considered in this study that would help to explain better the process of interception. This pattern is consistent with other studies (Llorens *et al.* 1997, Xiao *et al.* 2000).

The canopy of this type of forest has not only hydrological importance; influences significantly on the amount and distribution of rainfall that reaches the forest floor, in its infiltration, runoff and, to be able to hold it, has a greater ecological function, therefore is required to visualize it in a more extensive way and to go deeper on the existing relationships, such as site variables. The variable slope of the land had no role in explaining the amounts of interception by type of forest vegetation.

*End of the English version*



- Cameron, J. L. 2007. Influence of crown traits and leaf arrangement on rainfall interception, throughfall, and stemflow in five tropical tree species. Thesis. Department of Biology. The University of Winnipeg. Canada. 44 p.
- Chappell, N. A.; Bidin, K. and Tych, W. 2001. Modelling rainfall and canopy controls on net-precipitation beneath selectively-logged tropical forest. *Plant Ecol.* 153:215-229.

- Dunne, T. and Leopold, L. B. 1978. Water in environmental planning. Freeman, W. H. and Company. New York. 818 p.
- García, E. M. 2006. Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Almería. España. 118-119 pp.
- Germer, S.; Elsenbeer, H. and Moraes, J. M. 2006. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, southwestern Amazonia (Rondônia, Brazil). *Hydrolo. Earth System Sci.* 10:383-393.
- Guevara-Escobar, A.; Cervantes-Jiménez, M.; Suzán-Azpiri, H.; González-Sosa, E.; Hernández-Sandoval, L.; Malda-Barrera, G. and Martínez-Díaz, M. 2011. Fog interception by Ball moss (*Tillandsia recurvata*). *Hydrolo. Earth System Sci.* 15:2509-2518.
- Herwitz, S. R. and Slye, R. E. 1995. Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. *J. Hydrol.* 168:205-226.
- Hölscher, D.; Köhler L.; van Dijk, A. I. J. M. and Bruijnzeel, L. A. 2004. The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *J. Hydrol.* 292(1-4):308-322.
- Kittredge, J. 1948. Forest influences. The effects of woody vegetation on climate, water, and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion. Dover Publications, Inc. NY 349 p.
- Link, T. E.; Unsworth, M. H. and Marks, D. 2004. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agric. Forest Meteorol.* 124:171-191.
- Llorens, P.; Poch, R.; Latron, J. and Gallart, F. 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area 1. Monitoring design and results down to the event scale. *J. Hydrol.* 199:331-345.
- Loescher, W. H.; Powers, J. S. and Oberbauer, S. F. 2002. Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. *J. Tropical Ecol.* 18:397-407.
- Nadkarni, N. M. and Sumera, M. M. 2004. Old-growth forest canopy structure and its relationship to throughfall interception. *Forest Sci.* 50(3):290-298.
- Návar, J.; Carlyle-Moses, D. E. and Martínez, M. 1999. Interception loss from the Tamaulipan matorral thornscrub of north-eastern Mexico: an application of the Gash analytical interception loss model. *J. Arid Environ.* 41:1-10.
- Pypker, T. G.; Unsworth, M. H. and Bond, B. J. 2006. The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest. I Laboratory measurements of water storage. *Canadian J. Forest Res.* 36:809-818.
- Pypker, T. G.; Unsworth M. H. and Bond B. J. 2006b. The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest. II Field measurements at the branch and Canopy scale. *Canadian J. Forest Res.* 36:819-832.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). 2007. The SAS System for Windows ver. 9.1.3. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Sinoquet, H.; Le Roux, X. 2000. Short term interactions between tree foliage and the aerial environment: An overview of modelling approaches available for tree structure-function models. *Ann. For. Sci.* 57: 477-496.
- Swank, W. T. 1968. The influence of rainfall interception on streamflow. Coweeta Hydrologic Laboratory. Southeastern Forest Experiment Station. Forest Service, USDA, Asheville, North Carolina. 101-112p.
- Viramontes, D.; Duwig, C.; Esteves, M.; Rojas, R.; Lapetite, J. M.; Medina, M. y de León, M. 2003. Instrumentación de una micro cuenca experimental. *Anuario IMTA 2003.* 119-125 pp.
- Webb, T. J.; Woodward, F. I.; Hannah, L.; and Gaston, K. J. 2005. Forest cover-rainfall relationship in a biodiversity hotspot: The Atlantic Forest of Brasil. *Ecol. Appl.* 15:(6):1968-1983.
- Xiao, Q.; McPherson, E. G.; Ustin, S. L.; Grismer, M. E. and Simpson, J. R. 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes.* 14:763-784.