



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO**

**Efecto de las características de las plantas y rasgos funcionales
de la copa de árboles del neotrópico seco, sobre la transferencia de la
lluvia y la captura de nutrientes**

por

Juliana Miranda Gómez

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2012

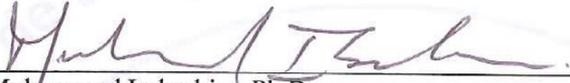
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

FIRMANTES:



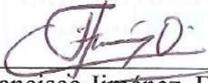
Fabrice De Clerck, Ph.D.
Consejero Principal



Muhammad Imbrahim, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



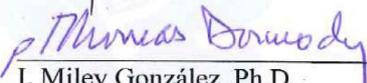
Francisco Jiménez, Dr.Sc.
Miembro Comité Consejero

Graciela Rusch, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

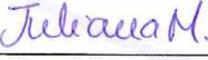
Pere Casals, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



José O. Rivera, M.Sc.
Coordinador, Especialización en Práctica para el Desarrollo



I. Miley González, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Juliana Miranda Gómez
Candidata

DEDICATORIA

A Dios, a mi madre y padre por su esfuerzo y dedicación

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi padre y proveedor de todos mis sueños y deseos, a mi madre Bárbara Rosa y mi padre Fernando Miranda, por el amor, sacrificio y apoyo realizado hasta el momento.

Al Proyecto *Trees as Drivers of Silvopastoral System Function in the Neotropics* (SILPAS) financiado por el Concejo de Investigación de Noruega, el cual financió mis estudios de maestría y la ejecución de la presente investigación e igualmente a la especialización en Practicas del Desarrollo quien me apoyo económicamente.

Al Dr. Muhammad Ibrahim por haberme animado a realizar mis estudios en CATIE y ayudarme con la consecución de mi beca, y al profesor Alejandro Imbach por su gran apoyo y fortalecimiento en mi proceso de formación en Desarrollo Rural.

A mi asesor principal el Dr. Fabrice Declerck con quien pude construir un conocimiento académico y mostrar mi afinidad por el trabajo social.

A mis amigos y familia en Colombia que creyeron en este proyecto académico y para los que este triunfo también hace parte de su triunfo, a mi hermano José Fernando quien Dios ha transformado su vida y es un testimonio del gran amor que él tiene por nosotros; a mis amigos en CATIE María José Zambrano (quien fue mi hermana), a Edwin Alberto Pacheco (por su amor incondicional), a Freddy Argotty (mi hermano durante tiempos de crecimiento y aprendizaje), a Fabian Lombo (por su amistad incondicional), a Gustavo Segura y Karla Posada (por sus consejos y ejemplo) y al resto de mis amigos colombianos y de otros países que me brindaron su amistad.

A los asistentes de campo (Junior y Dennis) y a los agricultores nicaragüenses con quienes tuve la oportunidad de aprender y compartir experiencias (Sulma y su familia, doña Socorro y don Emilio). Al bello equipo de apoyo en Nicaragua (Don Rene, María Amalia, Dalia y mi hermosa amiga Vicenta). A mis compañeros y amigos del proyecto FUNCiTree, con quienes compartí una enriquecedora y valiosa experiencia de campo (Pili, Fabian, Marlón, Ivan, Alvaro y Karlita).

A Eduardo Corrales, por su constante apoyo en la creación de base de datos y análisis estadísticos y el tiempo compartido en el laboratorio de bioestadística de CATIE, a Sergio Vílchez por su apoyo para la presentación de resultados y a mi profesor Fernando Casanoves, quien siempre me apoyo de manera incondicional y por quien siento un gran aprecio y admiración.

A Pere Casals del Centro Tecnológico Forestal de Cataluña CTFC – España por sus valiosos aportes y enseñanzas; a la doctora Graciela Rush del Instituto Noruego de Investigación de la Naturaleza (NINA) por su paciencia y consejos y a mi profesor Francisco Jiménez por sus observaciones oportunas y acertadas.

Y finalmente, a los que con sus sonrisas y abrazos llenaron mi vida en CATIE (Alvarito, Mauro y el resto de amigos) y en especial, al hermano Minor, quien en sus manos se evidencia el fuerte trabajo y cuyo ejemplo y testimonio de vida me dieron fortaleza en momentos difíciles.

BIOGRAFÍA

La autora nació en la ciudad de Manizales - Colombia, el día 27 de mayo de 1983, ciudad en la cual realizó sus estudios en Ingeniería Agronómica en la Universidad de Caldas; espacio en el cual desarrollo su afinidad por temas ambientales, agroecológicos y el trabajo con comunidades en el marco del desarrollo rural sostenible. Durante los años 2005 – 2009 participó activamente dentro de la Fundación Territorios para la Investigación y Acción regional en proyectos con población vulnerable tanto adultos como niños, así como población desplazada, lo cual genero grandes amigos y aprendizajes. Durante su fase profesional/laboral estuvo vinculada al proyecto: “Opciones para la vinculación al mercado y la innovación tecnológica de sistemas agrosilvopastoriles en zonas cafeteras de Colombia, Costa Rica y Nicaragua”, liderado por la Universidad de Caldas y el CATIE y financiado por el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) y en el año 2010 inicia sus estudios de maestría en Agroforestería Tropical y la especialización en Prácticas del Desarrollo en CATIE – Costa Rica.

CONTENIDO

<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>IV</i>
<i>BIOGRAFÍA</i>	<i>VI</i>
<i>CONTENIDO</i>	<i>VII</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>IX</i>
<i>SUMMARY</i>	<i>X</i>
<i>ÍNDICE DE CUADROS</i>	<i>XI</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>XII</i>
<i>LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS</i>	<i>XIII</i>
<i>1 INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>1.1 Objetivos del estudio</i>	<i>2</i>
<i>1.1.1 Objetivo general</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2 Objetivos específicos</i>	<i>3</i>
<i>1.2 Hipótesis del estudio</i>	<i>3</i>
<i>2 MARCO REFERENCIAL</i>	<i>4</i>
<i>3 MATERIALES Y MÉTODOS</i>	<i>11</i>
<i>3.1 Ubicación, descripción y clasificación climática de la zona de estudio</i>	<i>11</i>
<i>3.2 Metodología</i>	<i>13</i>

3.2.1 Fase I.....	14
3.2.2 Fase II.....	20
3.2.3 Fase III.....	25
3.2.4 Fase IV.....	27
3.3 Análisis estadístico.....	32
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
5 ANÁLISIS DE LAS IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS DE LA TESIS PARA EL DESARROLLO DESDE UNA PERSPECTIVA INTEGRAL Y MULTIDISCIPLINARIA.....	56
6 ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LOS RESULTADOS PARA LA FORMACIÓN DE POLÍTICAS.....	58
7 CONCLUSIONES.....	59
8 RECOMENDACIONES.....	61
9 BIBLIOGRAFÍA.....	63

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de las características generales de las plantas y los rasgos funcionales de la copa de árboles del neotrópico seco: *Albizia saman*, *Coccoloba caracasana*, *Coccoloba floribunda*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea* sobre el porcentaje de transferencia de la lluvia a través de la copa de los árboles y la captura de los nutrientes NO_2^- , NO_3^- , P total, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} , evaluamos 27 individuos y 20 eventos lluviosos durante los meses comprendidos entre mayo a septiembre del año 2011 y 39 muestras de agua correspondientes a la primera lluvia del mes de mayo en fincas ganaderas el departamento de Rivas – Nicaragua (28 muestras provenientes del pluviolavado de la copa de los árboles “*throughfall*” y 11 muestras control correspondiente a la precipitación no interceptada). Tomamos en consideración 6 características generales de la planta y 12 rasgos funcionales, ubicando por cada árbol evaluado un total de 12 pluviómetros circulares (8 bajo copa y 4 fuera de copa) con un área de recepción cada uno de $109,36 \text{ cm}^2$. Para el análisis químico de las muestras se utilizó el *Standard methods for the examination of water and wastewater*, versión 21 th. Earon 2005, muestras que fueron analizadas en el laboratorio Físico - Químico de Aguas Naturales del Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (Managua – Nicaragua). La especie que mayor porcentaje de transferencia de agua presentó bajo la copa correspondió a *Enterolobium cyclocarpum* con un porcentaje de transferencia de la lluvia hacia el suelo del 84% y *Coccoloba floribunda* como la especie que según los resultados de los análisis químicos de agua reportó los mayores valores de nutrientes en mg/L. El rasgo funcional de la copa que mayor correlación presentó para la variable transferencia de la lluvia correspondió al área foliar, siendo la especie *Coccoloba sp.* la que mayores diferencias presenta.

SUMMARY

In order to evaluate the effect of the general characteristics and plant functional traits of dry neotropical canopy trees: *Albizia saman*, *Coccoloba caracasana*, *Coccoloba floribunda*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* and *Tabebuia rosea* on the percentage transfer of rain through the treetops and the capture of nutrients NO_2^- , NO_3^- , total P, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} , we evaluated 27 individuals and 20 rainfall events during the months between May to September 2011 and 39 samples of water corresponding to the first rain of May in the cattle farms Rivas - Nicaragua (28 samples from the rain wash mechanism of the leaves in the canopy "throughfall" and 11 control samples corresponding to precipitation which was not intercepted.) We considered 6 general characteristics and 12 functional traits of plant, and we placed in each tree that was assessed a total of 12 circular gauges (8 within the canopy and 4 outside of the canopy) with a reception area of 109.36 cm² each. For chemical analysis of samples, standard methods were used for the examination of water and wastewater, 21st version. Euron 2005, samples were analyzed in the laboratory Fitness - Natural Water Chemistry Research and Environmental Studies (ICMSF) of the National Engineering University (Managua - Nicaragua). The species with the highest percentage of water transfer made under the canopy was *Enterolobium cyclocarpum* with a transfer of rain to the ground of 84% and *Coccoloba floribunda* was the species according to the results of chemical analyzes of water that reported the highest nutrient values in mg / L. The characteristic functional traits of the canopy presented higher correlation for the variable transfer of rain corresponded to leaf area, being the species *Coccoloba sp.* which presented the largest differences.

ÍNDICE DE CUADROS

<i>CUADRO 1. REGISTRO DE PRECIPITACIÓN (MM) NORMAS HISTÓRICAS 1971- 2000 ENERO – SEPTIEMBRE Y AÑO 2011</i>	<i>13</i>
<i>CUADRO 2. ETAPAS METODOLÓGICAS DEL ESTUDIO.....</i>	<i>14</i>
<i>CUADRO 3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES</i>	<i>15</i>
<i>CUADRO 4. DISEÑO DEL PLUVIÓMETRO</i>	<i>22</i>
<i>CUADRO 5. PROCESO DE INSTALACIÓN DE PLUVIÓMETROS.....</i>	<i>24</i>
<i>CUADRO 6. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA</i>	<i>27</i>
<i>CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS Y RASGOS FUNCIONALES</i>	<i>29</i>
<i>CUADRO 8. MEDICIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y RASGOS FUNCIONALES.....</i>	<i>31</i>
<i>CUADRO 9. DESCRIPCIÓN CUANTITATIVA DE CARACTERÍSTICAS Y RASGOS FUNCIONALES</i>	<i>36</i>
<i>CUADRO 10. DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE CARACTERÍSTICAS Y RASGOS FUNCIONALES</i>	<i>38</i>
<i>CUADRO 11. CONTENIDO DE NUTRIENTES POR ESPECIES A PARTIR DE LAS MEDIAS DE LAS DIFERENCIAS (BAJO – MENOS FUERA DE LA COPA) MG/L.....</i>	<i>45</i>
<i>CUADRO 12. CONTENIDO DE NUTRIENTES POR ESPECIES A PARTIR DE LAS MEDIAS DE LAS DIFERENCIAS (BAJO COPA MENOS FUERA DE LA COPA).....</i>	<i>46</i>
<i>CUADRO 13. CORRELACIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS BAJO LA COPA DE LOS ÁRBOLES (BAJO LA DIAGONAL) Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES DE PROBABILIDAD (POR ARRIBA DE LA DIAGONAL).....</i>	<i>47</i>
<i>CUADRO 14. CORRELACIONES ENTRE CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA Y RASGOS FUNCIONALES ASOCIADOS AL PROCESO DE TRANSFERENCIA DEL AGUA LLUVIA</i>	<i>48</i>
<i>CUADRO 15. VARIABLES CATEGÓRICAS ASOCIADAS A LA TRANSFERENCIA DE LA LLUVIA</i>	<i>52</i>
<i>CUADRO 16. VARIABLES CATEGÓRICAS ASOCIADAS A LA CAPTURA DE NUTRIENTES</i>	<i>55</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LA PPT NO INTERCEPTADA POR EL DOSEL DE LAS PLANTAS</i>	<i>7</i>
<i>FIGURA 2. MUNICIPIO DE BELÉN – RIVAS, NICARAGUA.....</i>	<i>12</i>
<i>FIGURA 3. DATOS HISTÓRICOS PROMEDIOS DE PRECIPITACIÓN (MM) MESES DE ENERO – SEPTIEMBRE PERIODO 1971 – 2000 Y PRECIPITACIONES AÑO 2011(MM).....</i>	<i>13</i>
<i>FIGURA 4. DISPOSICIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS EN CAMPO BAJO Y FUERA DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES.....</i>	<i>25</i>
<i>FIGURA 5. PORCENTAJE DE INTERCEPCIÓN DE LA LLUVIA (DIFERENCIAS MEDIAS POSITIVAS Y NEGATIVAS DE LA PRECIPITACIÓN REGISTRADA FUERA DE LA COPA MENOS BAJO COPA) 40</i>	
<i>FIGURA 6. PROMEDIO DE LAS DIFERENCIAS MEDIAS DE PRECIPITACIÓN (MM) SEGÚN LA ESPECIE Y LA POSICIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS.....</i>	<i>41</i>
<i>FIGURA 7. DIFERENCIAS MEDIAS ENTRE ZONAS NO – SE CON RELACIÓN A LA POSICIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS CONTROL Y PLUVIÓMETRO BORDE DE LA COPA.....</i>	<i>43</i>
<i>FIGURA 8. TURBIDEZ, COLOR Y MATERIA EN SUSPENSIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA BAJO Y FUERA DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES.....</i>	<i>44</i>
<i>FIGURA 9. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ZONA NO CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON LA TRANSFERENCIA DEL AGUA A TRAVÉS DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES.....</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA 10. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ZONA SE CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON LA TRANSFERENCIA DEL AGUA A TRAVÉS DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES.....</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA 11. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ZONA NO RASGOS FUNCIONALES RELACIONADOS CON LA TRANSFERENCIA DEL AGUA A TRAVÉS DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES.....</i>	<i>51</i>
<i>FIGURA 12. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ZONA SE RASGOS FUNCIONALES RELACIONADAS CON LA TRANSFERENCIA DEL AGUA A TRAVÉS DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES.....</i>	<i>51</i>
<i>FIGURA 13. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES SOBRE LAS DIFERENCIAS MEDIAS RELACIÓN CARACTERÍSTICAS Y CONTENIDO DE NUTRIENTES.....</i>	<i>54</i>
<i>FIGURA 14. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES SOBRE LAS DIFERENCIAS MEDIAS RELACIÓN RASGOS FUNCIONALES Y CONTENIDO DE NUTRIENTES</i>	<i>54</i>

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACP: Análisis de Componentes Principales

AF: Área Foliar

AFE: Área Foliar Específica

AR: Altura de Ramificación

ARB: Altura de la Rama más Baja

AT: Altura Total

CIEMA: Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente

DAP: Diámetro a la Altura del Pecho

DC: Densidad de Copa

DiC: Diámetro de Copa

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FC: Forma de la Copa

FTH: Fuerza Tensil de la Hoja

FUNCiTree: Diversidad funcional: un sistema ecológico basado en Agroforestería sostenible y adaptable a paisajes de regiones áridas y semiáridas.

GH: Grosor de la Hoja

INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales

LAI: Índice de Área Foliar

LP: Longitud del Pecíolo

MARENA: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales

PPT: Precipitación

ONDL: Oficina Nacional de Desarrollo Limpio

SAFs: Sistemas Agroforestales

SSP: Sistemas Silvopastoriles

SE: Servicio Ecosistémico

SILPAS: Los árboles como patrones de las funciones de los sistemas silvopastoriles en el Neotrópico

TFP: Tipos Funcionales de Plantas

TH: Textura de la Hoja

TiH: Tipo de Hoja

1 INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático en variables como la temperatura y la precipitación son cada vez más frecuentes e intensos en la región de Centroamérica (MARENA y ONDL 2008). El cambio climático hará disminuir el agua disponible para la agricultura y el aumento de las temperaturas se traducirá en una mayor demanda de agua del cultivo, trayendo graves consecuencias en la disponibilidad de este recurso para la producción de alimentos. “La lluvia aumentará en los trópicos y a latitudes más altas pero disminuirá en las zonas que tienen ya carácter seco y semiárido y en el interior de los grandes continentes” (FAO 2011), los cultivos agrícolas, pastos, plantaciones forestales y vegetación natural requerirán de aprovisionamiento de agua para mantener su desarrollo y generar una productividad adecuada a los sistemas de manejo (Faustino 1997).

En este sentido los servicios ecosistémicos (SE) al ser los beneficios que las personas y las sociedades obtienen de los ecosistemas (Alcamo *et al.* 2003) cobran importancia para el adecuado funcionamiento de los sistemas productivos en cuanto a su relación con el aprovisionamiento hídrico y la captura de nutrientes. Por lo cual planteamos en la presente investigación estudiar el efecto de las características de las plantas y los rasgos funcionales de la copa de los árboles sobre dichos servicios de las especies *Albizia saman*, *Coccoloba caracasana*, *Coccoloba floribunda*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea* dispersos en potrero en fincas ganaderas del departamento de Rivas – Nicaragua.

Dentro de los rasgos funcionales y las propiedades ecosistémicas asociadas a los SE evaluamos aquellos relacionados con la regulación hídrica, el reciclaje de nutrientes, la evapotranspiración y el efecto en los ciclos biogeoquímicos, entre ellos la fuerza tensil de la hoja (FTH), textura de la hoja (TH), altura total del árbol (AT), fenología (F) y diámetro a la altura del pecho (DAP) y rasgos funcionales como el índice de área foliar (LAI por sus siglas en inglés) el cual constituye la principal superficie de intercambio entre la copa y la atmósfera (Le Dantec *et al.* 2009 citado por Calvo *et al.* 2005) fundamental para comprender el

funcionamiento de los procesos de los ecosistemas entre ellos el de la interceptación de la lluvia (Calvo *et al.* 2005).

Basados en lo anterior, planteamos en la presente investigación que existen diferencias significativas entre especies y la cantidad de lluvia transferida bajo la copa de los árboles, siendo las especies con menor densidad de copa las que transfieren mayor cantidad de lluvia hacia el suelo y las especies perennifolias las que capturan mayor cantidad de nutrientes; además de mayores contenidos de P total, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} y menores contenidos de NO_2^- y NO_3^- bajo copa en relación a fuera de la copa.

Los resultados aquí obtenidos podrán ser extrapolados a otras especies con rasgos funcionales similares a los de las especies aquí estudiadas y su efecto en el ciclo hidrológico y ciclo de nutrientes, al igual que la importancia del proceso de interceptación de la lluvia sobre la productividad y su aplicabilidad para el diseño de sistemas productivos tales como sistemas agroforestales (SAFs) - sistemas silvopastoriles (SSP). Conocimiento importante para la planeación y manejo de los sistemas productivos especialmente en aquellas zonas donde existen periodos de deficiencia prolongada de agua, bajas cantidades de lluvia anual o con períodos críticos por deficiencia o exceso de agua durante eventos climáticos como El Niño y La Niña tal como lo plantea Jaramillo 2005.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de las características y los rasgos funcionales de la copa de árboles del neotrópico seco, sobre la transferencia de lluvia y la captura de nutrientes.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Comparar la cantidad de lluvia transferida bajo la copa de árboles de las especies *Albizia saman*, *Coccoloba sp*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*.
2. Comparar el contenido de NO_2^- , NO_3^- , P total, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} en el agua proveniente del pluviolavado de la copa de los árboles de las especies *Albizia saman*, *Coccoloba floribunda*, *Coccoloba caracasana*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*.
3. Establecer la relación entre las características y los rasgos funcionales con los procesos de transferencia de la lluvia y la captura de nutrientes

1.2 Hipótesis del estudio

1. Las especies evaluadas presentan diferencias significativas en cuanto a la cantidad de lluvia transferida bajo la copa del árbol, siendo estadísticamente diferente en las posiciones parte media y borde de la copa.
2. La lluvia recolectada que pasa a través de la copa de los árboles presenta mayor cantidad de P total, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} y menor contenido de NO_2^- , NO_3^- en comparación a la lluvia no interceptada.
3. El área foliar es el rasgo funcional que más asociado se encuentra con el proceso de transferencia de la lluvia así como la captura de nutrientes por parte de la copa de los árboles.

2 MARCO REFERENCIAL

Papel de los árboles en los sistemas productivos

Los árboles influyen en la disponibilidad de la humedad del suelo en su contorno más cercano y la interceptación de las precipitaciones en la cantidad de humedad que llega a este. (FAO 1991). Desde el punto de vista hidrológico el equilibrio del agua en un micrositio, predio o región está influenciado por las características funcionales y estructurales de los árboles, dependiendo de la densidad del follaje y las características de las hojas (Gallardo *et al.* 2009). La cubierta vegetal desempeña una función vital de protección contra la erosión del suelo, jugando un papel estabilizador en la dinámica de dicho proceso, absorbiendo una elevada proporción de la energía de la lluvia al interceptar ésta mediante las hojas y tallos amortiguando así el impacto de las gotas sobre el suelo y disminuyendo la disgregación y ruptura de los agregados (García 2006).

En zonas con pendientes fuertes (laderas, colinas y montañas) puede contribuir a controlar la erosión y reducir el impacto erosivo de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial. Aunque los árboles en algunos casos pueden llegar a competir por agua con otros cultivos y reducir la cantidad de agua que llega al suelo siendo este un factor muy importante principalmente en zonas secas, pueden realizar redistribución de agua profunda en la zona radicular y disminuir el nivel de agua de la capa freática; además de contribuir en el manejo de cuencas hidrográficas desde el punto de vista biofísico y socioeconómico a través de la protección y rehabilitación de estas (Jiménez *et al.* 2001) y ser determinantes en la sostenibilidad y eficiencia de los pastizales al mejorar la cobertura vegetal, disminuir la evaporación, compactación y escurrimiento del agua (Senra 2009).

El agua lluvia que cae sobre la vegetación arrastra elementos minerales depositados sobre las hojas y disuelve los nutrientes presentes en éstas y el tronco; su aporte por esta vía constituye en promedio el 15% del retorno anual de nutrientes de la biomasa vegetal aérea al suelo (Chapin *et al.* 2002 citado por Gallardo *et al.* 2009); su cantidad es variable dependiendo principalmente de las condiciones climáticas, la intensidad y la duración de las lluvias

incidentes y la estructura aérea de la vegetación, la cual es determinada por la composición de las especies, su morfología, la edad de las hojas y el tipo de manejo (Santa Regina y Tarazona 2001b citado por Gallardo *et al.* 2009).

Rasgos funcionales de las plantas

Los rasgos funcionales corresponden a un carácter relevante de la planta para comprender y explicar la relación con su entorno (Cornelissen *et al.* 2003); corresponden a características morfológicas, ecofisiológicas, bioquímicas y fenológicas (Lavorel *et al.* 2007) relevantes en su respuesta a factores ambientales, medibles y observables en un organismo o individuo. Los rasgos más utilizados son aquellos de fácil medición y poco costosos (Cornelissen *et al.* 2003), sus atributos corresponden a valores particulares en un lugar y tiempo determinado (Lavorel *et al.* 1997, Violle *et al.* 2007 citado por Díaz *et al.* 2011); siendo, caracteres funcionales de efecto aquellos que afectan las propiedades y los SE y los caracteres funcionales de respuesta los que determinan la capacidad de una planta de sobrevivir y proliferar ante distintos factores ambientales (factores climáticos y de disturbio) (Díaz *et al.* 2011).

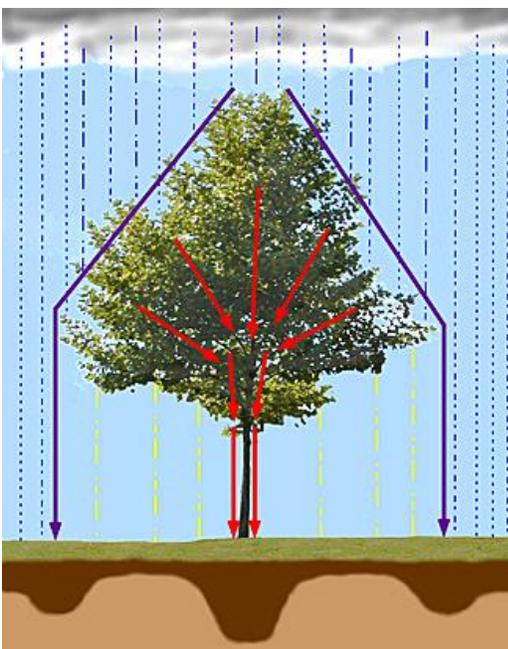
Interceptación y transferencia de la lluvia a través de la copa de los árboles

La vegetación modifica con frecuencia la intensidad y la distribución de la PPT caída sobre y a través de sus hojas y estructuras leñosas (Pidwirny 2006). Desde el punto de vista del balance hídrico altera tanto la cantidad de agua que alcanza el suelo como su distribución espacial y temporal (Huber *et al.* 1998). Por tanto, la interceptación es la captura de la PPT por el dosel de las plantas y su posterior regreso a la atmosfera a través del proceso de evaporación (Pidwirny 2006), expresada en términos absolutos en mililitros (ml) y ajustada a un valor determinado por la capacidad de almacenamiento de la cobertura, dependiendo de la estructura y la densidad de la vegetación y principalmente del índice de área foliar (LAI); o expresada en términos relativos, como un porcentaje de la precipitación incidente (P_i) (Stadtmüller 1994), la cual corresponde a la lluvia que ingresa al sistema proveniente de las nubes sin pasar por una cubierta vegetal (Jiménez 2009).

La intercepción depende de la capacidad de la biomasa vegetal para almacenar agua, la curva de drenaje de la copa, los espacios en la cubierta vegetal, la conductancia aerodinámica de la masa vegetal y las condiciones meteorológicas durante la PPT (Puigdefábregas 2001); además, de factores ambientales como la duración e intensidad de la lluvia, la velocidad y dirección del viento (Kappelle 2008), la niebla, el rocío, la continuidad del evento de lluvia, la temperatura del aire, la humedad (Crockford y Richardson 2000), el índice de área foliar (LAI) y la arquitectura de la planta (estructura horizontal y vertical basada en el sistema de ramificación) (Kappelle 2008).

La PPT no interceptada se relaciona con los procesos de escurrimiento del agua por el fuste (Chapin *et al.* 2002 y Pidwirny 2006) (Figura 1. líneas de color rojo), por el goteo o escurrimiento de la copa (Figura 1. líneas discontinuas amarillas) (Chapin *et al.* 2002) o por acción del agua que llega a la superficie del suelo sin ser interceptada por el dosel, siendo estas dos últimas variables las evaluadas en la presente investigación.

El goteo es determinado por la estructura de la copa para intensidades de lluvia bajas, mientras que para intensidades de lluvias altas está más relacionado con la intensidad de la lluvia. Las propiedades de la copa relacionadas con el goteo son la porosidad de la copa y la altura, ya que cuánto más alta sea una planta mayor será la probabilidad para una gota que desciende de ser interceptada de nuevo por las partes inferiores de la copa durante su trayectoria hacia el suelo (Ortiz 2006).



Cantidad relativa de PPT que entra en el suelo indicada en el color marrón oscuro (Pidwirny 2006).

Figura 1. Distribución de la PPT no interceptada por el dosel de las plantas

Los factores que determinan las pérdidas por interceptación se agrupan en dos grupos, unos dependientes de las condiciones atmosféricas durante y tras el evento lluvioso y otros dependientes de las propiedades de las copas que interceptan la precipitación (Rutter *et al.* 1971; Gash, 1979; Gash *et al.* 1995 citado por Ortiz 2006). La cantidad total de agua que alcanza el suelo es pequeña para lluvias cortas y débiles, y aumenta para las intensas y prolongadas (Horton 1919 citado por Ortiz 2006). En general, la interceptación que se produce dada una cantidad determinada de lluvia es mayor cuando cae en forma de pequeñas precipitaciones (Rutter 1963), llegando a ser del 100% cuando la cantidad de PPT no supera la capacidad de la copa (Horton, 1919 citado por Ortiz 2006). La velocidad a la que el agua almacenada en la copa alcanza la estabilización depende de la especie donde el agua se retiene en la copa más rápidamente si las gotas de lluvia son pequeñas (Calder 1996 citado por Ortiz 2006).

El almacenamiento de la lluvia por el agro-ecosistema está relacionado con las características morfológicas del cultivo y el índice de área foliar (LAI)” (Jaramillo 2005).

Según Cháidez *et al.* (2008), la morfología de las ramas además del área foliar (AF), son las variables que permiten explicar las diferencias en interceptación de la lluvia por diferentes especies, relacionándose negativamente con los valores de interceptación la altura total del árbol (AT); y la capacidad de almacenaje e interceptación de la lluvia además del área foliar (AF), con la forma, superficie de la hoja y su orientación en el espacio, además de elementos como la velocidad del viento (Heuveldop *et al.* s.f), la densidad de la copa (Johnson, 1990 citado por Cháidez *et al.* 2008), el tipo de corteza y el área basal (Teklehaimanot *et al.* 1991; Kelliher *et al.*, 1992 citado por Cháidez *et al.* 2008).

Las especies de estructura de copa más lineal (con ramas rectas dirigidas hacia el tallo) redistribuyen las lluvias cortas y poco intensas más eficazmente. No obstante, el tamaño de la planta no es determinante para alcanzar el equilibrio entre entradas y salidas de agua al nivel interespecífico pero si a nivel intraespecífico. Siendo, el crecimiento de una especie determinada la que hace que la estructura aérea de su copa se complique y por tanto aumente su capacidad para almacenar agua, haciendo más larga la etapa de mojado y requiriéndose precipitaciones más prolongadas e intensas para alcanzar el estado de saturación o equilibrio. En este sentido, las plantas jóvenes son más efectivas redistribuyendo las lluvias cortas o de baja intensidad sacando ventaja de las lluvias efímeras, mientras que en plantas adultas de la misma especie apenas se aprovechan estas lluvias ya que la mayor parte del agua interceptada es evaporada (Ortiz 2006).

Captura de nutrientes

La vegetación modifica igualmente la composición química del agua lluvia en su paso por la copa de los árboles (Lovett y Lindberg 1984; Herrmann *et al.* 2006). La cantidad de sólidos depositados está en función de la cantidad, las condiciones atmosféricas y la superficie receptora; fluctuando la velocidad y cantidad de material depositado según el tamaño de la partícula, las variaciones espaciales (urbano o rural), temporales (periodo cálido o frío) y las condiciones micro-meteorológicas (velocidad local del viento, estabilidad atmosférica), entre otros (Moreno *et al.* 2008).

El agua lluvia al atravesar la copa del árbol y recorrer las superficies de hojas, ramas y troncos se enriquece en elementos químicos provenientes en algunos casos de los elementos que proceden del interior de los tejidos de la planta, influenciado por la edad de las poblaciones arbóreas y las características morfológicas y estructurales e interviniendo estas mismas condiciones en la captación de material atmosférico y su posterior facilidad de lavado (Bellot y Escarre 1989).

La retención puede ser temporaria según sea el régimen de lluvias siendo ocasional el lavado de las partículas del follaje en ambientes áridos (Moreno *et al.* 2008) y su poder de retención por las hojas variar en función de la especie y las características morfo-anatómicas de las hojas (superficie expuesta y grado de pilosidad)” (Dalmasso *et al.* 1997). Las partículas pueden ser absorbidas por el árbol o retenidas en la superficie de la planta volviendo a menudo a suspenderse a la atmósfera, ser lavadas por la lluvia o caídas al suelo con las ramas y hojas (Nowak *et al.* 2006) y los ciclos geoquímicos estar relacionados con las características de la planta: forma de crecimiento, forma de vida, altura, y rasgos foliares como tamaño y vida útil de la hoja, contenido de materia seca, concentración de N y P foliar, fuerza tensil de la hoja (FTH) y fenología (F) (Lavorel *et al.* 2007).

Los nutrientes por tanto pueden lixiviarse desde la hoja por acción del agua interceptada o depositarse como sales en la superficie de estas debido al efecto de la evaporación, existiendo casi siempre un incremento neto en la concentración de nutrientes en el lavado foliar con relación a la PPT original, aunque los nutrientes pueden ser absorbidos por las hojas o tomados por la microflora presente en la superficie vegetal (Eaton *et al.* 1973; Jaramillo 2003).

El aporte de nutrientes al suelo por esta vía constituye en promedio el 15% del retorno anual de nutrientes de la biomasa vegetal aérea al suelo Chapin *et al.* 2002 citado por Gallardo *et al.* 2009, siendo esta cantidad muy variable en dependencia principalmente de las condiciones climáticas (intensidad y duración de las lluvias incidentes) y la estructura aérea de la vegetación la cual es determinada por la composición de las especies, la morfología, la edad de las hojas y el tipo de manejo (Santa Regina y Tarazona 2001b citado por Gallardo *et al.*

2009). Asimismo, la cantidad de nutrientes transferido hacia el suelo está en dependencia de la solubilidad en la hoja del elemento considerado, siendo pequeños los aportes de fósforo al suelo por pluviolavado y mayores los aportes de potasio debido a que es un elemento más soluble en la hoja razón por la cual se pierde más fácilmente por el lavado de la misma (Gallardo *et al.* 2009).

En este mismo sentido, los ciclos de N y P son muy diferentes tanto en lo que se refiere a los flujos de entrada como de salida de los ecosistemas, así como a los mecanismos de retención dentro de éstos, ya que el N tiene formas gaseosas y está prácticamente ausente en los minerales de las rocas madre, lo que determina que su principal fuente primaria para los ecosistemas sean las entradas atmosféricas y su subciclo geoquímico muy limitado. “Por el contrario, el P no dispone de ciclo gaseoso, y aunque puede ser depositado ocasionalmente en forma de aerosoles (polvo atmosférico), su principal forma de entrada a los ecosistemas es a través de la meteorización de rocas con contenido en fósforo” (Gallardo *et al.* 2009).

Finalmente, la fenología¹ es uno de los atributos más importantes sobre la función de captura de nutrientes. No obstante, los patrones de comportamiento fenológico de las especies arbóreas al ser complejos pueden variar durante o cada año desencadenados por cambios climáticos como el paso de la época húmeda a seca, grados de sincronía o asincronía en diferentes partes de las plantas o de distintos árboles en una misma localidad o región (Reynel *et al.* 2003), lo cual influye directamente en el proceso de captura de nutrientes.

¹ Estudio de los patrones de anualidad o periodicidad en la formación y desarrollo de los órganos de las plantas (flores, frutos y semillas) (Reynel *et al.* 2003)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación, descripción y clasificación climática de la zona de estudio

El estudio se desarrolló en fincas ganaderas del municipio de Belén – departamento de Rivas – Nicaragua en las comunidades de San Antonio, Mata de Caña, Los Ángeles y Cantimplora (Figura 2); con una extensión territorial de 246 km², temperaturas entre los 26 y 33°C, altitud aproximada de 80 m.s.n.m., clima seco con dos tipos de paisajes: planicies 3948 ha (13,8%) y sistemas montañosos 24652 ha (86,2%) (INIFOM s.f), humedad relativa 78%, viento 3,2 m seg⁻¹ (INETER 2005), zona de vida bosque seco tropical estación seca (noviembre a abril) y lluviosa (mayo a octubre) (INETER 2005), precipitación promedio anual de 1450,2 mm, con un valor promedio máximo de precipitación histórico para el mes de septiembre de 292,9 mm (Cuadro 1) (INETER 2011a), presentándose en la mitad del período lluvioso (julio - agosto), un mínimo estival conocido popularmente como "Canícula", (INETER 2005).

El mayor registro de precipitación reportado durante el periodo de evaluación para el año 2011 correspondió al mes de julio con un valor de 348 mm (INETER 2011b) (Figura 3).

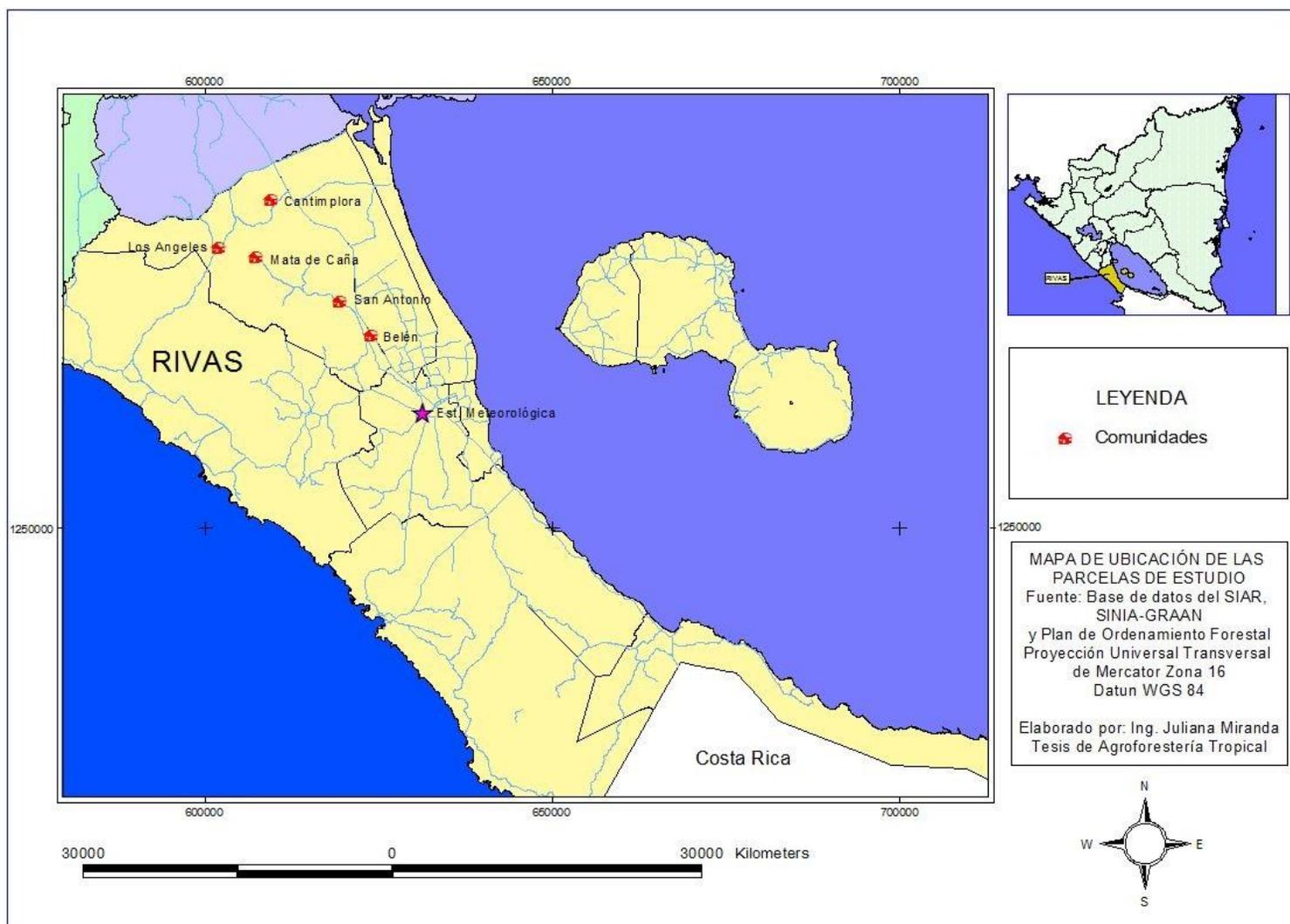


Figura 2. Municipio de Belén – Rivas, Nicaragua

Cuadro 1. Registro de precipitación (mm) normas históricas 1971- 2000 enero – septiembre y año 2011

	<i>Enero</i>	<i>Febrero</i>	<i>Marzo</i>	<i>Abril</i>	<i>Mayo</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>
Año 1971 - 2000	11,5	4,1	2,5	10	161,8	242,2	148,2	191,4	292,9
Año 2011	7,6	1,9	0	-	222	204	348,2	93,3	312,8

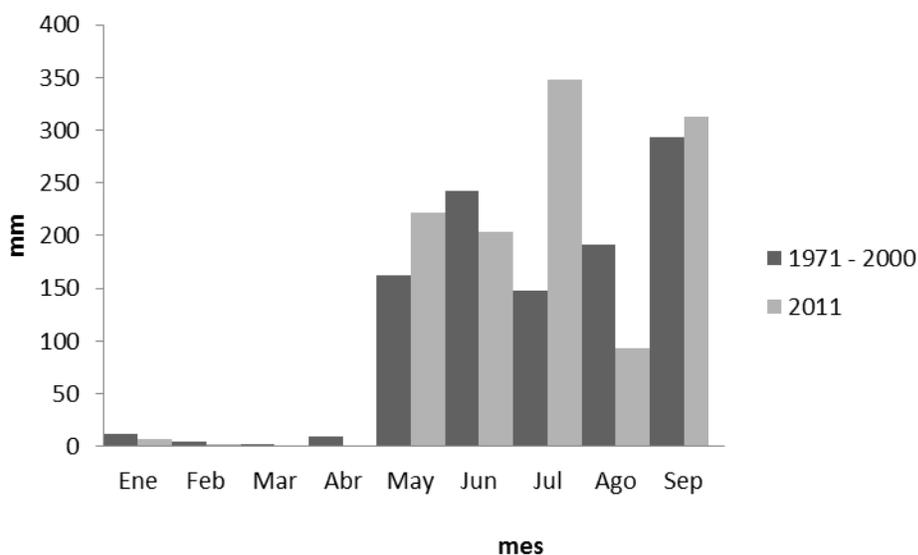
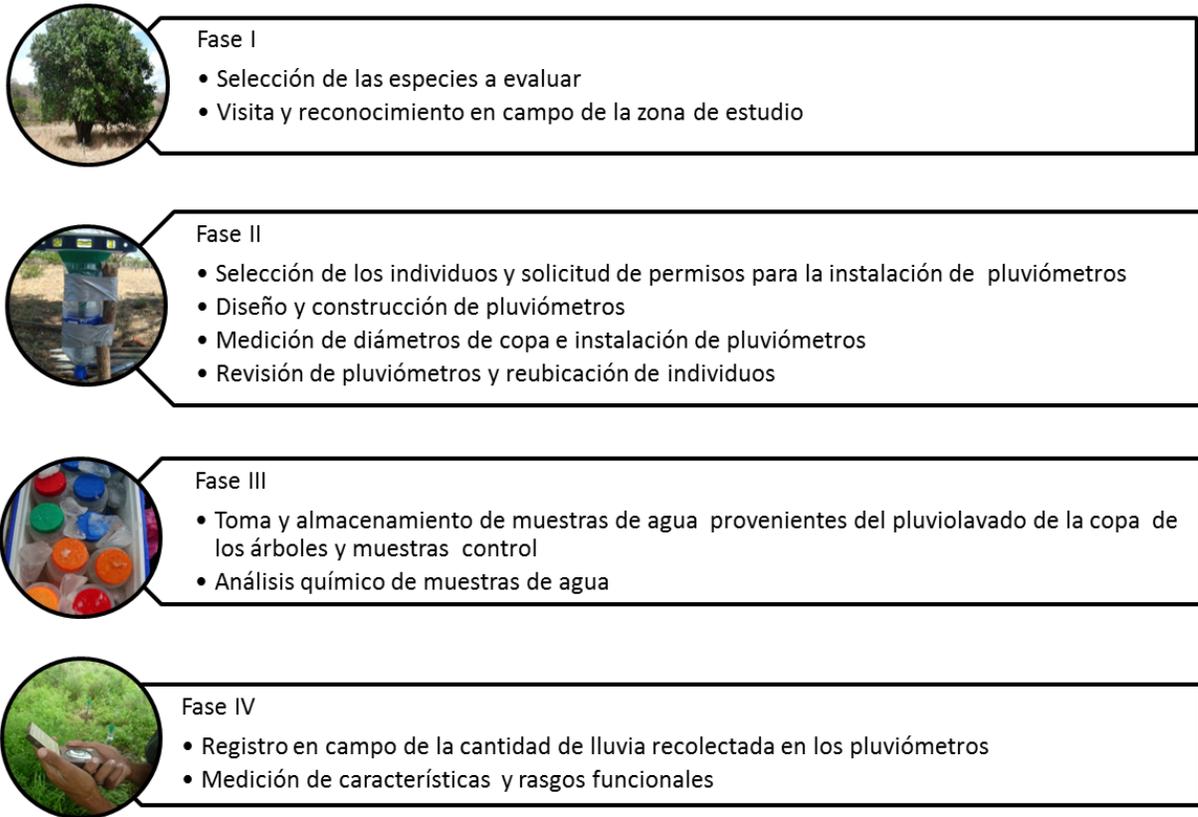


Figura 3. Datos históricos promedios de precipitación (mm) meses de enero – septiembre periodo 1971 – 2000 y precipitaciones año 2011(mm)

3.2 Metodología

Con el objetivo de evaluar la cantidad de lluvia transferencia y la captura de nutrientes provenientes del pluviolavado de las copa de los árboles de las especies *Albizia saman*, *Coccoloba sp*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*, se llevó a cabo la siguiente metodología (Cuadro 2).

Cuadro 2. Etapas metodológicas del estudio



3.2.1 Fase I

Selección de las especies, visita y reconocimiento en campo de la zona de estudio

Para la selección de las especies se partió del análisis de conglomerados realizado por Olivero (2011) en 48 especies, en el cual incluyó rasgos funcionales asociados a la respuesta a la sequía y la productividad del sotobosque. Se conformaron en total cinco grupos y en promedio se eligió una especie por cada grupo presentando las mayores diferencias entre los rasgos de fenología (F), tamaño de la hoja, presencia de espinas, área foliar (AF), densidad de madera y estrategia de absorción de nutrientes (leguminosas y no leguminosas), eligiéndose las especies *Albizia saman*, *Coccoloba caracasana*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea* (Cuadro 3).

La visita y reconocimiento de campo se realizó previo a la presentación de la propuesta de investigación.

Cuadro 3. Descripción de las especies

Especie	Descripción
<div data-bbox="305 457 862 894" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="496 940 667 972" style="text-align: center;"><i>Albizia saman</i></p> <p data-bbox="272 1024 548 1056">Familia: Leguminosae</p> <p data-bbox="272 1104 889 1241">Árbol “muy grande, a menudo 25-30 m de altura y hasta 45-50 m, con un tronco corto de hasta 2-3 m de DAP” (Cordero <i>et al.</i> 2003).</p> <p data-bbox="272 1289 889 1476">Copa “ancha, baja, extendida, en forma de sombrilla soportada por ramas horizontales. Corteza: rugosa y pardo grisácea, con líneas verticales” (Cordero <i>et al.</i> 2003).</p>	<p data-bbox="914 457 1458 747">Hojas “grandes (6-25cm de largo) y bipinnadas, con 3-6 pares de pinnas por hoja y 6-9 pares de hojuelas. Estas son grandes (24-62 mm de largo). Las hojas son ligeramente sensibles a la luz y se cierran por la noche” (Cordero <i>et al.</i> 2003).</p> <p data-bbox="914 795 1458 1085">Usos árbol de sombra. “Las vainas son un importante suplemento como forraje para el ganado durante la estación seca. La madera es de alta calidad para muchos propósitos, y también proporciona leña y carbón de calidad” (Cordero <i>et al.</i> 2003).</p>



Crescentia alata Kunth

Familia: Bignoniaceae

Árbol pequeño de hasta 8 m de alto y 25 cm de diámetro (Cordero *et al.* 2003), con ramas largas (Holdridge *et al.* 1997), retorcidas y abiertas. Tronco a veces recto, aunque normalmente ramifica desde la base. Especie de lento crecimiento, cuya producción de frutos comienza al 5° año, llegando a producir hasta 27kg/árbol/año a partir del 8° año (Cordero *et al.* 2003).

Hojas trifoliadas – alternas, peciolo largo, alado (Holdridge *et al.* 1997) Las hojas permanecen en el árbol bien entrada la estación seca, brotando nuevas hojas tan pronto como comienzan las lluvias (Cordero *et al.* 2003).

Usos Los árboles forman parte de SSP, generalmente dispersos en potreros donde además de proporcionar sombra, los frutos maduros sirven de alimento para el ganado y caballos en particular. La pulpa es un suplemento muy útil para ganado vacuno y caprino sobre todo en zonas donde la estación seca dura de 5-7 meses. La pulpa puede utilizarse también como suplemento para engorde de conejos, hasta un 20% de la dieta sin efectos tóxicos (Cordero *et al.* 2003).

Madera de textura media fácil de trabajar cuando está verde, pero muy dura cuando se cura por lo cual es menos utilizada que la fruta (Cordero *et al.* 2003).

Los árboles no son sembrados por el hombre como cultivo en potreros, sino que se resultan de la combinación con ganado, en donde las semillas dispersadas por caballos germinan rápidamente y extendiéndose el árbol de esta manera (Cordero *et al.* 2003)

Ecología Crecen en terrenos pesados, tipo vertisoles, resistentes a suelos pobres, toleran inundaciones temporales, aunque también pueden tolerar periodos extensos de humedad o sequía extrema (Cordero *et al.* 2003).



Coccoloba sp.

Coccoloba caracasana

Arbol “pequeño a mediano, 2–12 m de alto, frecuentemente con troncos múltiples; tallos puberulentos a glabrescentes. Hojas ampliamente oblongas o suborbiculares, 8–20 cm de largo y 6–15 cm de ancho, redondeadas y frecuentemente emarginadas en el ápice, redondeadas a truncadas a subcordadas en la base, envés puberulento y con nervadura reticulada” (Stevens *et al.* 2001).

Usos especie útil por sus frutos comestibles, leña, postes, ornamental y fuente de sombra (Meyrat s.f).

Coccoloba floribunda

Árbol “o arbustos densamente ramificados, 2–9 m de alto; ramas glabras. Hojas obovadas u obovado-oblongas, 5–15 cm de largo y 3–7 cm de ancho, ápice redondeado a subagudo, base adelgazada a subaguda o subredondeada, coriáceas, penachos de tricomas axilares presentes en el envés” (Stevens *et al.* 2001).



Enterolobium cyclocarpum

Familia: Leguminosae

Árbol grande, longevo, de hasta 40 m de alto y 3 m de DAP. Cuando crece en condiciones abiertas tiene un tronco corto y grueso, a menudo con pequeños aletones y gruesas ramas para soportar la ancha y extendida copa (Cordero et al. 2003).

Hojas opuestas, bipinnadas, con 5-15 pares de pinnas y 20-30 pares de hojuelas por pinna las cuales miden entre 8-15 mm cada una (Cordero et al. 2003).

Usos ideal para SSP ya que proporciona sombra y vainas nutritivas para el ganado bovino y caballos. No obstante, los frutos pueden ser abortivos en yeguas (Cordero et al. 2003).

Los árboles maduros en pastos son también una fuente valiosa de madera para aserrío usada en construcción, chapas y acabados interiores, carpintería y muebles. Puede usarse también como leña (Cordero et al. 2003).

Nota: Las hojas no son utilizadas como forraje, ya que a pesar de ser altamente nutritivas y digestibles son poco palatables para el ganado (Cordero et al. 2003).



Guazuma ulmifolia

Familia: Sterculiaceae

Árbol pequeño, raramente de más de 8 m en condiciones abiertas y 16 m en bosque cerrado. Diámetro hasta 50 cm, ramificación desde baja altura (Cordero *et al.* 2003).

Copa asimétrica, ramas en zig - zag y fuste ondulado, generalmente inclinado con aletones altos (Mostacedo 2001).

Corteza externa color gris negruzco, con fisuras paralelas (Mostacedo 2001)

Hojas simples, alternas, formando dos hileras a lo largo de la rama. Hoja lanceolada, con borde serrado. (Cordero *et al.* 2003). Hojas glabrescentes o con pubescencia fina de pequeños pelos estrellados (x10)” (Reynel *et al.* 2003).

Usos sombrío en pasturas, leña de alta calidad (fácil de rajar y secar), carbón y forraje, así como madera para carpintería en general, postes para cercas y construcciones rurales, aunque no es duradera y es particularmente susceptible a termitas (Cordero *et al.* 2003).

Frutos comestibles por las personas, ya sean frescos, secos o cocinados. Hojas y fruto con propiedades medicinales. Importante en sistemas silvopastoriles ya que el forraje y los frutos son altamente nutritivos y apetecidos por el ganado; consumidos por vacas, caballos, cabras y cerdos, siendo fuente importante de forraje durante la estación seca. Las hojas secas, molidas a mano y mezcladas con sorgo son utilizadas para suplemento de proteína a gallinas (Cordero *et al.* 2003).

Normalmente, se encuentran como individuos aislados o en grupos en pasturas, aunque a veces son sembrados en plantaciones puras para leña o forraje, al igual que en linderos, bordes de carreteras y pendientes, para la estabilización de suelos (Cordero *et al.* 2003).

Ecología “especie decidua, demandante de luz, pionera, presente en etapas tempranas de la mayoría de bosques tropicales y subtropicales” (Mostacedo 2001).



Tabebuia rosea Bertol

Familia: Bignoniaceae

Árbol grande, caducifolio, que alcanza 25 – 30 m de altura y 100 cm d.a.p. Con fuste recto y cilíndrico, a veces acanalado en la base, copa ancha, estratificada, irregular, con pocas ramas horizontales gruesas. Ramificación simpodial (Flores y Obando 2003).

Corteza externa de color gris, negruzca o pardo grisácea, áspera, con fisuras verticales angostas (Flores y Obando 2003).

Hojas palmaticompuestas, opuestas y deciduas. De superficie foliar lepidotada en la haz y el envés, aunque en algunos casos puede ser glabra (Flores y Obando 2003).

Usos construcción en general, ebanistería, carpintería, acabados de interiores, chapas, pisos, implementos agrícolas y cajas entre otros (Flores y Obando 2003).

La especie es utilizada como ornamental y árbol de sombra, sin embargo puede utilizarse con éxito en plantaciones comerciales (Flores y Obando 2003).

3.2.2 Fase II

Selección de los individuos y solicitud de permisos para la instalación de pluviómetros

Para la selección de los individuos se realizó inicialmente en campo la revisión de los árboles evaluados por Olivero 2011 y la identificación de árboles dispersos en potreros, ubicados en zonas planas alejados en lo posible de carreteras transitables principales, no podados y con copa libre de epífitas o lianas.

Inicialmente se seleccionaron 36 individuos (6 especies por 6 repeticiones) de los cuales debido al robo del material y daño de pluviómetros por acción del ganado finalmente fueron evaluados 27 individuos para el objetivo de transferencia de la lluvia y 28 individuos para el objetivo relacionado con la captura de nutrientes.

Diseño y construcción de pluviómetros

Con el objetivo de cuantificar la cantidad de lluvia transferida al suelo bajo la copa de los árboles así como determinar el contenido de nutrientes, diseñamos y utilizamos pluviómetros circulares construidos con embudos plásticos de 11,8 cm de diámetro y área de recepción de 109,36 cm² a los cuales se adaptó un tubo de PVC de media pulgada con el fin de reducir la posible evaporación de las muestras de agua. Los embudos fueron adheridos a botellas plásticas de 1,5 litros (Cuadro 4) y protegidos inicialmente con una malla plástica con el fin de evitar la caída al interior de los pluviómetros de flores, animales u hojas lo cual pudiera afectar los resultados obtenidos en los análisis químicos del agua.

a) Tubo de PVC inserto en la base del embudo



b) Diseño final del pluviómetro



Medición de diámetros de copa e instalación de pluviómetros

Para la medición del diámetro de copa utilizamos una cinta métrica midiendo desde el fuste del árbol hasta tanto el borde de la copa así como 5m por fuera de esta con el fin de ubicar los pluviómetros control, las mediciones se realizaron con dirección a cada uno de los puntos cardinales los cuales ubicamos con ayuda de una brújula. Los pluviómetros fueron fijados con cinta elástica y bridas a estacas de 80 cm de altura ubicadas a una distancia promedio del suelo de 40 cm (Cuadro 5).

En total se instalaron 12 pluviómetros por árbol independientemente del diámetro de copa (8 pluviómetros bajo la copa y 4 pluviómetros fuera de la copa) con dirección a los cuatro puntos cardinales con el fin de eliminar sesgos por orientación o por formas irregulares de la copa del árbol y analizar la influencia de la orientación sobre el proceso de transferencia de la lluvia, al igual que de determinar las diferencias medias obtenidas bajo y fuera de la copa y las diferencias medias bajo la copa en la posición media y periferia de esta denominados pluviómetros como 1, 2 y 3; donde 1 correspondió a los pluviómetros ubicados a una distancia media del radio de la copa; 2 a los pluviómetros ubicados a un metro hacia el interior de la

periferia de la copa y 3 a los pluviómetros ubicados a 5 metros de distancia de la periferia de la copa (Figura 4). El diseño estadístico utilizado correspondió a parcelas divididas, en donde la parcela principal lo constituyó el individuo de cada especie arbórea y la subparcela la combinación de las posiciones de los pluviómetros bajo y fuera de la copa (1, 2 y 3) y las direcciones norte, sur, este y oeste.

Cuadro 5. Proceso de instalación de pluviómetros

Medición y corte de estacas



Ubicación de puntos cardinales



Medición diámetro de copa y fijación de estacas



Instalación de pluviómetros



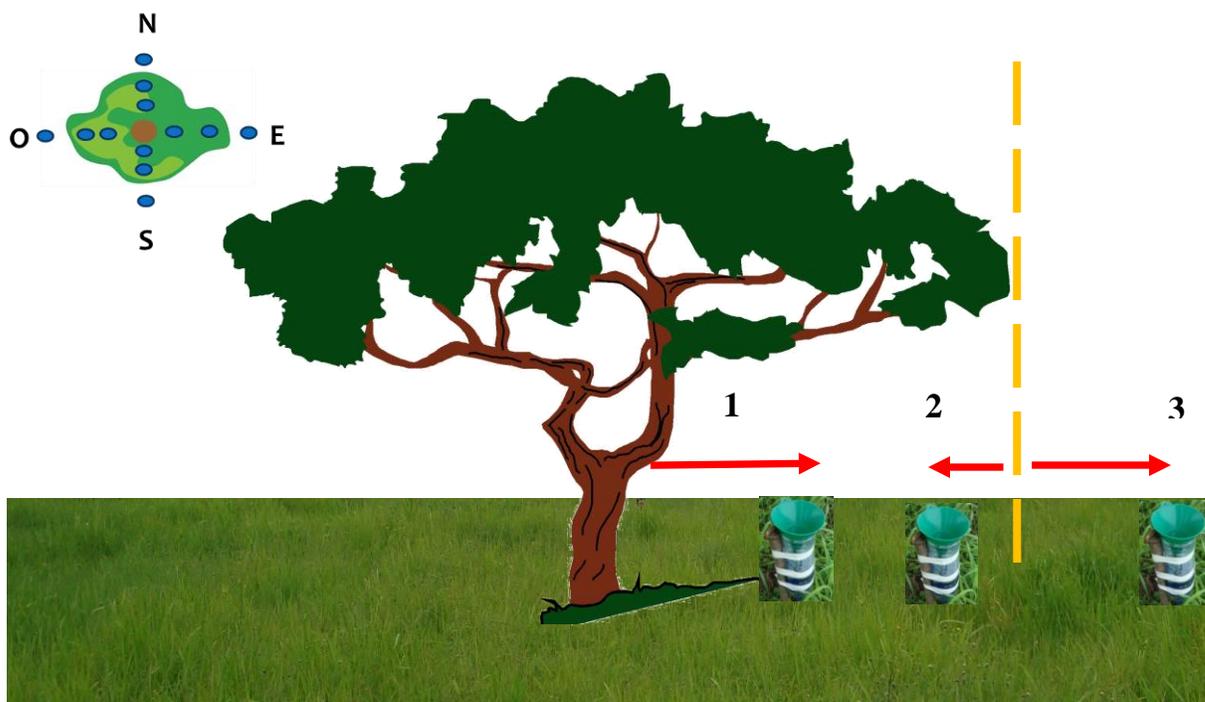


Figura 4. Disposición de los pluviómetros en campo bajo y fuera de la copa de los árboles

Revisión de pluviómetros y reubicación de árboles

Posterior al proceso de instalación de los pluviómetros en campo, realizamos la revisión de estos encontrando pérdidas por acción del pisoteo del ganado, robo de embudos y quema de potreros, por lo cual fue necesario retirar el material afectado y en algunos casos realizar la selección de nuevos árboles. Los pluviómetros instalados permanecieron en campo durante el periodo comprendido entre mediados del mes de mayo a mediados del mes de septiembre del año 2011.

3.2.3 Fase III

Toma y almacenamiento de muestras de agua provenientes del pluviolavado de la copa de los árboles y muestras control

Con el fin de cuantificar el contenido de NO_2^- , NO_3^- , P, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} proveniente del pluviolavado de la copa de los árboles y las muestras control, las muestras de agua fueron

tomadas durante el primer evento lluvioso reportado durante los días 14 y 15 de mayo del año 2011 en 28 individuos. Las muestras de agua fueron recolectadas en los pluviómetros circulares instalados en campo y posteriormente mezcladas en recipientes plásticos de capacidad de 20 litros previamente lavados con agua destilada y posteriormente envasadas y etiquetadas en recipientes plásticos de capacidad de 600 ml y 1 litro, para su posterior transporte en hieleras (Cuadro 6) y su congelación por espacio de un mes. Las muestras control fueron mezcladas teniendo en cuenta su procedencia dentro de un mismo potrero.

Análisis químico de muestras de agua

Las muestras de agua fueron analizadas en el laboratorio *Físico- químico de aguas naturales del Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA)* de la Universidad Nacional de Ingeniería - Nicaragua, utilizando el *Standard methods for the examination of water and wastewater*, versión 21 th. Earon 2005. En total se analizaron en el laboratorio 39 muestras: 28 muestras compuestas tomadas bajo la copa de los árboles (muestras de agua recolectadas en las posiciones 1 y 2) y 11 muestras compuestas tomadas fuera de la copa (posición 3), esto con el fin de comparar los resultados obtenidos en los resultados de los análisis químicos, partiendo de las diferencias medias entre bajo y fuera de la copa.

Cuadro 6. Toma de muestras de agua

<i>Desinfección de recipiente para toma de muestra de agua</i>	<i>Recolección de la muestra de agua</i>
	
<i>Toma de la muestra de agua compuesta</i>	<i>Empaque de la muestra</i>
	

3.2.4 Fase IV

Registro en campo de la cantidad de lluvia recolectada en los pluviómetros

Las mediciones en campo se realizaron ente las 8:30 am y las 3:00 pm al día siguiente de presentarse uno o varios eventos lluviosos durante la noche o en la madrugada del día de la toma de datos. La información fue registrada inicialmente en una agenda de campo y

posteriormente digitada en una base de datos de Excel. En total se evaluaron 20 eventos lluviosos, de los cuales se registro la cantidad de agua transferida bajo la copa de los árboles en las posiciones 1 y 2 así como la cantidad de lluvia recolectada en los pluviómetros control ubicados en la posición 3. La cantidad de agua recolectada fue medida utilizando una probeta graduada de 50 ml y un beaker de 500 ml éste último para el caso de precipitaciones fuertes. La toma de datos se realizó iniciando por los pluviómetros ubicados en la dirección norte posición 1, 2 y 3 respectivamente y culminando con los pluviómetros ubicados en la dirección oeste 1, 2 y 3.

Durante la fase de campo, se contó con el apoyo de tres asistentes de campo cuya función consistía en dar mantenimiento a los pluviómetros instalados (nivelación de estos un día previo al registro de los datos), reporte de pérdidas y reemplazo del material dañado.

Para el cálculo final de la cantidad de lluvia transferida a través de la copa de los árboles se aplicó la siguiente fórmula teniendo en cuenta el área de recepción de los pluviómetros (109,36 cm²).

$$= \frac{\text{Cantidad de agua recolectada en el pluviómetro (ml)}}{\text{Área de recepción del pluviómetro (109,36 cm}^2\text{)}} \quad \text{Donde } 1\text{ml} = 1\text{cm}^3$$

Medición de características y rasgos funcionales

Se midieron en campo 6 características generales de las plantas y tomamos la información correspondiente a 12 rasgos funcionales de la base de datos de los proyectos SILPAS y FUNCiTree reportados por Olivero (2011) al igual que información proveniente de fuentes bibliográficas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Características y rasgos funcionales

<i>Nº</i>	<i>Variable</i>	<i>Característica</i>	<i>Rasgo</i>	<i>Unidad</i>	<i>p</i>
1	Diámetro de copa	X		m	0,002
2	Altura total del árbol	X		m	0,006
3	Altura de ramificación	X		m	0,003
4	Altura de la rama más baja	X		m	0,003
5	Diámetro a la altura del pecho	X		cm	0,003
6	Forma de la copa (Elíptica Horizontal y Elíptica vertical)	X		Categórica	-
7	Densidad de copa		X	%	0,008
8	Fenología (caducifolia - perennifolia)		X	Categórica	-
9	Área foliar		X	mm ²	<0,000
10	Área foliar específica		X	m ² kg ⁻¹	<0,000
11	Longitud del peciolo		X	mm	<0,000
12	Fuerza tensil foliar		X	Nmm ⁻¹	<0,000
13	Grosor de la hoja		X	mm	<0,000
14	% de pubescencia haz de la hoja		X	%	<0,000
15	% de pubescencia envés de la hoja		X	%	<0,000
16	Textura de la hoja haz		X	Categórica	-
17	Textura de hoja envés		X	Categórica	-
18	Tipo de hoja (simple – compuesta)		X	Categórica	-

p: diferencias significativas entre especies, análisis realizado con Kruskal Wallis

Las características de la planta y los rasgos funcionales de la copa medidos en campo correspondieron a: diámetro de copa (DiC), medido con cinta métrica al momento de la instalación de los pluviómetros; altura total del árbol (AT), altura de ramificación (AR) y altura de la rama más baja (ARB), las cuales fueron estimadas con un clinómetro digital calibrado a una distancia de 30 m del fuste del árbol (Cuadro 8). La altura de la rama más baja (ARB) se midió desde el suelo hasta la punta de la rama más cercana a éste; para la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) (Cuadro 8) se utilizó una cinta diamétrica y en algunos casos cinta métrica utilizando en este último caso para la conversión de los datos la siguiente ecuación:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Dónde: CAP: circunferencia a la altura del pecho medido en cm

$$\pi: 3,1416$$

Con un densiometro de espejo se determinó la densidad de la copa (DC) ubicándonos espalda al fuste del árbol en cada uno de los puntos cardinales durante dos momentos diferentes de la época lluviosa (Cuadro 8). Con el fin de determinar la forma de la copa (FC) de los árboles (elípticas horizontales y elípticas verticales) utilizamos fotografías de cada uno de los individuos evaluados (Cuadro 8), las cuales fueron analizadas en el programa paint.

Los valores de área foliar (AF), área foliar específica (AFE), índice de área foliar (LAI), longitud del peciolo (LP), fuerza tensil de la hoja (FTH); grosor de la hoja (GH) y porcentaje de pubescencia fueron tomados de la base de datos de los proyectos SILPAS y FUNCiTree recolectados por Olivero (2011) y estimados con base a la metodología propuesta por Cornelissen (2003). De lo reportado por Olivero (2011) tomamos el valor específico de los individuos que coincidieron entre los dos estudios y el promedio de la especie para los individuos diferentes. Por su parte, la descripción de la textura de la hoja (TH) y el tipo de hoja (TiH) fue recopilada del manual “Flora de Nicaragua” (Stevens *et al.* 2001).

Cuadro 8. Medición de características y rasgos funcionales

Medición altura total, altura de ramificación y altura de la rama más baja



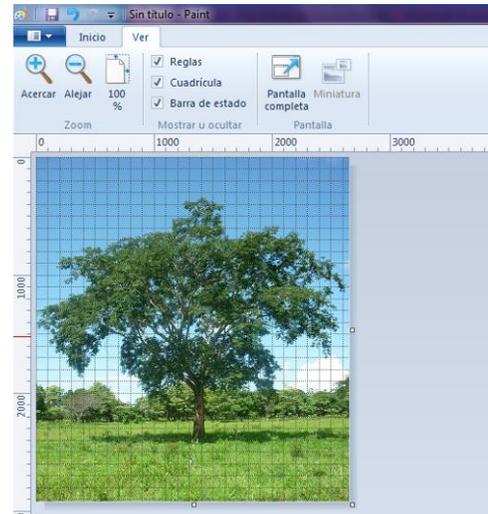
Medición diámetro altura del pecho (DAP)



Medición densidad de copa



Clasificación de las copas (elíptica horizontal – elíptica vertical) utilizando el programa paint



3.3 Análisis estadístico

Objetivo 1. Transferencia de la lluvia a través de la copa de los árboles

Con el fin de garantizar que no hubo efecto de la copa de los árboles sobre los datos recolectados en los pluviómetros control ubicados a 5 m de distancia del borde de la copa, realizamos una prueba de hipótesis utilizando como variable la cantidad de lluvia recolectada en dichos pluviómetros y como factores de efectos fijos la posición y la especie, usando como repeticiones los eventos de lluvia.

El porcentaje promedio de interceptación de la lluvia se realizó a partir de las diferencias medias de la PPT registrada fuera de la copa menos la PPT registrada bajo copa. Se calculó la variable diferencia de PPT entre los pluviómetros ubicados fuera de la copa y cerca del tronco, fuera de la copa y borde de la copa, cerca del tronco y borde de la copa. Los análisis estadísticos se realizaron a partir de las diferencias medias encontradas entre para cada especie y las zonas NO y SE, las cuales fueron agrupadas teniendo en cuenta de que no existían diferencias significativas entre ellas. Las especies *Coccoloba caracasana* y *Coccoloba floribunda* fueron analizadas como una sola.

Al tomar como variable de respuesta a las diferencias medias encontradas entre posiciones, independizamos el efecto de cada evento (lluvias fuertes versus lluvias tenues). Estos eventos que no fueron tomados como factor de bloqueo por la imposibilidad de realizar las mediciones en los 27 individuos en cada evento lluvioso. Los análisis estadísticos fueron realizados a partir de las diferencias medias obtenidas entre la cantidad de lluvia recolectada bajo copa y fuera de la copa en los pluviómetros ubicados en las posiciones 1, 2 y 3 (Δ 3-1, Δ 3-2 y Δ 2-1), considerando los eventos lluviosos y el árbol como efectos aleatorios (debido a que no todos los individuos de la misma especie presentaron la misma fisionomía). Los efectos fijos correspondieron a las seis especies evaluadas y las cuatro orientaciones (norte – sur – este y oeste) y la interacción entre ellos. Al tratarse de una combinación de efectos aleatorios y fijos, el análisis de varianza se realizó usando Modelos Mixtos.

Para entender la relación entre las características de los árboles y los rasgos funcionales con relación a la cantidad de lluvia transferida bajo la copa de los árboles, se realizó un análisis de correlación parcial para las diferencias medias (Δ 3-2), (Δ 3-1) y (Δ 2-1). Para esto se realizaron análisis de varianza y con los efectos de especie y posición y se calcularon los residuos, para luego usarlos en una correlación de Pearson.

Para visualizar el comportamiento conjunto de todas las variables se realizó análisis de componentes principales (ACP) para las características generales de las plantas y los rasgos funcionales combinados con las zonas NO y SE por separado. Previo al análisis las variables fueron estandarizadas.

Objetivo 2. Contenido de nutrientes

Para evaluar el aspecto de las muestras de agua (turbidez, color y materia en suspensión) provenientes bajo y fuera de la copa realizamos una prueba de hipótesis de independencia utilizando el estadístico chi cuadrado. Las variables categóricas usadas fueron turbidez (poco turbias, leve turbias, turbias); color (clara, poco amarillentas, amarillentas) y materia en suspensión (poca materia en suspensión y con materia en suspensión).

El contenido de NO_2^- presentó valores inferiores a $< 0,009$ mg/l por lo cual para los análisis estadísticos se trabajó con una constante igual a 0,009 mg/L. Con el fin de evaluar la diferencia en el contenido de nutrientes bajo y fuera de la copa de los árboles se realizaron las pruebas de T apareada paramétrica (para P total, Ca^{2+} y NO_3^-) y T apareada no paramétrica (Wilcoxon, para Mg^{2+} , K^+ y NO_2^-). También realizamos correlaciones parciales de Pearson o Spearman (dependiendo del cumplimiento o no del supuesto distribucional) entre estas características de composición química del agua.

Con el objetivo de comparar el contenido de nutrientes por cada una de las especies evaluadas se calculó el valor de la diferencia media entre el contenido de nutrientes bajo y fuera de la copa de los árboles de cada uno de los individuos seleccionados. En todos los casos los análisis fueron realizados separando las especies *Coccoloba caracasana* y *Coccoloba floribunda*. Debido a que no se cumplía con el supuesto de varianzas homogéneas entre los

tratamientos, utilizamos modelos mixtos contemplando la falta del cumplimiento con una función de varianzas heterogéneas (varIdent= varianzas distinta para cada uno de los tratamientos y varExp varianza relacionada a la media) modelando para el P total la varianza mediante un varIdent, al igual que el Mg^{2+} elemento para el cual se agruparon las especies que tenían varianzas semejantes en un primer grupo: *Guazuma ulmifolia* y *Coccoloba floribunda* y en un segundo grupo las especies *Crescentia alata*, *Tabebuia rosea*, *Albizia saman* y *Enterolobium cyclocarpum*; para el K^+ la varianza se modelo mediante un varIdent agrupando las que especies que presentaban varianzas semejantes *Albizia saman*, *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Tabebuia rosea*. Para el NO_3^- y NO_2^- se modelo la varianza mediante un varExp y un varIdent respectivamente.

Objetivo 3. Relación entre rasgos de la copa y rasgos foliares y los procesos de transferencia de lluvia y captura de nutrientes

Para el proceso de transferencia de la lluvia realizamos un análisis de correlación utilizando como variables las características de la planta y los rasgos funcionales. Para las variables categóricas asociadas a dicho proceso realizamos pruebas de independencia usando tablas de contingencia (Chi Cuadrado MV-G2).

Para visualizar el comportamiento conjunto de las variables cuantitativas de captura de nutrientes se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para las zonas NO y SE por separado. El valor de la densidad de copa (DC) utilizada en los análisis correspondió al promedio de lo registrado en época lluviosa en cada una de las especies evaluadas. Todas las variables fueron estandarizadas para el análisis.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación de las características y los rasgos funcionales evaluados nos muestran que existen diferencias significativas entre las especies (Cuadros 9 y 10).

Basados en el promedio del diámetro de la copa (Cuadro 9), el área de interceptación del dosel arbóreo para las especies evaluadas es el siguiente: *Albizia saman* 535 m², *Coccoloba sp.* 207 m², *Crescentia alata* 102 m², *Enterolobium cyclocarpum* 241m², *Guazuma ulmifolia* 156m² y *Tabebuia rosea* 78 m², siendo las especies *Albizia saman* y *Enterolobium cyclocarpum* las que mayor área de copa presentan y por lo tanto mayor área de superficie para la interceptación de la lluvia y la captura de nutrientes, las cuales podrían ser utilizadas en propuestas de mitigación de la erosión hídrica.

Cuadro 9. Descripción cuantitativa de características y rasgos funcionales

	<i>Albizia saman</i>	<i>Coccoloba sp.</i>	<i>Crescentia alata</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
Diámetro de copa	26,10 ± 9,16 c	16,23 ± 2,77 abc	11,38 ± 1,01 a	17,51 ± 2,21 bc	14,10 ± 4,06 ab	9,98 ± 2,72 a
Altura total	15,15 ± 2,73 b	12,80 ± 1,74 b	8,48 ± 1,08 a	16,56 ± 3,76 b	11,68 ± 2,02 ab	12,58 ± 1,27 b
Altura de ramificación	2,80 ± 1,44 bc	0,25 ± 0,50 a	1,34 ± 0,75 ab	2,96 ± 0,31 c	1,83 ± 0,84 abc	9,60 ± 13,60 c
Altura de la rama más baja	1,43 ± 0,75 ab	0,68 ± 0,29 a	1,22 ± 0,31 ab	1,80 ± 0,64 b	1,40 ± 0,37 ab	2,55 ± 1,03 b
DAP	84,11 ± 33,93 bc	159,50 ± 83,67 c	44,42 ± 4,69 a	56,63 ± 5,92 ab	63,78 ± 20,24 abc	41,75 ± 7,13 a
Densidad de copa	84,84 ± 4,08 ab	88,39 ± 3,80 b	70,61 ± 12,69 a	74,98 ± 3,71 a	89,47 ± 1,22 b	83,45 ± 4,29 ab
Área Foliar*	28986,97 ± 531,68 bc	29109,83 ± 6383,26 bc	1657,28 ± 9,53 a	37834,82 ± 5781,96 c	3985,54 ± 226,71 ab	39024,33 ± 1721,37 c
Área foliar específica*	7,48 ± 0,23 ab	7,29 ± 0,47 ab	7,03 ± 0,33 a	8,96 ± 0,40 bc	11,22 ± 0,42 c	6,88 ± 0,16 a
Longitud del peciolo*	5,44 ± 0,40 abc	3,05 ± 0,51 ab	5,87 ± 0,19 bcd	6,20 ± 0,27 cd	1,37 ± 0,07 a	14,26 ± 0,51 d
Fuerza tensil de la hoja*	0,99 ± 0,17 bc	1,16 ± 0,27 bc	0,68 ± 0,10 ab	0,46 ± 0,14 a	0,35 ± 0,01 a	1,22 ± 0,01 c
Grosor de la hoja*	0,05 ± 3,0E-03 b	0,05 ± 1,3E-03 b	0,03 ± 8,9E-04 a	0,04 ± 2,6E-03 ab	0,05 ± 5,0E-04 b	0,03 ± 0,00 a
% pubescencia haz *	0,65 ± 0,00 a	NR	7,10 ± 0,00 bc	1,10 ± 0,00 ab	39,20 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 a
% pubescencia envés *	35,50 ± 0,00 bc	NR	11,70 ± 0,00 ab	11,70 ± 0,00 ab	59,60 ± 0,00 c	0,38 ± 0,00 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)(Medias y D.E). NR= No Registro. Fuente: Datos tomados de la base de datos proyectos SILPAS – FUNCiTree (Olivero 2011), para lo cual se tomaron los valores reportados en los individuos evaluados que concordaron en las

dos investigaciones y el promedio de la especie para los individuos que no concordaron, variando los valores aquí reportados en algunos casos por encima o por debajo del valor reportado por Olivero 2011).

Cuadro 10. Descripción cualitativa de características y rasgos funcionales

<i>Especie</i>	<i>Albizia saman</i>	<i>Coccoloba caracasana</i>	<i>Coccoloba floribunda</i>	<i>Crescentia alata</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
Forma de la copa (a)	Elíptica horizontal	Elíptica horizontal	Elíptica horizontal	Elíptica horizontal	Elíptica horizontal	Elíptica horizontal	Elíptica vertical
Fenología (b)	Deciduo – Perennifolio	Perennifolio	Perennifolio	Deciduo – Semideciduo	Deciduo	Deciduo – Semideciduo	Deciduo – Semideciduo
Textura del haz (c)	Glabra	Lisa y glabra	NR	NR	Puberulentos a glabros	Velutinas a pubescentes, con tricomas estrellados y simples	Lepidoto
Textura del envés (d)	Ligeramente pubescente	Envés puberulento y con nervadura reticulada	Penachos de tricomas axilares	NR	Puberulentos a glabros	Velutinas a pubescentes, con tricomas estrellados y simples	Lepidoto
Tipo de hoja (e)	Compuesta	Simple	Simple	Compuesta	Compuesta	Simple	Compuesta

(a) Estimado según las fotografías tomadas a los individuos evaluados

(b) Comportamiento de los individuos evaluados observado en campo durante el mes de febrero del año 2011

(c), (d), (e) Información tomada de Flora de Nicaragua

Glabro: que no tiene pelo; Puberulento: a penas pubescente (Gálvez 2012); Lepidoto: cubierto de tricomas escumiformes (glosario.net 2012)
NR: No Registro

Objetivo 1. Transferencia del agua lluvia a través de la copa del árbol

De acuerdo a la hipótesis planteada en el presente estudio y según el porcentaje de interceptación de la lluvia (Figura 5) existen diferencias significativas entre especies para el porcentaje de transferencia de la lluvia a través de la copa de los árboles de las especies evaluadas: 63% *Coccoloba sp*, 67% *Guazuma ulmifolia*, 67% *Albizia saman*, 70% *Crescentia alata*, 75% *Tabebuia rosea* y 84% *Enterolobium cyclocarpum*.

La especie *Coccoloba sp* fue la especie que interceptó más cantidad de lluvia y por lo tanto menor % de transferencia de esta debido probablemente a su alto índice de área foliar (LAI) 2,46 reportado por Olivero 2011. Lo cual concuerda con lo planteado por Baugartner y Brüning 1978 citado por Stadtmüller 1994 donde argumenta que la PPT neta en bosques puede ser considerablemente menor que en otras coberturas naturales debido a la interceptación de gran parte de la PPT por el dosel arbóreo asociado a su elevado índice de área foliar (LAI). Por su parte, se hubiera esperado que la especie *Albizia saman* fuera una de las especies que mayor cantidad de agua transfiriera desde la copa del árbol hacia el suelo, debido al movimiento de sus hojas (cierre de hojas en días nublados y días lluviosos, así como en horas de la noche), lo cual favorece el paso de las gotas de lluvia a través de la copa del árbol (Durr 2001).

En el 27% de los casos la cantidad de lluvia transferida bajo la copa de los árboles fue mayor que la lluvia registrada fuera de la copa con un nivel de significancia para las diferencias medias negativas de ($p = 0,0163$) y las diferencias medias positivas de ($p = 0,0001$); lo cual concuerda con lo planteado por (Calabuig *et al.* 1977), quienes argumentan que si bien la PPT bruta normalmente es superior a las demás, en ciertas ocasiones ésta puede llegar a ser sobrepasada por la PPT acumulada en la zona de influencia y a su vez mayor que la proveniente por transferencia directa y goteo.

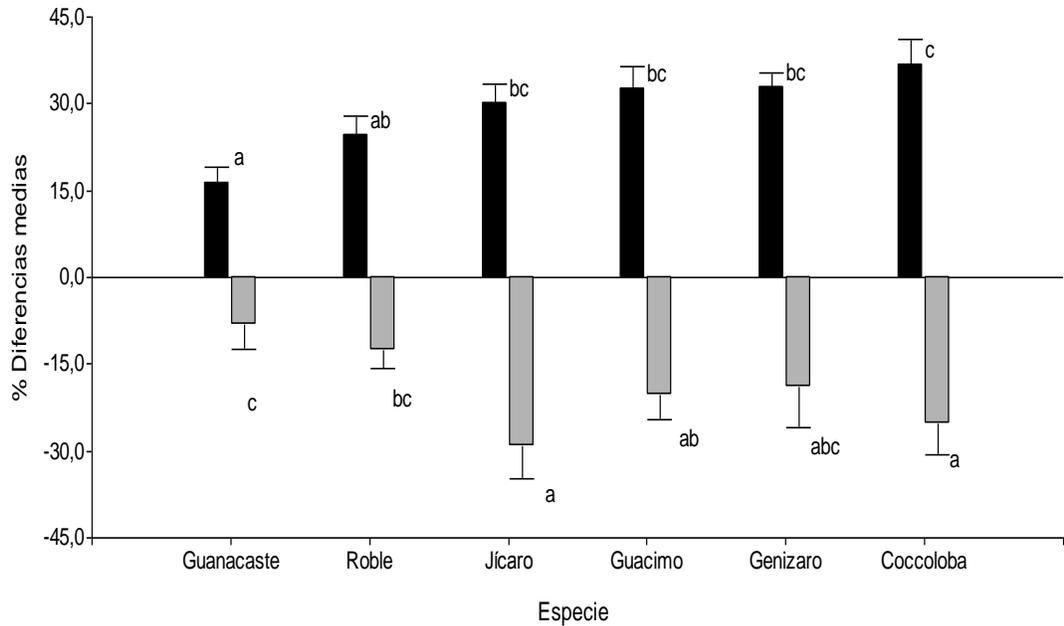


Figura 5. Porcentaje de intercepción de la lluvia (diferencias medias positivas y negativas de la precipitación registrada fuera de la copa menos bajo copa)

Las diferencias medias entre especies y posición de los pluviómetros nos muestran que no existen diferencias significativas entre la cantidad de lluvia recolectada en los pluviómetros ubicados al borde de la copa con respecto a los pluviómetros control (Δ 3-2); pero sí, para los pluviómetros ubicados cerca al fuste del árbol con relación a los pluviómetros ubicados al borde de la copa (Δ 2-1) y a los pluviómetros ubicados cerca al fuste del árbol con relación a los pluviómetros control (Δ 3-1) (Figura 6); lo cual concuerda con la primera hipótesis planteada en este estudio, siendo en los pluviómetros cercanos al fuste donde se recolecto la menor cantidad de agua lluvia. La especie *Coccoloba sp.* es la que mayores diferencias presento entre las posiciones evaluadas.

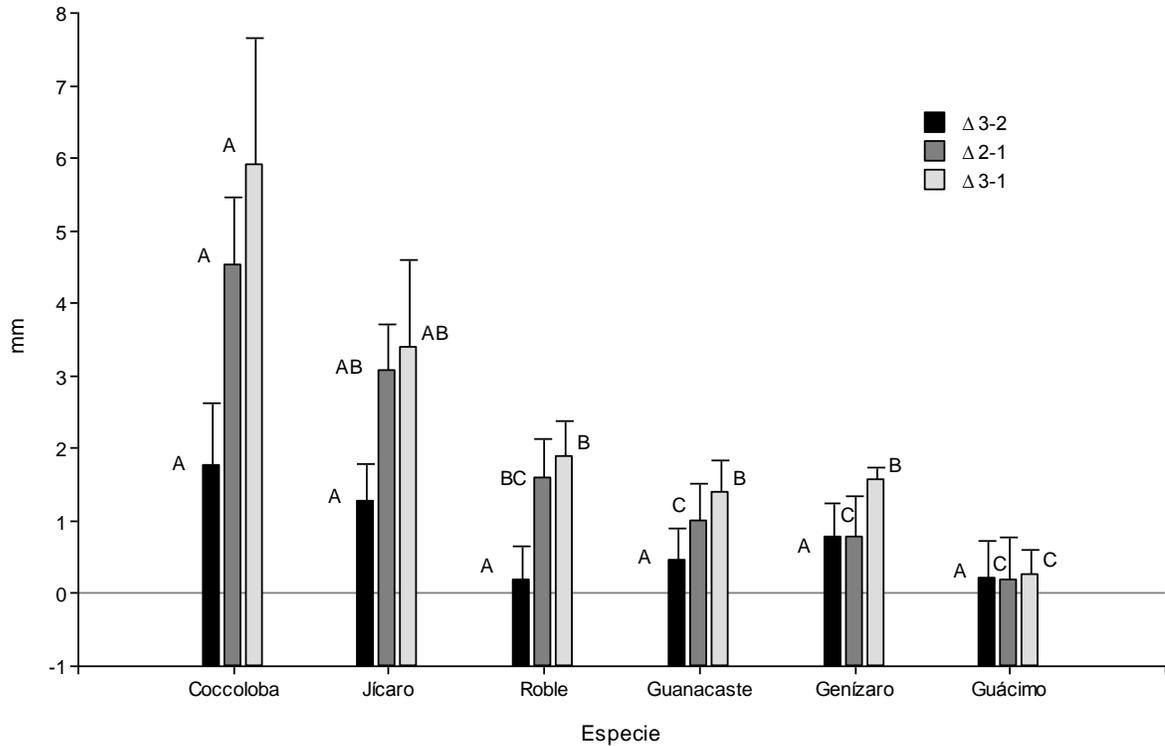


Figura 6. Promedio de las diferencias medias de precipitación (mm) según la especie y la posición de los pluviómetros

Como se mencionó anteriormente debido a que no existían diferencias significativas entre las zonas norte y oeste, sur y este estas fueron agrupadas reportándose según las diferencias medias (Δ 3-2) que la zona NO es la que mayores diferencias medias presenta en cuanto la cantidad de lluvia transferida bajo la copa de los árboles, lo cual puede estar relacionado con la dirección predominante de los vientos durante el periodo de evaluación, los cuales provinieron en el 60% de los casos de la dirección “este” (posición barlovento) (INETER 2011) (Ilustración 1).

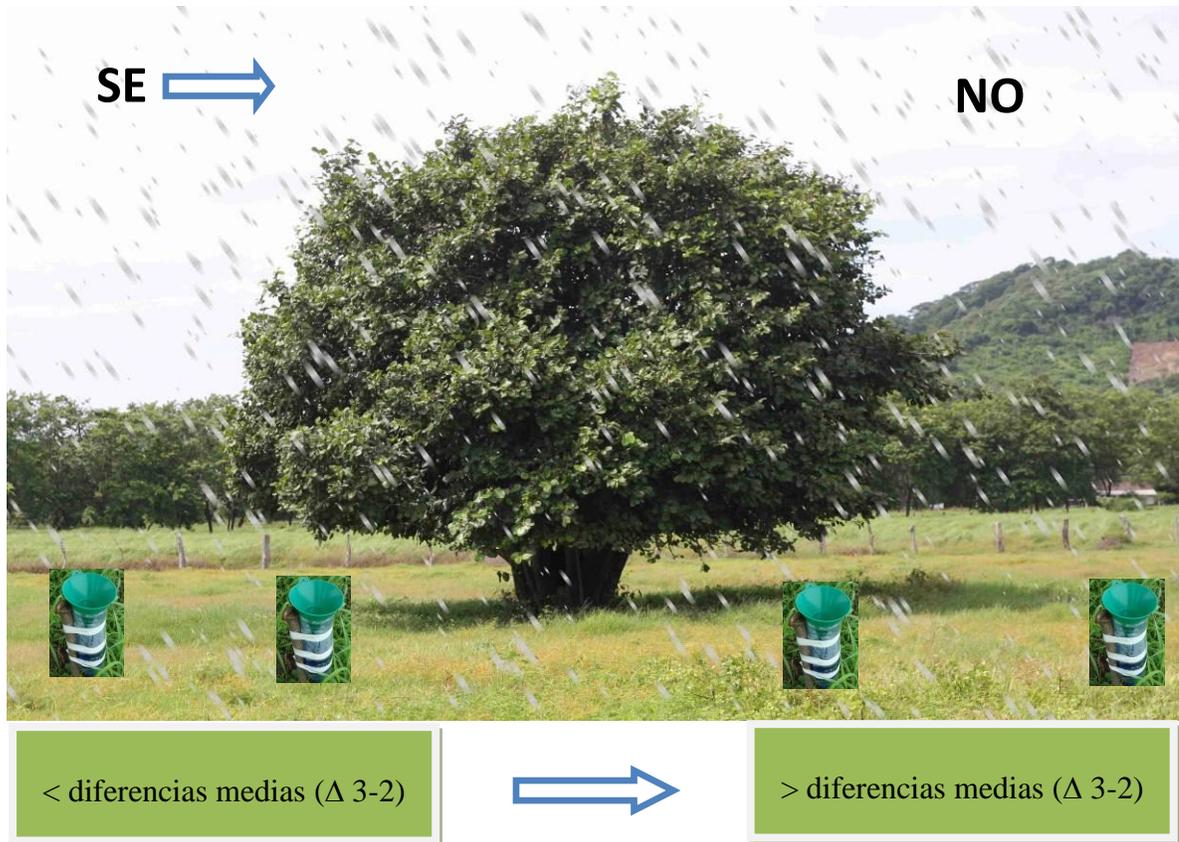


Ilustración 1. Efecto de la dirección del viento en la cantidad de lluvia transferida

Al analizar la diferencia media entre la cantidad de lluvia recolectada en los pluviómetros control (ubicado fuera de la copa del árbol), menos la cantidad de lluvia recolectada en los pluviómetros ubicados al borde de la copa (Δ 3-2), se encontró interacción significativa entre especie y zona (NO y SE) ($p = 0,0207$), al igual que para la diferencia media (Δ 3-1) ($p = 0,0335$); mientras que para la diferencia media (Δ 2-1) no se encontró interacción significativa entre especie y zona (NO y SE) ($p = 0,0987$), ni diferencias entre zonas (NO y SE) ($p = 0,0509$), pero sí entre especies ($p = 0,0003$).

Las zonas NO y SE, presentaron diferencias significativas para las especies *Coccoloba* y *Crescentia alata* (Figura 7), resultado probablemente influenciado por el aparente nivel de compactación de la copa de las especies mencionadas.

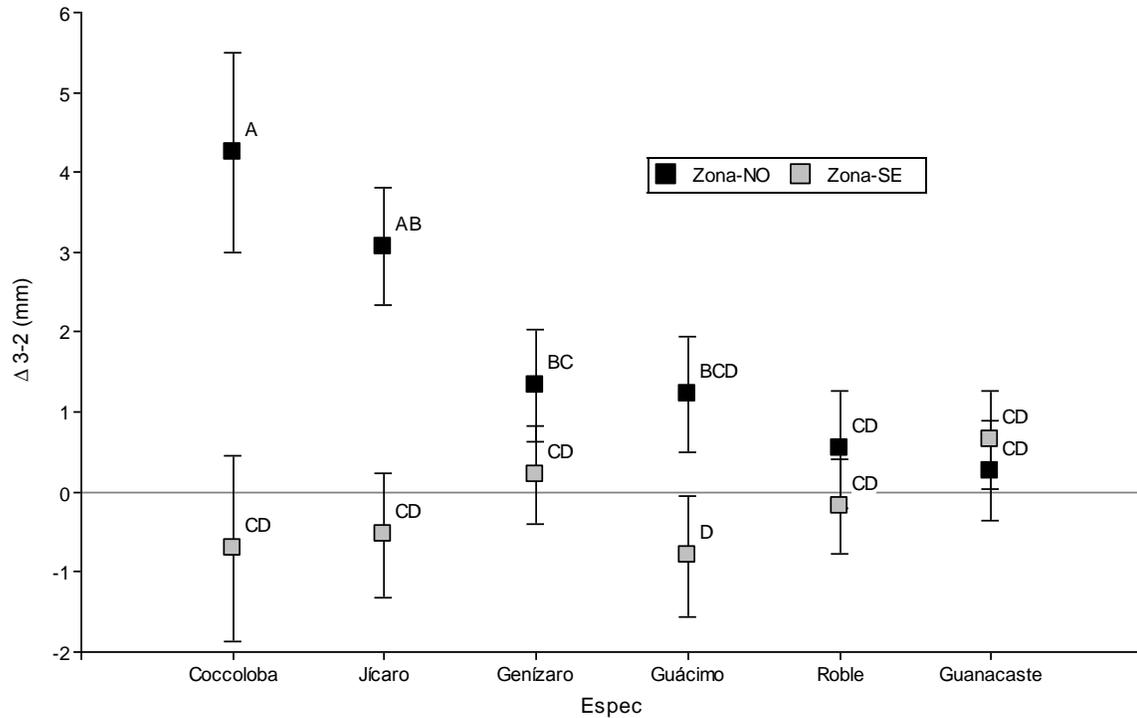


Figura 7. Diferencias medias entre zonas NO – SE con relación a la posición de los pluviómetros control y pluviómetro borde de la copa

Objetivo 2. Contenido de nutrientes

El aspecto de las muestras de agua (turbidez, color y materia en suspensión) fue determinado de manera visual por el personal del laboratorio Físico- químico de aguas naturales del Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA), observándose que las muestras de agua provenientes bajo la copa correspondían a muestras poco turbias a turbias, poco amarillentas a amarillentas y con materia en suspensión; en comparación a las muestras de agua tomadas fuera de la copa, las cuales estuvieron relacionadas con leve turbidez, claras y poca materia en suspensión (Figura 8).

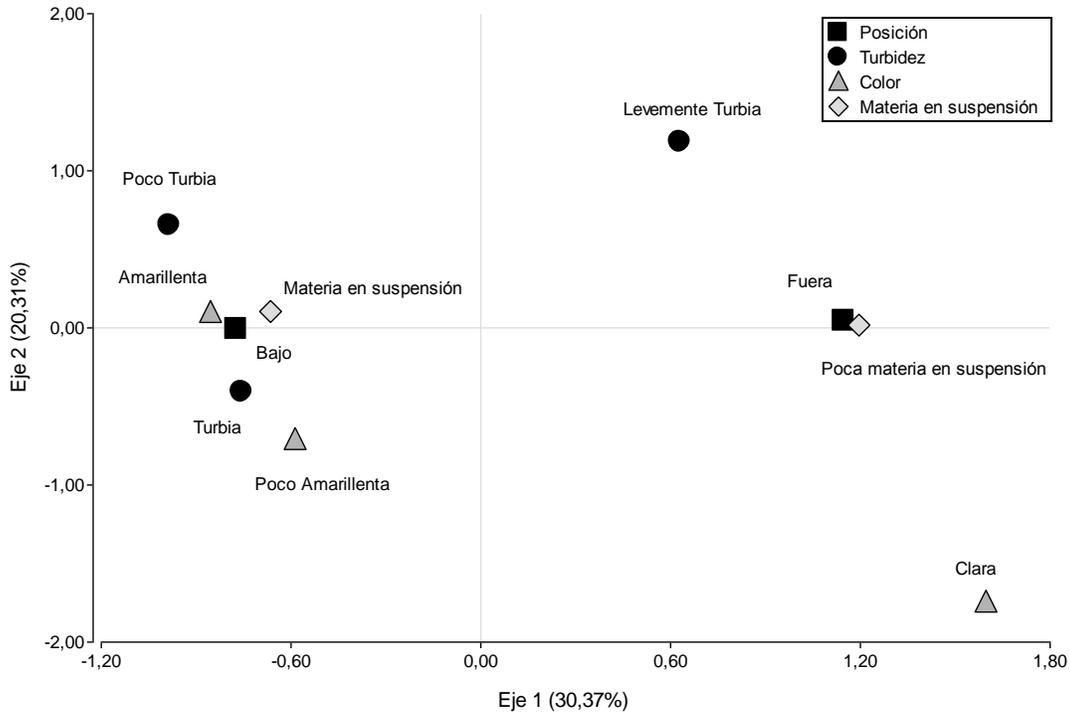


Figura 8. Turbidez, color y materia en suspensión de las muestras de agua bajo y fuera de la copa de los árboles

Según la hipótesis planteada en la presente investigación, la lluvia recolectada que pasa a través de la copa de los árboles presenta mayor cantidad de P total, K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} y menor contenido de NO_2^- , NO_3^- en comparación a la lluvia no interceptada, lo cual concuerda con los resultados aquí obtenidos (Cuadro 11) y lo planteado por Bhat *et al.* (2011) quienes argumentan que los flujos de nitrógeno bajo copa se reducen con relación a la entrada de éste y su paso por parte del dosel arbóreo, debido principalmente a una posible absorción por el dosel arbóreo del nitrógeno (Andrade *et al.* 1995). Resultados que se sustentan en la presente investigación en los resultados obtenidos a partir diferencias medias en el contenido de nutrientes (mg/L) bajo y fuera de la copa de los árboles, los cuales revelan que existió un mayor aporte de estos bajo la copa de los elementos analizados a excepción de los NO_3^- , basados en la prueba T apareada (paramétrica) diferencias significativas para P total ($p = 0.0004$), Ca^{2+} ($p < 0,0001$) y el NO_3^- ($p = 0,0289$) y con la prueba T apareada de Wilcoxon (no paramétrica) para Mg^{2+} ($p < 0,0001$), K^+ ($p < 0,0001$) y NO_2^- ($p = 0,0068$), lo cual permite

afirmar que existe un efecto de los árboles en la captura y traslado de nutrientes hacia el suelo. Existiendo diferencias significativas para P total ($p = 0,0001$), Ca^{2+} ($p < 0,0001$), Mg^{2+} ($p = 0,0002$) y K^+ ($p < 0,0001$) (Cuadro 11 - Cuadro 12 a, b, c, d). Siendo para el caso del P total los valores aquí reportados superiores a los encontrados por Bhat *et al.* (2011) en plantaciones de pino maduro (0,057 mg/L) y humedales (0,034 mg/L) y los bajos valores de fósforo concordantes con lo planteado por (Gallardo *et al.* 2009) quienes argumentan que los aportes de fósforo al suelo por pluvio lavado suelen ser pequeños, siendo el potasio el elemento más soluble en la hoja y por tanto el que se pierde más fácilmente por el lavado de la misma.

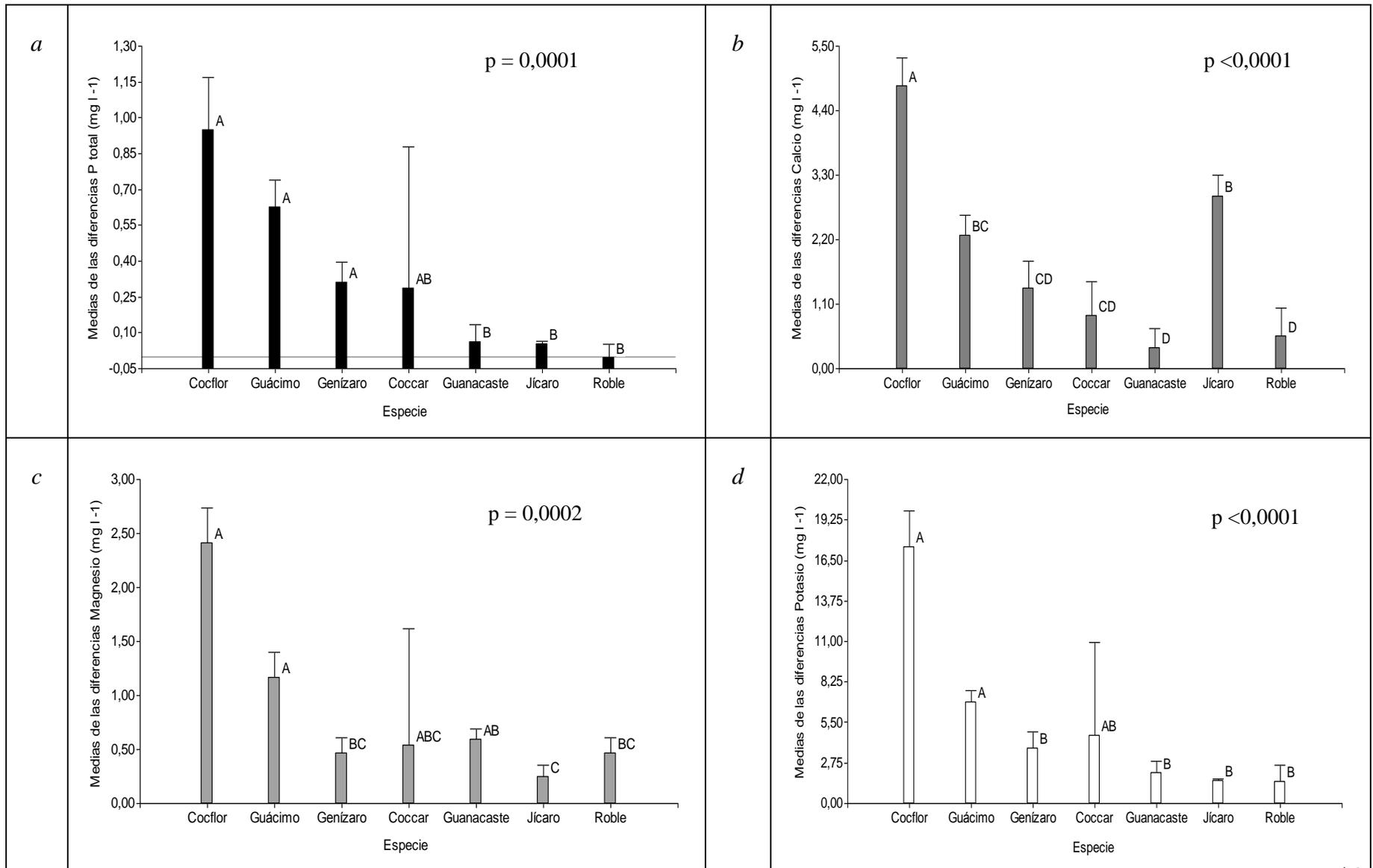
Cuadro 11. Contenido de nutrientes por especies a partir de las medias de las diferencias (bajo – menos fuera de la copa) mg/L

	<i>Albizia saman</i>	<i>Coccoloba caracasana</i>	<i>Coccoloba floribunda</i>	<i>Crescentia alata</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Tabebuia rosea</i>
P total	0,31 ± 0,09 a	0,28 ± 0,59 ab	0,95 ± 0,22 a	0,05 ± 0,01 b	0,06 ± 0,07 b	0,62 ± 0,12 a	-0,01 ± 0,06 b
Ca^{2+}	1,36 ± 0,48 cd	0,90 ± 0,58 cd	4,82 ± 0,48 a	2,94 ± 0,37 b	0,34 ± 0,34 d	2,28 ± 0,34 bc	0,56 ± 0,48 d
Mg^{2+}	0,46 ± 0,15 bc	0,54 ± 1,08 abc	2,41 ± 0,33 a	0,24 ± 0,11 c	0,59 ± 0,10 ab	1,16 ± 0,23 a	0,46 ± 0,15 bc
K^+	3,73 ± 1,12 b	4,61 ± 6,31 ab	17,42 ± 2,45 a	1,50 ± 0,17 b	2,10 ± 0,79 b	6,89 ± 0,79 a	1,49 ± 1,12 b
NO_3^-	-0,80 ± 0,43 a	-0,05 ± 0,75 a	0,25 ± 0,71 a	-0,42 ± 0,40 a	-1,16 ± 0,25 a	-0,02 ± 0,44 a	-0,21 ± 0,57 a
NO_2^-	0,01 ± 0,01 a	-0,08 ± 0,08 a	0,06 ± 0,15 a	0,01 ± 0,01 a	0,06 ± 0,04 a	-4,2E-03 ± 2,8E-03 a	0,02 ± 0,01 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) (Medias y D.E).

El K^+ por su parte fue el elemento que más altos valores presento, lo cual concuerda con lo planteado por (Campo *et al.* 2000; Jaramillo 2005), quienes reportan que las cantidades de K^+ al igual que el Ca^{2+} y el Mg^{2+} aumentan en comparación con lo aportado por el agua lluvia en el agua de lavado foliar después de haberse trasladado a través del dosel.

Cuadro 12. Contenido de nutrientes por especies a partir de las medias de las diferencias (bajo copa menos fuera de la copa)



La correlación entre los nutrientes realizado a partir de los resultados reportados bajo la copa de los árboles muestra que los valores de correlación positivos más altos correspondieron al K^+ con el P total ($r = 0,89$); K^+ con Mg^{2+} ($r = 0,88$); Mg^{2+} con P total ($r = 0,86$) y Ca^{2+} con P total ($r = 0,68$) (Cuadro 13). Por su parte, el P total se encuentra correlacionado de manera positiva con el NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ ; el NO_3^- con el Mg^{2+} ; el Ca^{2+} con el Mg^{2+} y el K^+ y el Mg^{2+} con K^+ . El NO_2^- no se encuentra correlacionado con ningún elemento.

Cuadro 13. Correlación entre los elementos bajo la copa de los árboles (bajo la diagonal) y sus correspondientes valores de probabilidad (por arriba de la diagonal)

	<i>P total</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>NO₂⁻</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>K⁺</i>
P total		0,05	0,07	0,00	<0,00	<0,00
<i>NO₃⁻</i>	0,36		0,60	0,13	0,04	0,05
<i>NO₂⁻</i>	0,33	-0,10		0,11	0,12	0,20
Ca²⁺	0,68	0,27	0,29		0,00	0,00
Mg²⁺	0,86	0,37	0,28	0,68		<0,00
K⁺	0,89	0,35	0,23	0,68	0,88	

Objetivo 3. Establecer la relación entre las características y los rasgos funcionales con los procesos de transferencia de la lluvia y la captura de nutrientes

Transferencia de la lluvia

El área foliar (AF) es el rasgo funcional de la copa que mayor correlación presenta para la variable cantidad de lluvia transferida diferencias medias (Δ 3-2), (Δ 3-1) con valores de r negativos y diferencias medias (Δ 2-1) con valor de r positivo (Cuadro 14), lo cual significa que para las diferencias medias (Δ 3-2) y (Δ 3-1) al aumentar el área foliar (AF) disminuye la diferencia media entre dichas posiciones transfiriéndose mayor cantidad de agua lluvia bajo la copa de los árboles; lo cual puede explicar el resultado obtenido para las especies *Enterolobium cyclocarpum* y *Tabebuia rosea* las cuales presentan la mayor área foliar (AF)

(Cuadro 9), así como el mayor porcentaje de lluvia transferida bajo la copa de los árboles 84 y 75% respectivamente.

La especie *Coccoloba sp.* fue la especie que menor cantidad de lluvia transfirió siendo su área foliar (AF) estadísticamente igual al de las especies anteriormente mencionadas, lo cual podría indicar que si bien, el área foliar (AF) es un rasgo determinante en el proceso de transferencia de la lluvia existen otros rasgos funcionales o características de la planta que influyen directamente en dicho proceso; lo cual puede relacionarse con lo reportado por Cháidez *et al.* (2008) quienes argumentan que los altos valores de interceptación de la lluvia se encuentran asociados a variables como el número de fustes, la poca inclinación de las ramas y probablemente a una mayor área foliar (AF) mientras los valores bajos de interceptación se encuentran asociados a hojas más pequeñas, corteza alisada y ramas inclinadas hacia el cenit.

Cuadro 14. Correlaciones entre características de la planta y rasgos funcionales asociados al proceso de transferencia del agua lluvia

<i>Posición / Característica o rasgo</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
(Δ 3-2)		
Altura de ramificación	-0,17	0,0096
Área foliar	-0,15	0,0178
Altura de la rama más baja	-0,13	0,0451
(Δ 3-1)		
Área foliar específica	-0,19	0,0025
Área foliar	-0,17	0,0084
(Δ 2-1)		
Área foliar	0,10	0,0884

Nivel de significancia $p= 0.10$. Valores de r negativos indican que al aumentar el valor de la variable (característica o rasgo), disminuye la cantidad de lluvia transferida bajo la copa de los árboles.

Las características de las plantas según los resultados del análisis de componentes principales (ACP) explican el 81,4 y 76,5% de la variabilidad total en las observaciones para las zonas NO y SE respectivamente. Las diferencias medias (Δ 2-1) zona NO presentan una relación negativa con la altura total del árbol (AT) (Figura 9), lo cual quiere decir que al aumentar la altura total del árbol (AT) disminuye la diferencia media entre dichas posiciones, mientras las diferencias medias (Δ 3-1), (Δ 3-2) y (Δ 2-1) zona SE presentan una relación positiva con dicha variable además del promedio de diámetro de la copa (DiC) y el DAP (Figura 10).

Las rasgos funcionales de las plantas según los resultados del análisis de componentes principales (ACP) explican el 81,1 y 82,2% de la variabilidad total en las observaciones para las zonas NO y SE respectivamente. Las diferencias medias (Δ 3-1), (Δ 3-2) y (Δ 2-1) zonas NO y SE se encuentran relacionados de manera positiva con los rasgos funcionales fuerza tensil de la hoja (FTH), longitud del peciolo (LP) y área foliar (AF) (Figuras 13 y 14) y la diferencia media (Δ 2-1) zona NO y SE de manera negativa con la densidad de la copa (Figura 11 y 12).

Las diferencias medias positivas con los rasgos funcionales fuerza tensil de la hoja (FTH) y longitud del peciolo (LP) pueden relacionarse con lo planteado por Ortiz 2006, quien argumenta que las gotas de lluvia que entran en contacto con la copa continúan su trayectoria hacia el suelo, arrastrando otras gotas de lluvia especialmente si impactan contra estructuras poco rígidas como hojas y tallos finos.

Figura 9. Análisis de componentes principales zona NO características relacionadas con la transferencia del agua a través de la copa de los árboles

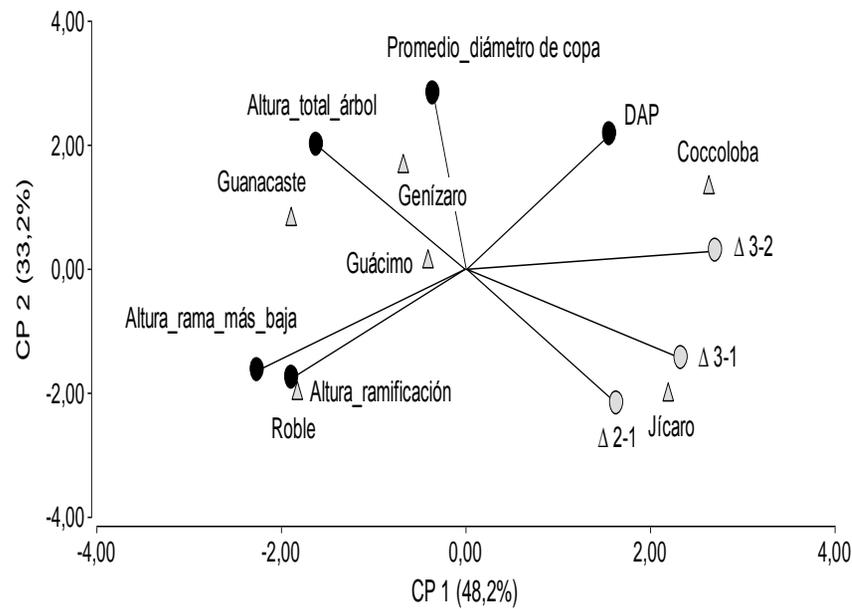


Figura 10. Análisis de componentes principales zona SE características relacionadas con la transferencia del agua a través de la copa de los árboles

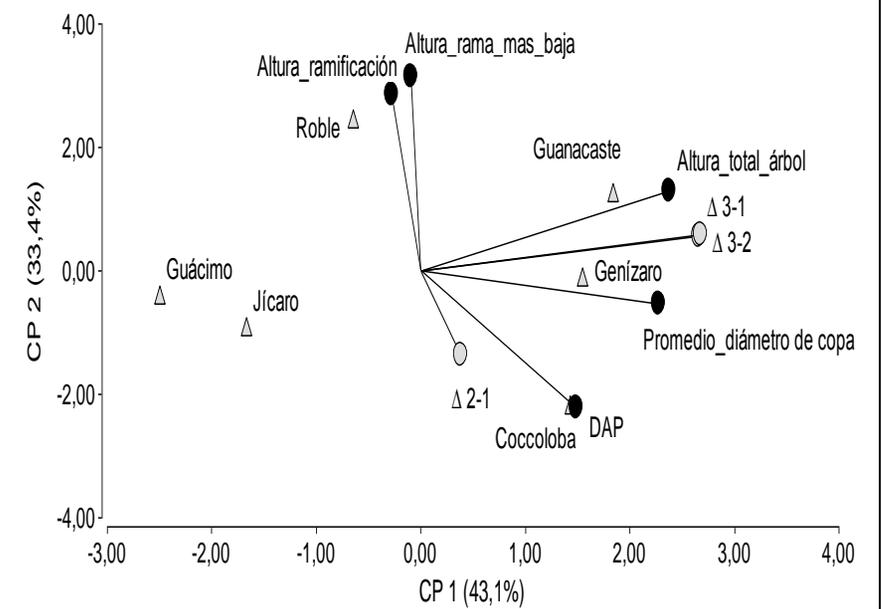


Figura 11. Análisis de componentes principales zona NO rasgos funcionales relacionados con la transferencia del agua a través de la copa de los árboles

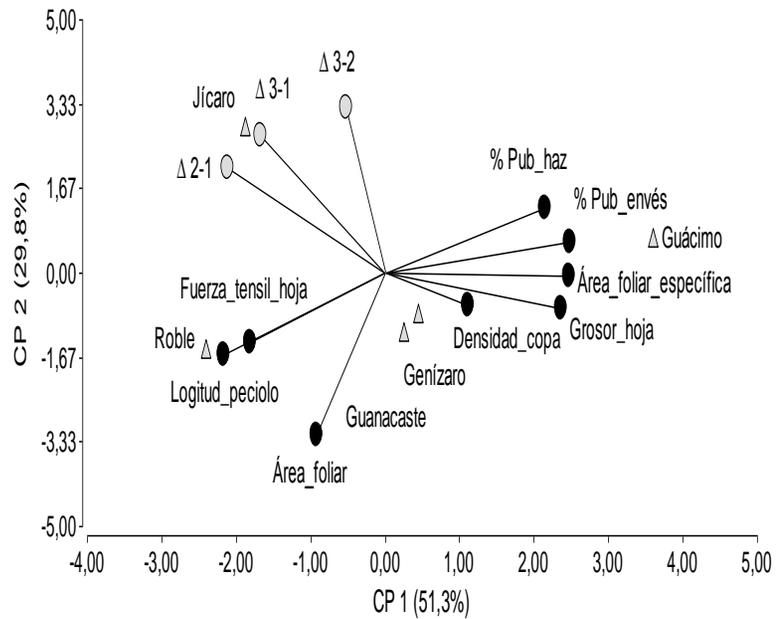
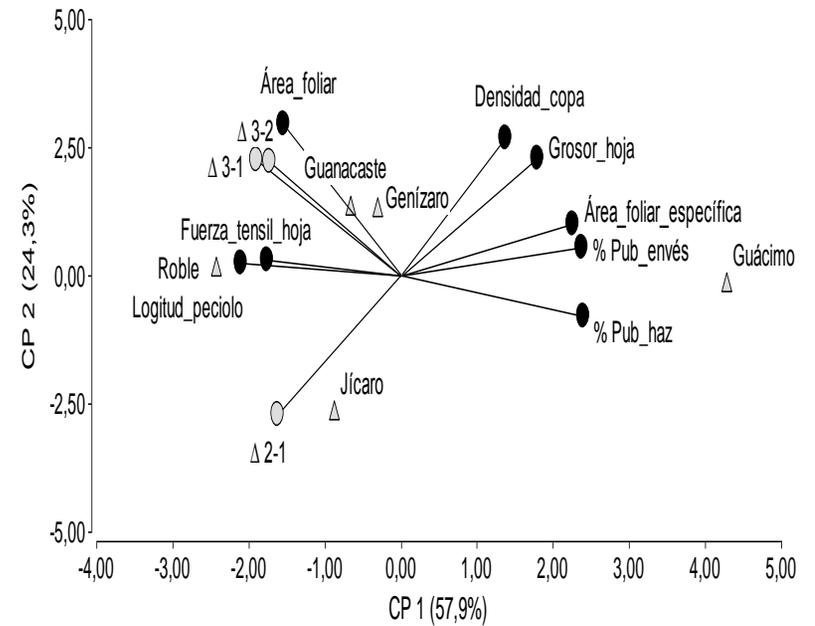


Figura 12. Análisis de componentes principales zona SE rasgos funcionales relacionadas con la transferencia del agua a través de la copa de los árboles



Según los resultados obtenidos en las tablas de contingencia existe asociación significativa entre los rasgos de tipo categórico y las diferencias medias (Δ 3-2) y (Δ 2-1) con la variable categórica textura haz de la hoja y las diferencias medias (Δ 3-1) con las variables forma de la copa (FC), textura haz y textura envés de la hoja (Cuadro 15).

Cuadro 15. Variables categóricas asociadas a la transferencia de la lluvia

<i>Variables categóricas</i>	(Δ 3-2) <i>p</i>	(Δ 3-1) <i>p</i>	(Δ 2-1) <i>p</i>
<i>Forma de la copa</i>	0,1288	0,0083	0,3450
<ul style="list-style-type: none"> • Elíptica horizontal • Elíptica vertical 			
<i>Textura haz de la hoja</i>	0,0611	0,0007	0,0852
<ul style="list-style-type: none"> • Lisa y glabra • Glabra • Velutinas a pubescentes • Puberulentos a glabros • Lepidoto 			
<i>Textura envés de la hoja</i>	0,0481	0,0015	0,0286
<ul style="list-style-type: none"> • Penachos de tricomas axilares • Puberulento y con nervadura reticulada • Ligeramente pubescentes • Velutinas a pubescentes, con tricomas estrellados y simples • Puberulentos a glabros • Lepidoto 			
<i>Tipo de hoja</i>	0,3513	0,2514	0,0508
<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Compuesta 			

Captura de nutrientes

Las características y rasgos funcionales de los individuos evaluados según el análisis de componentes principales (ACP) explican el 71,5 y el 85% respectivamente de la variabilidad total en las observaciones con una relación positiva para las diferencias medias Δ Calcio, Δ Fósforo, Δ Potasio y Δ Magnesio con las características altura de la rama más baja

(ARB) y la altura de ramificación (AR) (Figura 13), no obstante Bhat *et al.* (2011) reportan que las tasas de deposición probablemente son influenciadas por la altura del árbol y el radio de la copa.

Por su parte, existe una relación positiva con los rasgos funcionales fuerza tensil de la hoja (FTH), longitud del peciolo (LP) y área foliar (AF) (Figura 14), lo cual significa que el aumentar el valor de dichas variables aumenta la diferencia media en el contenido de nutrientes (bajo copa menos fuera de la copa). Según Beckett (1998) citado por Rivera y Guarín (2009) la turbulencia es el factor que permite la descarga de material particulado sobre el follaje, lo cual podría explicar la relación positiva entre los rasgos fuerza tensil de la hoja (FTH) y longitud del peciolo (LP) con las diferencias medias positivas reportadas para el contenido de nutrientes bajo la copa de los árboles. Igualmente, según lo planteado por (Rivera y Guarín 2009) las especies con mayor área foliar (AF) interceptan mayor cantidad de partículas suspendidas totales (PST), observándose para el caso de la presente investigación, que los mayores valores reportados para contenido de nutrientes fueron obtenidos por las especies *Coccoloba caracasana* y *Coccoloba floribunda*, especies que presentan los mayores valores de área foliar (AF) después de las especies *Enterolobium cyclocarpum* y *Tabebuia rosea* con quienes son estadísticamente similares, valores que para el caso de las especies *Coccoloba caracasana* y *Coccoloba floribunda* puede estar determinada por el comportamiento perennifolio, lo cual favoreció la tasa de deposición de nutrientes en la copa del árbol durante el periodo de seco comprendido entre los meses de noviembre a abril del 2010 al 2011.

Figura 13. Análisis de componentes principales sobre las diferencias medias relación características y contenido de nutrientes

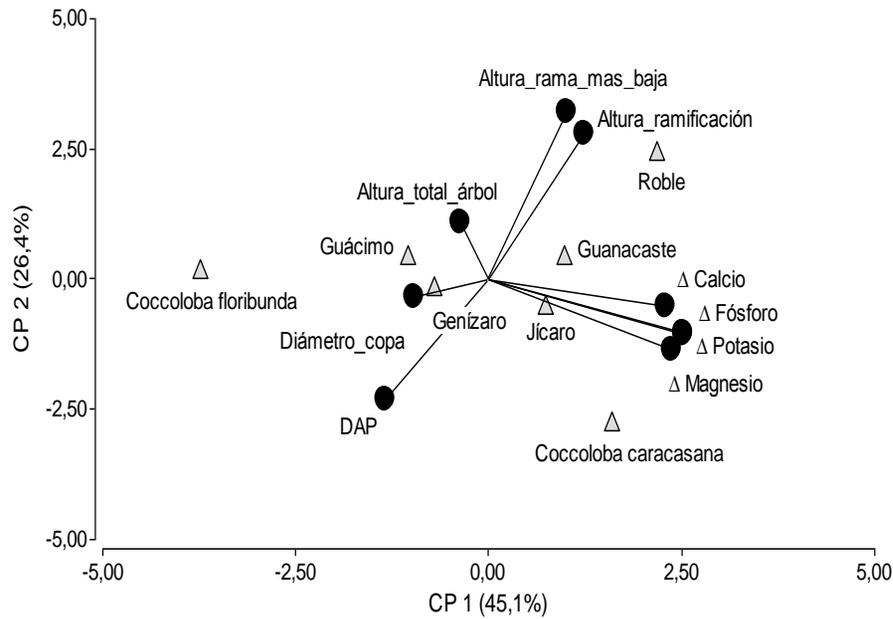
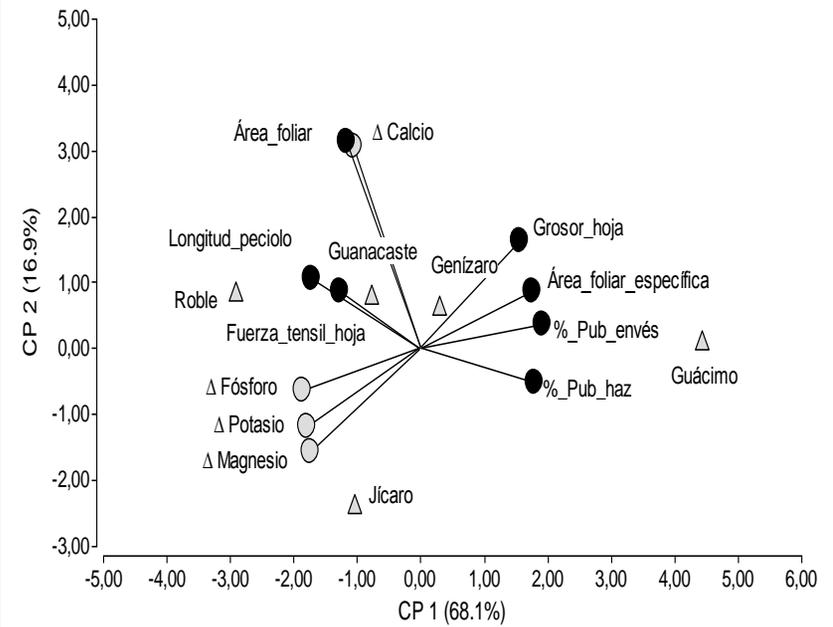


Figura 14. Análisis de componentes principales sobre las diferencias medias relación rasgos funcionales y contenido de nutrientes



Según los resultados obtenidos en las tablas de contingencia no existe asociación significativa entre los rasgos de tipo categórico y las diferencias medias obtenidas para los elementos P total, Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ (Cuadro 16).

Cuadro 16. Variables categóricas asociadas a la captura de nutrientes

<i>Variables categóricas</i>	<i>P total</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>K⁺</i>
<i>Forma de la copa</i>	0,2399	0,3162	0,4199	0,3162
<ul style="list-style-type: none"> • Elíptica horizontal • Elíptica vertical 				
<i>Textura haz de la hoja</i>	0,2377	0,0985	0,1254	0,2827
<ul style="list-style-type: none"> • Lisa y glabra • Glabra • Velutinas a pubescentes • Puberulentos a glabros • Lepidoto 				
<i>Textura envés de la hoja</i>	0,2386	0,1211	0,1872	0,3121
<ul style="list-style-type: none"> • Penachos de tricomas axilares • Puberulento y con nervadura reticulada • Ligeramente pubescentes • Velutinas a pubescentes, con tricomas estrellados y simples • Puberulentos a glabros • Lepidoto 				
<i>Tipo de hoja</i>	0,9507	0,6853	0,3951	0,6853
<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Compuesta 				

5 ANÁLISIS DE LAS IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS DE LA TESIS PARA EL DESARROLLO DESDE UNA PERSPECTIVA INTEGRAL Y MULTIDISCIPLINARIA

Dos grandes problemas medioambientales en regiones áridas y semiáridas son la escasez de agua y la degradación y erosión de los suelos; siendo consecuencia en algunos casos uno del otro, lo cual genera el abandono de las tierras (Belmonte y Romero 1998). “La variabilidad del clima actual, incluyendo los eventos climáticos extremos como las sequías y las inundaciones, ocasionan grandes pérdidas y daños que afectan el desarrollo. Por ello, los esfuerzos orientados hacia la adaptación a estos eventos, podrían ayudar a reducir los daños a corto y mediano plazo, independientemente de cualquier cambio que pueda sufrir el clima a largo plazo” (CRID sf).

Se deben analizar y generar estrategias de adaptación al cambio climático de los sistemas productivos, considerando tanto los efectos positivos como negativos de dichas propuestas. Por ejemplo, para el sistema productivo ganadero, una alta interceptación de la lluvia por parte de la cobertura arbórea a la salida de la época seca puede enlentecer el crecimiento de los pastos, aunque su papel como proveedores de sombra, alimento para el ganado y madera juega un papel importante en este tipo de explotaciones agropecuarias y en la reducción de los procesos erosivos del suelo ocasionados por efectos hídricos y eólicos.

Teniendo en cuenta los resultados aquí obtenidos, podemos plantear que existen beneficios adicionales de los árboles no potencializados o considerados de manera visible hasta el momento relacionados con su capacidad de captar y posteriormente transferir por acción de la lluvia hacia el suelo elementos como P, K⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺ para el crecimiento de la plantas. Al igual que diferencias significativas en cuanto al porcentaje de lluvia transferencia de la lluvia bajo la copa del árbol. El conocimiento de estos factores y su relación con los rasgos funcionales de las plantas podría ser aplicado en planes de manejo y diseño de sistemas productivos, propuestas de manejo del componente arbóreo que puedan evitar el exceso de lavado de nutrientes en suelo al igual que la pérdida de este, así como ser considerado en

temáticas relacionadas con el manejo de cuencas hidrográficas y aplicado para la generación, continuación o complemento de otros procesos investigativos.

Utilizando igualmente los árboles como indicadores de la calidad ambiental urbana, debido a su capacidad de retención de material particulado sedimentable (MPS) y por tanto a su contribución para la mitigación de la contaminación ambiental, trayendo beneficios tanto a la salud pública como al gasto de la mitigación ocasionada por dicha contaminación (Alcalá *et al.* 2008); y beneficio social, al incluir una mayor satisfacción laboral, terapia, recreación, valor estético, aumento en el valor de las propiedades y beneficios ambientales (componente importante del hábitat de muchas especies de la vida silvestre) (Kane y Kirwan 2005).

Los sistemas agroforestales mixtos también resultan prometedores, ya que retienen por un lado el carbono y ofrecen también beneficios adicionales, como la sombra que reduce la temperatura en el suelo y la evaporación, mayor protección frente al viento y una mejor conservación del suelo y retención del agua (FAO 2011) y considerando que el suelo y la vegetación constituyen interacciones importantes en el ciclo hidrológico, el manejo de recursos naturales así como el desarrollo de las actividades silvo-agropecuarias debe considerar la función económica, social y ambiental del agua (Faustino 1997).

Finalmente, investigaciones de interceptación/transferencia de la lluvia pueden ser aplicables en varios sistemas de producción siendo muy importante para regiones con periodos de deficiencia prolongados de lluvia o con bajas cantidades de lluvia anual. Poveda *et al.* 2001, 2002 citado por Jaramillo 2005, plantean que con condiciones de alta precipitación durante el año el sistema productivo no tendría limitación en cuanto a la disponibilidad de agua; no obstante, las densidades de siembra del sombrío y del cultivo deben ser tenidas en cuenta en regiones con períodos de deficiencia prolongados (3 - 4 meses) o con bajas cantidades de lluvia anual, debido a que el cultivo dispondría de una baja proporción de lluvia neta, especialmente durante los años de incidencia de El Niño.

6 ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LOS RESULTADOS PARA LA FORMACIÓN DE POLÍTICAS

El potencial de la presente investigación en términos de la generación de políticas se encuentra relacionada con la prestación de Servicios Ecosistémicos (SE), siendo esto sustentado en otros estudios entre ellos el ejecutado por Belmote y Romero 1998, quienes argumentan que las estrategias de futuro en la restitución de la cubierta vegetal de áreas degradadas, tienen que pasar por la utilización de especies que ofrezcan el máximo grado de protección del suelo y unas mínimas pérdidas por interceptación de la lluvia; ya que el impacto de las gotas de lluvia y los flujos de superficie que se producen cuando la intensidad de la precipitación es mayor que la velocidad de infiltración de los suelos, constituyen unos de los principales agentes erosivos” (López y Albaladejo 1990 citado por Belmonte y Romero 1998). Igualmente, la temática considerada en la presente investigación, relacionada con el efecto que tienen los árboles en la interceptación de la lluvia, permitiría servir como un elemento a considerar en programas y políticas de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH); entre ellos, el efecto de las coberturas vegetales sobre la recarga de acuíferos.

7 CONCLUSIONES

El experimento en campo permitió visualizar la importancia del agua para el sistema productivo ganadero principalmente durante la época seca y el valor de los árboles como proveedores de bienes y servicios ecosistémicos asociados al ciclo hidrológico y biogeoquímico a través de la transferencia de la lluvia hacia el suelo y la captura de nutrientes por parte de la copa de los árboles.

La especies a utilizar, cantidad y distribución de éstas en un sistema productivo dependerá del servicio ecosistémico a potencializar (protección del suelo contra la erosión, regulación y almacenamiento del agua en el suelo, protección de fuentes hídricas o captura de nutrientes por parte del dosel arbóreo).

Los nutrientes depositados en la copa de los árboles constituyen un aporte adicional al sistema productivo para el crecimiento de la plantas al inicio de la temporada lluviosa; existiendo un efecto positivo del árbol para la captura y transferencia de P, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ desde la copa de los árboles hacia el suelo.

La especie que presentó mayor porcentaje de transferencia de agua bajo la copa de los árboles correspondió a la especie *Enterolobium cyclocarpum* con un porcentaje de transferencia de la lluvia del 84% y la especie *Coccoloba floribunda* la de los mayores valores de nutrientes en mg/L.

Las diferencias medias entre la cantidad de lluvia transferida a través de la copa de los árboles se encuentra relacionado con las direcciones NO y SE, así como la posición bajo la copa (parte media o borde de la copa). De las cuales las diferencias medias en transferencia de la lluvia hacia el suelo zona NO se encuentran asociados de manera negativa con la altura total del árbol (AT) y la zona SE de manera positiva además de la altura total del árbol (AT), con el diámetro de la copa (DiC) y el DAP, siendo las especies con menor densidad de copa las que transfieren mayor cantidad de lluvia hacia el suelo.

El rasgo funcional de la copa que mayor correlación presento para la variable transferencia de la lluvia (diferencia media fuera y bajo la copa), correspondió al área foliar (AF); siendo la especie *Coccoloba sp.* la que mayores diferencias presentó.

Los rasgos funcionales que se encuentran asociados de manera positiva con la captura de nutrientes corresponden a la fuerza tensil de la hoja (FTH), la longitud del peciolo (LP) y área foliar (AF), rasgos funcionales de los cuales se hacen referencia en otras publicaciones.

Según los resultados obtenidos en la presente investigación, rasgos funcionales como la textura de la hoja no se encuentran asociados con el servicio ecosistémico de captura de nutrientes.

8 RECOMENDACIONES

La selección de los árboles a evaluar en una investigación debe ser acorde con las características generales de la especie, ya que características como la arquitectura de los árboles pueden afectar tanto los flujos hidrológicos como los flujos de nutrientes, siendo la ramificación un rasgo plástico que puede variar dentro de una especie dependiendo de factores como el acceso a la luz, estrés hídrico y tipo de manejo.

La edad de los árboles, su etapa de desarrollo, fenología, prácticas de podas de ramas principales o ramas secundarias, presencia de plantas epífitas, pueden afectar el porcentaje de interceptación de la lluvia y por ende el porcentaje de transferencia de esta hacia el suelo; por lo cual es importante considerar y evaluar el efecto o impacto de dichas etapas y prácticas de manejo además del periodo en que estas se realizan (periodo seco o lluvioso) sobre el porcentaje de transferencia de la lluvia hacia el suelo y la captura de nutrientes y su impacto sobre para las especies arbustivas o herbáceas ubicadas en estratos inferiores.

Es importante para la evaluación del porcentaje de interceptación de la lluvia tener presente la tasa de almacenamiento de la copa, la rugosidad de la corteza, la inclinación de las ramas o ángulo de ramificaciones y la intensidad de la PPT, con el fin de incluir otras variables que permitan explicar dicho proceso.

Para los análisis de laboratorio es indispensable seleccionar el laboratorio de acuerdo a su experiencia en los análisis a realizar, los equipos, insumos y capital humano capacitado; además de realizar una calibración previa de este, así como de los protocolos a utilizar; conociendo los requerimientos para la entrega de muestras y los métodos adecuados para la conservación de estas.

En lo posible tomar mayores repeticiones de los requeridos en el estudio, con el fin de contar con un mayor número de observaciones en campo, ya que bajo condiciones no controladas las repeticiones pueden verse afectadas por factores como robo de material, cambio en el uso del suelo, poda de árboles, venta de terrenos, entre otros.

Las muestras de agua deben ser analizadas lo antes posible después de su recolección y en caso de no ser así deben ser almacenadas teniendo en cuenta los protocolos establecidos para su conservación entre ellas reducción del pH y tiempo máximo de congelación.

Para el diseño de sistemas agroforestales es importante considerar el efecto que tienen los árboles en los procesos de interceptación de la lluvia, transferencia del agua hacia el suelo y la captura de nutrientes por parte de la copa de los árboles sobre plantas ubicadas en un estrato inferior (árboles, arbustos o herbáceas).

Evaluar la disponibilidad del agua dentro de los sistemas productivos y su distribución en diferentes paisajes agrícolas considerando la topografía de estos, así como el efecto de diferentes tipos de poda en la arquitectura de las plantas.

Relacionar el impacto que tienen los diferentes tipos y rasgos funcionales de la copa con los procesos erosivos del suelo.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá, J; Sosa, M; Moreno, M; Quintana, C; Campos, A; Holguin, C. 2008. Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras en la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina* 17(1):17-28.
- Alcamo, J; Ash, JN; Butler, CD; Callicott, JB; Capistrano, D; Carpenter, RS; Castilla, JC; Chambers, R; Chopra, K; Cropper, A; Daily, CG; Dasgupta, P; Groot, Rd; Dietz, T; Duraiappah, AK; Gadgil, M; Hamilton, K; Hassan, R; Lambin, EF; Lebel, L; Leemans, R; Jiyuan, L; Malingreau, J-P; May, RM; McCalla, AF; McMichael, TAJ; Moldan, B; Mooney, H; Naeem, S; Nelson, GC; Wen-Yuan, N; Noble, I; Zhiyun, O; Pagiola, S; Pauly, D; Percy, S; Pingali, P; Prescott-Allen, R; Reid, WV; Ricketts, TH; Samper, C; Scholes, RB; Simons, H; Toth, FL; Turpie, JK; Watson, RT; Wilbanks, TJ; Williams, M; Wood, S; Shidong, Z; Zurek, MB. 2003. *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación*.31.
- Andrade, GC; Da Silva, HD; Ferreira, CA; Bellote, AFJ; Moro, L. 1995. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque* 16(1):47-51.
- Bellot, J; Escarre, A. 1989. Contribución del quimismo del agua de lluvia, de la deposición seca y la lixiviación, sobre la química de los flujos de trascolación y escorrentia cortical en el encinar mediterráneo. *Options Méditerranéennes - Série Séminaires N° 3* 211-214.
- Belmonte, F; Romero, A. 1998. La cubierta vegetal en las regiones áridas y semiáridas: consecuencias de la interceptación de la lluvia en la protección del suelo y los recursos hídricos. *Norba. Revista de Geografía* (10):9-22.
- Bhat, S; Jacobs, JM; Bryant, ML. 2011. The Chemical Composition of Rainfall and Throughfall in Five Forest Communities: A Case Study in Fort Benning, Georgia. *Water, Air, & Soil Pollution*:1-10.
- Calabuig, E; Camallo, G; Gómez Gutiérrez, J. 1977. Influencia de la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) en la distribución del agua de lluvia.
- Calvo, PM; Silva, PFJ; Rozados, L, M.J.; Díaz, B, M.; Rodríguez, D, P.; Duo, S, I. 2005. El índice de área foliar (LAI) en masas de abedul (*Betula celtibérica* Rothm. et Vasc.) en Galicia. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* (20):111-116.
- Campo, J; Maass, JM; Jaramillo, VJ; Yrizar, AM. 2000. Calcium, potassium, and magnesium cycling in a Mexican tropical dry forest ecosystem. *Biogeochemistry* 49(1):21-36.

- Cornelissen, J. H. C; Lavorel S; Garnier E; Díaz S; Buchmann N; Gurvich D.E;Reich P.B; ter Steege H;Morgan H.D; A van der Heijden M.G.A; Pausas J. G; Poorter H. 2003. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of botany* (51): 335 – 380.
- Cordero J; Mesén F; Montero M; Stewart J; Boshier D; Chamberlain J; Pennington T; Hands M; Hughes C; Detlefsen G. 2003. *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Capítulo 10: Descripciones de especies de árboles nativos de América Central. 1079 p.
- Crockford, R; Richardson, D. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes* 14(16 17):2903-2920.
- CRID (Centro Regional de Información sobre Desastres) sf. Capítulo IV. Estrategias y medidas de adaptación ante el cambio climático. Síntesis regional fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba. Consultado el 10 ene. 2012. Disponible en: http://www.crid.or.cr/cd/CD_Cambio/pdf/spa/doc17307/doc17307-d.pdf
- Cháidez, JN; González, JM; Rodríguez, HG. 2008. Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. *Terra Latinoamericana* 26(1):62.
- Chapin, FS; Matson, PA; Mooney, HA. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. 423 p.
- Dalmasso, A; Candia, R; Llera, J. 1997. La vegetación como indicadora de la contaminación del polvo atmosférico. *Multequina* 6:91-97.
- Díaz, JL; Miranda, J. 1997. Tasas de deposición de polvo atmosférico en un área semiárida del entorno mediterráneo occidental. *Estudios Geológicos* 53(5-6):211-220.
- Díaz, S; Di Rienzo, JA; Pla, L; Casanoves, F. 2011. Validación y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. 1 ed. - Turrialba, CR: CATIE, 2011. 84 p.
- Durr, P. 2001. The biology, ecology and agroforestry potential of the raintree, *Samanea saman* (Jacq.) Merr. *Agroforestry systems* 51(3):223-237.
- Eaton, JS; Likens, GE; Bormann, FH. 1973. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. *The Journal of Ecology*:495-508.
- FAO. 1991. *Silvicultura y seguridad alimentaria*. Food & Agriculture Org. 90 p.
- FAO 2011. El cambio climático hará disminuir el agua disponible para la agricultura. Consultado 30 ene. 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/79964/icode/>

- Faustino J. 1997. Agua recurso estratégico en el futuro de América Central. *Revista Forestal Centroamericana*. N° 18, Año 6, 1997.p.6 -12
- Flores, E. Obando, G. 2003. Árboles del Trópico Húmedo: Importancia socioeconómica. 1ª ed. Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 922 p.
- Gallardo, A; Covelo, F; Morillas, L; Delgado, M. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18(2):4-19.
- García, CC. 2006. El medio físico de la región de Murcia. Editum. p. 221 - 222.
- Gálvez 2012. Diccionario digital de biología. Consultado 16 mar. 2012. Disponible en: <http://www.bioscripts.net/biodic/index.php?lang=es>
- Glosario.net 2012. Consultado 16 mar. 2012. Disponible en: <http://www.glosario.net/busqueda/index.php?D=0&P=lepidoto>
- Herrmann, M; Pust, J; Pott, R. 2006. The chemical composition of throughfall beneath oak, birch and pine canopies in Northwest Germany. *Plant Ecology* 184(2):273-285.
- Heuvel dop, J; Pardo, TJ; Quirós, CS; Espinoza, PL. s.f. *Agroclimatología Tropical*. 297 p.
- Holdridge L, R. Poveda L,J. Jiménez Q. 1997. Árboles de Costa Rica. Vol 1: Palmas y otras monocotiledoneas y árboles con hojas compuestas o lobuladas. – 2 Ed - San José, Costa Rica. Centro Científico Tropical. 544 p.
- Huber, A; Barriga, P; Trecaman, R. 1998. Efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico en la zona de Collipulli. *Bosque* 19(1):61-69.
- Imbert, JB; Blanco, JA; Castillo, FJ. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (Valladares F., ed.). Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, SA, Madrid:479-506.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales) 2005. *Meteorología en Nicaragua. Características del clima de Nicaragua*. Consultado en línea: 10 feb. 2011. Disponible en: <http://webserver2.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/clima%20nic/caracteristicasd elclima.html>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales) 2011a. Link: Áreas técnicas – Meteorología – Normas históricas – Rivas.Consultado en línea: 10 feb. 2011. Disponible en: <http://www.ineter.gob.ni/>

- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales) 2011b. Registros meteorológicos estación Rivas - Nicaragua.
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal) s.f. Ficha municipal de Belén (en línea). Consultado 22 feb. 2011. Disponible en: <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/RIVAS/belen.pdf>
- Jaramillo, A. 2003. Contenido de nutrimentos en la lluvia, agua de lavado foliar y escorrentía en cafetales con diferentes sombríos. *Meteorología colombiana* N° 7 (N-0124-698):pp.135–14.
- Jaramillo, A. 2005. La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Revista de la Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales* 29(112-113): 371.
- Jiménez, F; Muschler, R; Köpsell, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. *Bib. Orton IICA/CATIE*. v. 6, 187 p.
- Jiménez F, 2009. Material del curso: Metodologías de investigación en sistemas agroforestales. Medición de los componentes del balance hídrico en SAF. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 12 p.
- Kane, B; Kirwan, J. 2005. Value, benefits, and costs of urban trees. *Virginia Cooperative Extension*. Publication:420-181.
- Kappelle M. 2008. *Diccionario de la biodiversidad* / Maarten Kappelle, editor científico. - 1a ed. – Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio, 2008. 416 p.
- Lavorel, S; Díaz, S; Cornelissen, J; Garnier, E; Harrison, S; McIntyre, S; Pausas, J; Pérez-Harguindeguy, N; Roumet, C; Urcelay, C. 2007. Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail? *Terrestrial ecosystems in a changing world*:149-164.
- Lovett, G; Lindberg, S. 1984. Dry deposition and canopy exchange in a mixed oak forest as determined by analysis of throughfall. *Journal of Applied Ecology*:1013-1027.
- MARENA (Ministerio del ambiente y los recursos naturales), ONDL (Oficina nacional de desarrollo limpio), 2008. Estrategia de adaptación al cambio climático de los Sistemas Recursos Hídricos y Agricultura. Cuenca No. 64 (entre el Volcán Cosigüina y Río Tamarindo). Consultado en línea: 13 feb. 2012. Disponible en: http://cambioclimatico.cridlac.org/wpcontent/uploads/Estrategia_Adaptacion_Cuenca_NI.pdf
- Meyrat s.f. *Coccoloba caracasana*. Especie N° 88. Consultado el 17 feb. 2012. Disponible en: <http://redbio.una.edu.ni/arboretum/fichas.php?cod=88>

- Mostacedo B. Justiniano J. Toledo M. Fredericksen T. 2001. Guía dendrológica de especies forestales de Bolivia. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 215 p.
- Moreno, G; Carretero, EM; Faggi, AM; Vento, B. 2008. Sedimentación atmosférica seca en hojas de *Morus alba* L. en la ciudad de San Juan Argentina. *Interciencia* 33(11):844-849.
- Nowak, DJ; Crane, DE; Stevens, JC. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 4(3-4):115-123.
- Olivero, S. 2011. Functional trait approach to assess the ecological processes of drought tolerance and water use efficiency in silvopastoral systems in Rivas Department, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 75 p.
- Ortiz, EMG. 2006. Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de tres especies arbustivas en clima semiárido. Universidad de Almería.
- Pidwirny, M. 2006. "Interception, Stemflow, Canopy Drip, and Throughfall". *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. Date Viewed. Consultado en línea: 27 de oct. 2010. Disponible en: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8k.html>
- Puigdefábregas, TJ. 2001. Factores que controlan las relaciones entre precipitación, escorrentía e infiltración en zona árida y sus implicaciones en la gestión del agua.
- Reynel C. Pennington R,T. Pennington T.D. Flores C. Daza A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía Peruana y sus usos: Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de especies. 509 p.
- Rivera, BD; Guarín, FA. 2009. Intercepción de partículas suspendidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el Valle de Aburrá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (47): 59-66.
- Senra, A. 2009. Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, Vol. 13, Núm. 2, 2009, pp. 3-16
- Stadtmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas como mitigarlo. Una revisión bibliográfica. CATIE, Proyecto silvicultura de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica.
- Stevens, WD; Pool, A; Montiel, OM; Ulloa, CU; Garden, MB. 2001. Flora de Nicaragua. Missouri Botanical Garden Press St. Louis^ eMissouri Missouri.