



Colombia Forestal

ISSN: 0120-0739

colombiaforestal@udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de
Caldas
Colombia

García Olmos, Carlos Francisco
REGULACIÓN HÍDRICA BAJO TRES COBERTURAS VEGETALES EN LA CUENCA
DEL RIO SAN CRISTÓBAL, BOGOTÁ D.C.
Colombia Forestal, vol. 10, núm. 20, diciembre, 2007, pp. 127-147
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939610007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

REGULACIÓN HÍDRICA BAJO TRES COBERTURAS VEGETALES EN LA CUENCA DEL RÍO SAN CRISTÓBAL, BOGOTÁ D.C.

Palabras clave: Regulación hídrica, cuencas, Río San Cristóbal, Bogotá, Colombia.

Key words: Water balance, basin, San Cristobal River, Bogotá, Colombia.

Carlos Francisco García Olmos¹

RESUMEN

Se calcularon los balances hídricos mensuales bajo las coberturas de *Cupressus lusitánica* (ciprés), *Eucalyptus globulus* (eucalipto) y bosque nativo de la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal, al sureste de Bogotá, D.C. (Colombia). La investigación se realizó durante el periodo de septiembre del 2005 hasta agosto de 2006. Los datos se tomaron mediante instrumentación, en cada uno de los sitios, con dispositivos de medición de precipitación interna, lavaje de tallos, escorrentía superficial directa e infiltración. Estas variables se relacionaron con la regulación hídrica de las corrientes de agua de las quebradas Palo blanco, La Upatá y La Osa, cuyas microcuencas tienen las coberturas en mención. Para determinar la regulación hídrica de las corrientes mencionadas se halló el régimen de caudales mensuales de cada corriente, instalando un limnómetro a la salida de cada microcuenca. Con los limnómetros se obtuvieron los valores diarios de niveles, y luego los caudales, de acuerdo a las curvas de calibración determinadas mediante aforos. Con esta información se obtuvo el régimen de cau-

dales mensuales de cada corriente, que permite evaluar su variabilidad. Los resultados señalan una mejor capacidad de mantener los caudales, con mayor uniformidad y con valores más sostenidos, para la cobertura de bosque nativo, seguida del bosque de ciprés. No obstante, se debe obtener mayor información de campo y relacionarla con otros aspectos característicos de cada cobertura, para poder obtener conclusiones más contundentes.

ABSTRACT

The water balance of the *Cupressus lusitánica* (cypresses) cover, *Eucalyptus globulus* (eucalyptus) and native forest cover of the hydrographic basin of the San Cristóbal river, southeast Bogotá D.C. (Colombia) was calculated. The investigation was made from September 2005 to August 2006. Data were obtained using instrumentation, in each site, with net precipitation measurement devices, stemflow, streamflow, and infiltration. These variables were related to the hydrological regulation of watercourses of the Palo Blanco, La

¹ Director proyecto de investigación grupo Proprobos-Acuformat. Docente Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. calicheuo@hotmail.com

Upatá and La Osa, creeks which micro basins have the aforesaid forest cover. The hydrological regulation of watercourses was obtained through the monthly river flow regime using a level meter at the end of the basin. With the level meters, daily level values were obtained, and then the volumes, according to the calibration curves determined by flow meter. Based on this information, the monthly river flow regime of each watercourse was obtained, which allows to evaluate its variability. The results show that the native forest cover has a higher capacity to maintain water flows, with higher uniformity, and more sustainable values, followed by the cypress forest. However, in order to draw firm conclusions, additional fieldwork data should be obtained including relationships with other characteristic aspects of each vegetation cover.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto se desarrolló en la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal, zona de reserva forestal de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) desde su adquisición en 1917. La importancia de esta reserva está en el papel que desempeña en la sostenibilidad del recurso hídrico en la cuenca del río San Cristóbal, que surte de agua a un sector importante del sur este de la ciudad de Bogotá, D.C.

La necesidad de realizar investigación en dicha cuenca surge de los cambios en la cobertura vegetal que ocurrieron allí desde que la EAAB en sus primeros tiempos de tenencia de estos bosques, implementó plantaciones de *Cupressus lusitanica* (ciprés) y *Eucalyptus globulus* (eucalipto), los cuales además no han tenido ningún manejo, y que cambiaron parte de la cobertura vegetal nativa.

Como esta es una cuenca abastecedora de agua, es necesario valorar el comportamiento de cada uno de estos tipos de bosques, lo cual

permitirá establecer la favorabilidad de cada una de ellas como reguladoras de las aguas del ciclo hidrológico.

En el marco de esta investigación se entiende por regulación hídrica a la capacidad de algunos tipos de bosque de influir sobre las lluvias en el ciclo hidrológico, atenuando los eventos máximos de caudal y propiciando unos caudales mayores a los mínimos que se presentarían sin la acción de estos tipos de bosque.

El conocimiento que existe actualmente sobre el papel de cada una de estas coberturas en el ciclo hidrológico y su regulación, no es suficiente, puesto que no se conoce cómo influye en la regulación de los caudales de las cuencas donde está presente cada una de estas coberturas, y menos aún en el caso específico de la cuenca del río San Cristóbal.

Esta investigación tiene por objeto saber qué coberturas son más convenientes para plantar en cuencas abastecedoras de agua para las poblaciones, teniendo en cuenta las características propias de cada una de ellas, de tal manera que para cuencas que presenten características similares a la cuenca en cuestión, tiene una gran aplicabilidad el conocimiento que de aquí deriva. Así, los resultados de este trabajo se convierten en un gran aporte a nivel del país.

Hasta la fecha se han realizado estudios de caracterización de la cuenca por Venegas (1958), Corredor (1967) de fauna y flora por Hernández & Rodríguez (1962) y geológicos por Van der Hammen & González (1963).

Acerca de los caudales y su relación con la cobertura vegetal Castillo y López (1983) valoraron como positivo el papel del bosque existente allí sobre el balance hídrico y la disponibilidad de agua, pero no precisan el papel de cada tipo de bosque en la regulación hídrica. Luego, De Las Salas & García (2000) realizaron un estu-

dio sobre el balance hídrico de las coberturas vegetales de bosque nativo, Ciprés y Eucalipto, el cual estableció que son favorables a la disponibilidad de agua en estas áreas donde se realizaron las mediciones, pero son estudios en sitios específicos de la cuenca, y en ningún caso abordaron el problema del papel de cada tipo de bosque en la regulación hídrica.

Los anteriores estudios sobre balance y oferta hídrica son un insumo muy valioso para la presente investigación, en la cual se continuó el análisis con base en la información que se obtuvo, sobre balance hídrico, regímenes de lluvias y regímenes de caudales. Al confrontar estos comportamientos se investigó acerca de la capacidad de regulación hídrica de las coberturas vegetales existentes, con el fin de darle a la cuenca el mejor manejo posible.

Mediante esta investigación se identifica la relación existente entre los balances hídricos bajo las coberturas de ciprés, eucalipto y bosque nativo y la regulación que se presenta en las corrientes de agua correspondientes, por cuenta de cada una de ellas, y su incidencia sobre la regulación hídrica del río San Cristóbal, despejando el interrogante sobre el papel que cumple cada una en la regulación hídrica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de regulación hídrica de tres tipos de vegetación (Ciprés, Eucalipto y bosque nativo), con base en tres sitios de la cuenca alta del río San Cristóbal (Bogotá, D.C.) y sus microcuencas correspondientes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer los balances hídricos mensuales bajo cada una de las coberturas vegetales en estudio, y los de sus microcuencas correspondientes.

Determinar los regímenes mensuales y anuales de lluvias y caudales de las microcuencas, y analizar la relación correspondiente.

Hallar la relación entre los balances hídricos y los regímenes hidrológicos para valorar la capacidad de regulación hídrica de cada una de las coberturas vegetales.

CARACTERIZACION DEL ÁREA DE ESTUDIO

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Se encuentra al sur este de la ciudad de Bogotá D.C., y de conformidad con las planchas nuevas números 247-I-A-1 y 247-I-A-3 de 1995, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) las coordenadas geográficas correspondientes son: $X = 74^{\circ} 01' 41''$ de latitud norte; y $Y = 04^{\circ} 30' 42''$ latitud oeste. Se presenta la localización de Bogotá D.C. en Colombia (Figura 1) y de la zona del proyecto "localidad de San Cristóbal" respecto a Bogotá D.C. en la Figura 2, y la cuenca del río San Cristóbal con sus principales corrientes en la Figura 3.



Figura 1. Bogotá D.C. en Colombia.



Figura 2. Bogotá D.C. con la localidad de San Cristóbal.

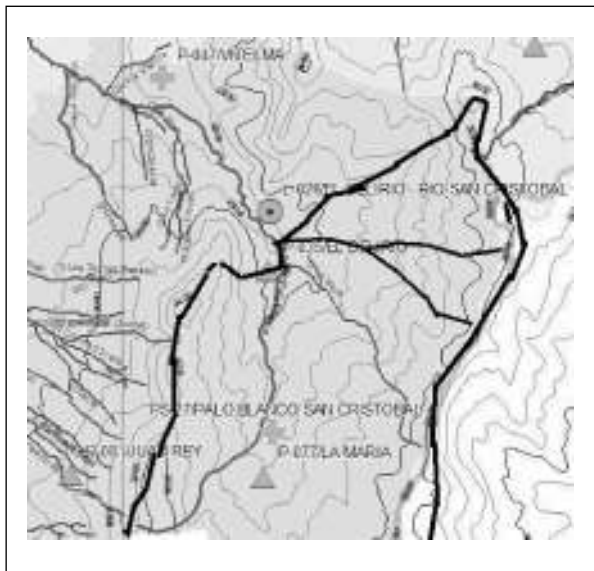


Figura 3. Cuenca hidrográfica del río San Cristóbal. Estaciones EAAB: pluviométricas ▲ limnimétricas ●; climatológicas ⊕. Fuente: EAAB, 2003.

El área de estudio presenta altitudes que oscilan de 3000 a 3600 msnm, y una superficie de 22,2 km², que corresponde a la parte alta de la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal.

La cuenca del río San Cristóbal limita al norte con las cuencas de los ríos San Francisco y Barro Blanco, que pertenecen a Bogotá D.C. al oeste con Bogotá D.C. y el municipio de Usme, al este con el municipio de Ubaque, y al sur con el municipio de Usme.

CLIMA

Las temperaturas ambiente según los informes de la estación climatológica Vitelma, de la EAAB, situada cerca al río San Cristóbal a los 2800 msnm, como la más próxima al área en estudio, oscilan entre los 8,8 y 15,9 °C, con una media de 13,2 °C, según registros del periodo (1981-2005).

El clima de la zona oscila entre dos periodos secos, de diciembre a marzo y en septiembre; y dos húmedos de abril a agosto y de octubre a noviembre. Esto se puede afirmar de acuerdo a los registros (1933-2005) de la estación pluviométrica-pluviográfica El Delirio, de la EAAB, que se encuentra a los 3000 msnm, en la parte baja de la cuenca en estudio, y que registra una precipitación media anual de 1224 mm.

HIDROLOGÍA

La red hidrográfica del río San Cristóbal se inicia a los 3450 msnm, al sur este de la ciudad de Bogotá D.C., en la laguna de los Patos. El río en su discurrir se alimenta principalmente de las aguas de las quebradas La Osa, La Upata y Paloblanco, entre otras. Después de un recorrido de 5 kilómetros sus aguas son captadas por el Acueducto de Vitelma, para el aprovechamiento urbano de ese sector del sur este de Bogotá D.C.

El caudal medio anual oscila entre 0,257 y 1,059 m³/s, con un promedio de 0,658 m³/s, según la estación limnimétrica-limnigráfica El Delirio, registros (1952-2006). Ésta se encuentra situada sobre el río San Cristóbal a los 2891

msnm Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en adelante “EAAB”, (2006).

COBERTURA VEGETAL

Las coberturas bajo análisis están localizadas en las cuencas de las quebradas Paloblanco (cuena de 11,4 km²), donde se hicieron mediciones bajo bosque de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) en La Upata (cuena de 3 km²), mediciones en *Eucalyptus globulus* (eucalipto), y en La Osa (cuena de 7,8 km²), en el bosque nativo con *Weinmannia tomentosa* (encenillo), *Myrcianthes leucoxyla* (arrayán grande), *Chusquea* sp. (chusque), etc.

Según estudio del Plan de aprovechamiento de las plantaciones de Ciprés y Eucalipto, DELSA (1986) existen 166 especies, y hay asociaciones puras de Chusque con los rastrojos y las plantaciones.

La cobertura de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) en la microcuena de la quebrada Paloblanco, de acuerdo con las mediciones de esta investigación, tiene árboles con un DAP del orden de hasta 0,60 m, alturas de 20 a 30 m, diámetros de copa del orden de 2 m y una densidad de 2500 árboles por hectárea. El sotobosque es muy escaso, y existen algunas plantas pero en muy poca cantidad, tales como chusques (*Chusquea* sp.) Dentro del bosque la iluminación natural se reduce en un 60 %.

La cobertura de *Eucalyptus globulus* (eucalipto), es importante en la microcuena de la quebrada La Upata. Se encontró que los árboles tienen un DAP de hasta 0,60 m, alturas de 20 a 30 m, diámetros de copa del orden de 7 m y una densidad de 1500 árboles por ha. La vegetación menor entre el bosque es abundante, principalmente de chusques, que impiden el desplazamiento en el bosque y la iluminación natural es plena, dada la baja densidad de árboles.

La cobertura de bosque nativo, es importante en la microcuena de la quebrada La Osa. Allí los árboles, principalmente de *Weinmannia tomentosa* (encenillo), presentan un DAP de hasta 0,40 m, alturas de 15 a 20 m, diámetros de copa del orden de 7 m y una densidad de 3000 árboles por hectárea. La vegetación menor entre el bosque es abundante, principalmente de *Chusquea* sp. (chusque), pero hay mayor variedad de especies que bajo bosque de *Eucalyptus globulus* (eucalipto), encontrando *Myrcianthes leucoxyla* (arrayán grande), *Myrsine* sp. (hayuelo), *Alnus acuminata* (aliso), entre otros. La iluminación natural se reduce hasta en un 65 %, dada la alta densidad de árboles, que es la mayor entre las 3 coberturas.

GEOLOGÍA Y SUELOS

Se realizaron manualmente calicatas, bajo cada una de las coberturas vegetales hasta un metro de profundidad, de las cuales se tomaron muestras que fueron evaluadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Distrital, en cuanto a humedad gravimétrica, humedad volumétrica, volumen de vacíos y relación de vacíos. La información de humedad gravimétrica y volumétrica se ilustra en las Figuras 4 y 5.

Son formaciones que van del cretáceo superior al reciente, identificadas como Formación Guadalupe, Guaduas, Cacho y otras como acumulaciones cuaternarias. (Van der Hammen & González 1963).

Los suelos en los sitios de estudio son de origen volcánico, con una humedad relativa media de 0,5. Se trata de areniscas con diverso grado de meteorización, y texturas en el perfil del suelo son de arcillo-limosas a franco-arcillosas, de acuerdo a las calicatas hechas de 100 cm de profundidad.

Bajo la cobertura de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) se observa una capa de 10 a 15 cm

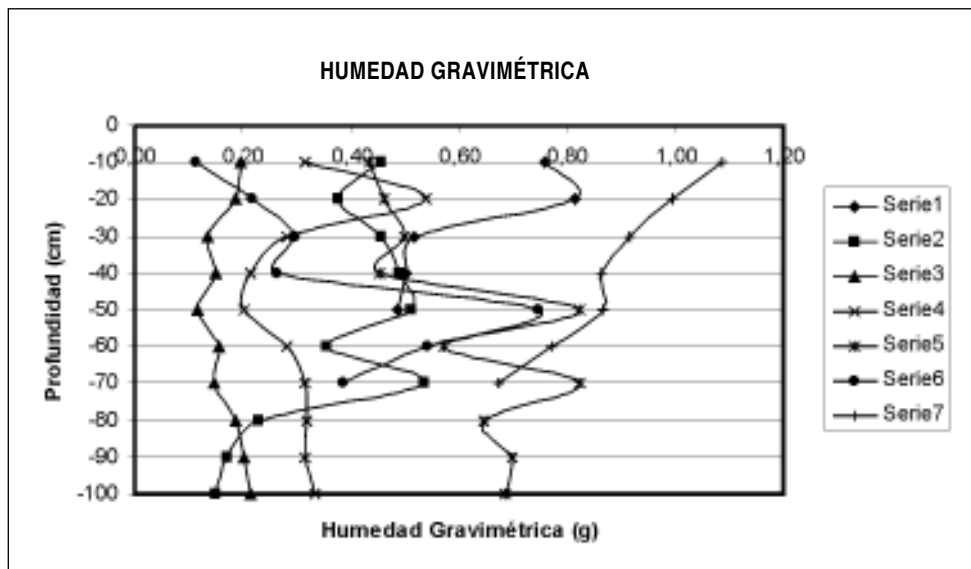


Figura 4. Humedad gravimétrica de los suelos bajo las coberturas vegetales: Series 1 y 2: En campo abierto bajo pasto. Series 3 y 4: Bajo ciprés. Series 5 y 6: Bajo eucalipto. Serie 7: Bajo bosque nativo.

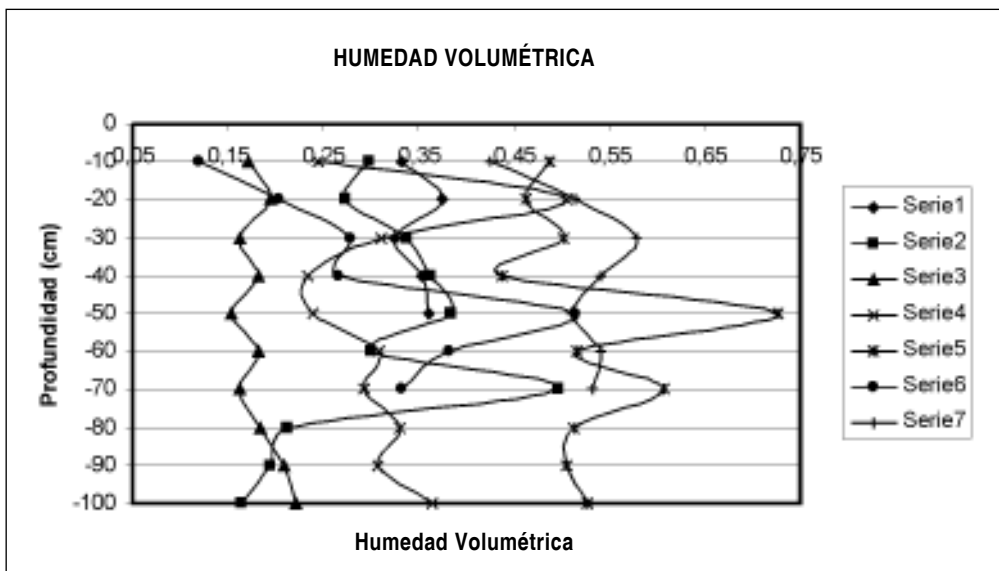


Figura 5. Humedad volumétrica de los suelos bajo las coberturas vegetales: Series 1 y 2: En campo abierto bajo pasto. Series 3 y 4: Bajo ciprés. Series 5 y 6: Bajo eucalipto. Serie 7: Bajo bosque nativo.

de musgos que funcionan como una esponja y absorbe gran parte del agua que llega al suelo. La humedad gravimétrica en estos suelos es del 15 al 30 %, siendo de las menores comparadas con las de las demás coberturas, aunque a campo abierto esta humedad fue del

18 %. Ambas medidas a 0,70 m de profundidad (Figura 4).

En las coberturas de Eucalipto y bosque nativo se presenta una capa de 10 a 15 cm de residuos vegetales de ramas, hojas y material descom-

puesto de troncos de árboles que absorbe gran parte del agua que llega al suelo.

La humedad gravimétrica bajo bosque de eucalipto está entre 40 y 80 %, mientras que en bosque nativo es del orden del 70 % cuando se miden a 0,70 m de profundidad (Figura 4).

Los suelos se estudiaron bajo cada una de las coberturas vegetales en cuestión y presentan una baja densidad relativa (0.3 a 0.7), las mediciones de porosidad están del 60 al 75 % y el volumen de vacíos del 55 al 65 %, al llegar hasta un metro de profundidad.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó de septiembre de 2005 a agosto de 2006, con base en algunos criterios ya definidos en investigaciones anteriores, en lo referente a la selección de microcuencas e instrumentación.

SELECCIÓN DE MICROCUENCAS

Estas conforman la cuenca alta del río San Cristóbal. Por ser microcuencas adyacentes y con algunas semejanzas de suelos y clima, y por involucrar las coberturas de *Cupressus lusitanica* (Ciprés), eucalipto y bosque nativo, se escogieron las microcuencas Paloblanco (de 11,4 km²), La Upata (de 3 km²) y La Osa. (de 7,8 km²). Aprovechando las diferencias de cobertura se relaciona el balance hídrico de cada

una de estas con la regulación de caudales en cada microcuenca.

INSTRUMENTACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Bajo cada cobertura se instalaron los dispositivos de medición al azar, siguiendo el criterio de una distribución equitativa. Para cada una se colocaron 8 pluviómetros, 4 parcelas de escurrimiento, 8 collarines para medir el escurrimiento fustal, y 3 lisímetros para medir la infiltración a 25, 50 y hasta 75 cm de profundidad.

Igualmente se instalaron pluviómetros a cielo abierto. A la salida de cada microcuenca se instaló una mira hidrométrica y un maxímetro. En las Tablas 1 y 2 se presentan las especificaciones de los dispositivos.

COLLARINES

Se colocaron alrededor de cada uno de los fustes de los árboles a una altura de 1,2 m. Están constituidos por manguera plástica de 2 pulgadas de diámetro, la cual se corta longitudinalmente y se coloca con pegante y puntillas a ras del fuste del árbol, abrazándolo. El escurrimiento del fuste se recoge en un recipiente de 5 galones.

Tabla 1. Características de los Pluviómetros Instalados.

| Material | Área (m ²) | Diámetro (cm) | No. ¹ Ciprés | No. ¹ Eucalipto | No. ¹ Nativo | No. ¹ Pasto |
|----------|------------------------|---------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| Plástico | 0,001 | 4,3 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| P.V.C. | 88,248 | 10,6 | 6 | 5 | 2 | - |
| Estándar | 198,557 | 15,9 | 1 | 1 | 1 | - |

1: Número.

Tabla 2. Características de las Parcelas de Escorrentía.²

| Área Parcelas (m ²) | En Ciprés | En Eucalipto | En Bosque Nativo | En Pasto |
|---------------------------------|-----------|--------------|------------------|----------|
| 2,0 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| 12,0 | 2 | 2 | 2 | 2 |

2 : Son de 6m*2 m y de 2 m*1 m en cada una de las coberturas vegetales.

LISÍMETROS

Son cajas metálicas de 0,31 x 0,09 m con una rejilla en la parte superior para retener los sedimentos gruesos que pueden obstruir las entradas a los recipientes plásticos de 250 ml que recogen los volúmenes de agua captados. Los lisímetros fueron colocados a 0,25m, 0,50 m y 0,75 m de profundidad del suelo, en cada una de las coberturas vegetales.

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para cada evento de lluvia se tomaron en forma manual las lecturas de los volúmenes de agua captados en cada uno de los dispositivos instalados, con aproximación a 0.1 litros, y se leyeron las miras hidrométricas, con aproximación a 0,01 m y por ocurrencia de eventos máximos se tomaron lecturas de los maxímetros.

Las lecturas de todos los dispositivos se hicieron durante las horas del día, después de los eventos de lluvia que causaron almacenamientos de agua en ellos.

BALANCE HÍDRICO EN LAS COBERTURAS VEGETALES

Los balances hídricos se calcularon en mm., por lo que las mediciones hechas en litros se transformaron siguiendo la siguiente relación:

$$M = \frac{V}{A}$$

donde:

M = medida en mm., de pluviómetro, lisímetro, collarín o parcela de escorrentía.

V = medida en litros, para los mismos anteriores.

A = área de captación correspondiente, en m².

Según los ingresos y salidas de agua al ecosistema de cada cobertura vegetal se realizó el balance hídrico de cada una de ellas para periodos mensuales y se le relacionó con las variaciones de los caudales de la corriente de cada micro cuenca.

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Se calculó utilizando la fórmula de Thornthwaite, (Aparicio, 1996):

$$ETP = 1,6 \left[\frac{10 * T^a}{I} \right] \quad (1)$$

donde:

T = Temperatura media mensual

I = Índice térmico anual

$$I = \sum_{n=1}^{12} i_n \quad (2)$$

$$i_n = \left[\frac{t}{5} \right]^{1,514} \quad (3)$$

$$a = \frac{1,6 * I}{100} + 0,5 \quad (4)$$

- Se recogieron en recipientes de 5 galones los volúmenes de agua que se escurrían por el suelo de cada una de las parcelas.
- Se midieron los volúmenes con el pluviómetro naranja, utilizando la ecuación de correspondencia.
- Se hallaron los mm reales dividiendo el volumen medido por el área de cada parcela.
- Se recogieron en recipientes de 5 galones los volúmenes de agua que se escurrían por el perfil del suelo a las profundidades en referencia.
- Se midieron los volúmenes con el pluviómetro naranja, utilizando la ecuación de correspondencia.
- Se hallaron los mm reales dividiendo el volumen medido por el área de cada lisímetro.

PROCEDIMIENTO PARA EL BALANCE HÍDRICO DE COBERTURAS VEGETALES

Según los ingresos y salidas de agua al ecosistema de cada cobertura vegetal se realizó un procedimiento en cada una de ellas, para cada periodo mensual.

El análisis hecho mediante las siguientes ecuaciones es una fiel interpretación de los procesos que ocurren en el ciclo hidrológico, cuando una lluvia cae bajo el bosque y de acuerdo con De Las Salas & García (2000) salvo que en esta investigación se hizo una precisión respecto al volumen que se infiltra, según ecuación (9), para llegar a la ecuación (10), que se asemeja a la del documento citado, con la diferencia de que la variable mencionada aquí como agua gravitacional (Ag) es allí la infiltración, (S), y es como sigue:

La diferencia entre ingresos y egresos de agua al ecosistema se expresa según la ecuación:

$$\Delta WS = \text{Entradas} - \text{Salidas} \quad (5)$$

El balance que se presenta se hará bajo el bosque para periodos de tiempo de un mes:

$$\text{Entradas Totales} = P$$

La precipitación total se separa por efecto de la cobertura vegetal en precipitación interna (P_i) al bosque, intercepción (I) y lavaje de tallos (L_t):

$$P = I + P_i + L_t \quad (6)$$

El agua que llega a la superficie del terreno (LLs) es la suma de la precipitación interna (P_i) más la que lo hace a través de los troncos de los árboles:

$$LLs = P_i + L_t \quad (7)$$

El total que llega hasta la superficie del terreno, luego se descompone en un volumen que se infiltra (F) y uno que se escurre superficialmente (Esd):

$$LLs = F + Esd \quad (8)$$

A su vez el volumen que se infiltra (F) se reparte en agua que es absorbida como humedad del suelo (ΔW), agua gravitacional (Ag) que es la que escurre del suelo, cuando este llega a su capacidad de campo y va a alimentar las aguas subterráneas y la que se evapotranspira (ET) por efecto de la demanda de agua de los árboles y demás vegetación, la radiación solar y el viento principalmente:

$$F = \Delta W + Ag + ET \quad (9)$$

En síntesis, haciendo la diferencia entre entradas y salidas, el balance de agua en el suelo queda:

$$\Delta WS = P_i + L_t - Esd - Ag - ET \quad (10)$$

El cálculo de la evapotranspiración real se hizo con base en la función de almacenamiento de

agua en el suelo ΔW , de tal manera que cuando hay exceso, la ETR (evapotranspiración real) es igual a la potencial, y en caso contrario va a estar de acuerdo con el agua disponible de lluvia y agua almacenada en el suelo.

BALANCE HÍDRICO EN LA CUENCA Y MICROCUENCAS DEL RÍO SAN CRISTÓBAL

Se determinó para cada uno de los meses y a nivel anual, teniendo en cuenta la ecuación formal de la hidrología para el balance hídrico de una cuenca:

$$P = Q + ET \pm \Delta S \quad (11)$$

Donde:

P = Precipitación mensual o anual (mm)

Q = Caudal mensual o anual (mm)

ET = Evapotranspiración mensual o anual

ΔS = Cambio en el almacenamiento. En periodos anuales se considera igual a cero.

La precipitación se halló mediante mapas de isoyetas para cada uno de los meses, desde septiembre de 2005 a agosto de 2006.

Los caudales se hallaron a partir de la información de lecturas diarias de las miras hidrométricas colocadas en cada microcuenca, haciendo la conversión de niveles a caudales utilizando las curvas de calibración halladas.

REGULACIÓN HÍDRICA

Las curvas de calibración de las corrientes Paloblanco, La Upata y La Osa se definieron con los aforos realizados bajo diversas condiciones de caudal. Estas curvas relacionan niveles y caudales, donde los niveles correspondientes se determinan con la mira hidrométrica.

Los caudales aforados son los caudales que circulan por cada una de las corrientes, los cuales incluyen los diferentes aportes que hacen parte de ellos, con son el agua subterránea, el flujo sub-superficial y la escorrentía superficial directa.

Con las curvas de calibración obtenidas se calcularon los caudales diarios en las tres corrientes y se determinaron los regímenes de caudales diarios para cada mes del periodo en estudio, y luego los regímenes de caudales mensuales.

Contrastando las curvas de los regímenes de caudales con las de los regímenes de las lluvias se pudo establecer la relación lluvia-caudal, en la que tiene un importante papel la cobertura vegetal.

La valoración de la regulación de caudales por efecto de cada cobertura vegetal tuvo como referentes los parámetros estadísticos de medida de dispersión como son la desviación estándar y el coeficiente de variación aplicados a las series de las lluvias como de los caudales, a nivel diario y mensual.

RELACIÓN BALANCE-REGULACIÓN HÍDRICA

Relacionando balance hídrico de cada cobertura vegetal y de su microcuenca, y el comportamiento de las lluvias y los caudales en ella, se hizo el análisis sobre el papel de la regulación de éstos bajo las coberturas en estudio.

En consideración al comportamiento de cada tipo de bosque, y en especial su capacidad de almacenar y regular aguas, se estableció la regulación que ejerce cada uno sobre el régimen de caudales.

RESULTADOS

BALANCE HÍDRICO BAJO LAS COBERTURAS VEGETALES

En las Tablas 1A, 2A y 3A del Anexo, se presentan los balances hídricos para cada una de las coberturas vegetales, en el periodo de septiembre de 2005 a agosto de 2006.

Se destaca el comportamiento de los siguientes procesos:

Interceptación (I)

Los valores obtenidos a nivel anual fueron de 33,6 % en eucalipto, 47,3 % en Ciprés y 52,2 % en bosque nativo. Valores similares se hallaron en estos bosques por De Las Salas y García O, (2000). Bruijnzeel (2004) obtuvo de 18 a 30 % en bosques montanos.

Almacenamiento en Capa Orgánica del Suelo (hc)

La fracción de agua almacenada es en el periodo anual del 8,1 % para el ciprés, 5,3 % para el eucalipto y 4,9 % para el bosque nativo.

Percolación y Almacenamiento en el Suelo (p)

La percolación se midió a más de 0,20 m de profundidad, de la cual se encuentra que en el ciprés no se presenta, dado que casi un cien por cien del agua infiltrada desde la superficie del suelo queda retenida en la capa orgánica de 0,20 m de la parte superior.

Los valores anuales percolación y almacenamiento en el suelo dependieron de la cantidad de agua que ingresa al suelo, de las características estudiadas del suelo y de la cobertura vegetal, y se obtuvieron de 0 % para el ciprés, 8,9 % para el eucalipto y 7,4 % para el bosque nativo.

Evapotranspiración Potencial

Están acordes con las temperaturas medias en el ambiente que suelen ser en promedio de 13,2 °C., aunque estos valores son calculados, y se requiere hacer mediciones directas en campo.

BALANCE HÍDRICO EN LAS MICROCUENCAS DEL RÍO SAN CRISTÓBAL

Se presentan en las Tablas 4A, 5A y 6A del Anexo para las microcuencas del río San Cristóbal, en el periodo 09-2005 a 08-2006.

La magnitud de las lluvias en las tres microcuencas es de alrededor de 1300 mm anuales, pero resulta un mejor balance en la microcuenca La Osa, porque su función de almacenamiento en el suelo es del orden de 68 mm, mucho mayor que en las dos restantes, y la evapotranspiración real es de 343 mm., mientras que en Palo blanco y La Upata son respectivamente de 321 y 604 mm anuales.

El rendimiento hídrico es consecuentemente mayor en La Osa con 34 litros/seg/km², mientras que en Paloblanco y la Upata son de 29 y 21 litros/seg/km².

REGÍMENES DE LLUVIAS Y CAUDALES

De acuerdo con la información de lluvias y caudales mensuales del balance hídrico se definieron estos regímenes. En la Figuras 6 a 10 se presentan estos regímenes.

En general se puede expresar que el régimen mensual de caudales de las quebradas la Osa, Paloblanco y La Upata reflejan aproximadamente el régimen mensual de las lluvias, salvo que siendo marzo y abril meses muy lluviosos

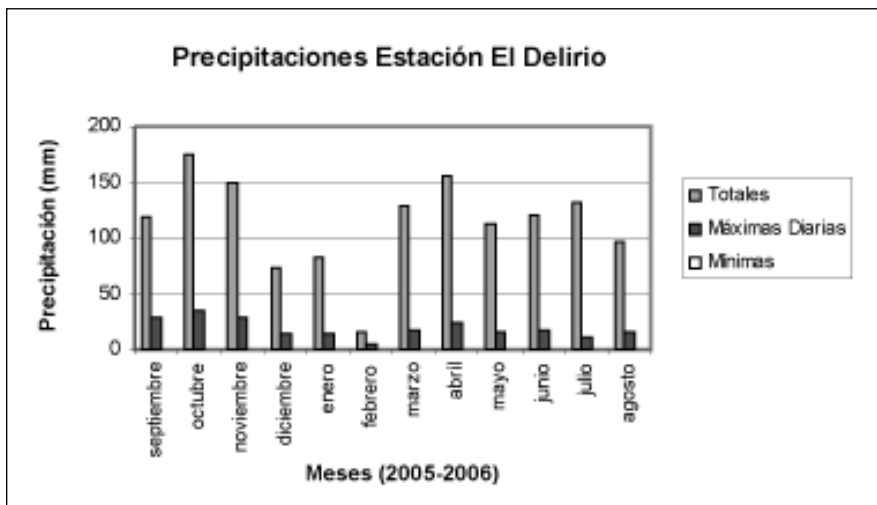


Figura 6. Régimen de lluvias medias mensuales en la cuenca del río San Cristóbal. Periodo (09-2005 a 08-2006).

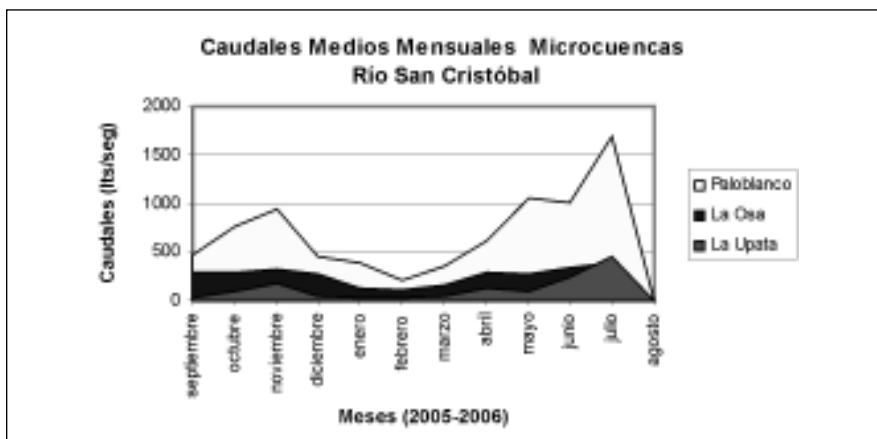


Figura 7. Régimen de caudales medios mensuales de las microcuencas del río San Cristóbal. Periodo (09-2005 a 08-2006).

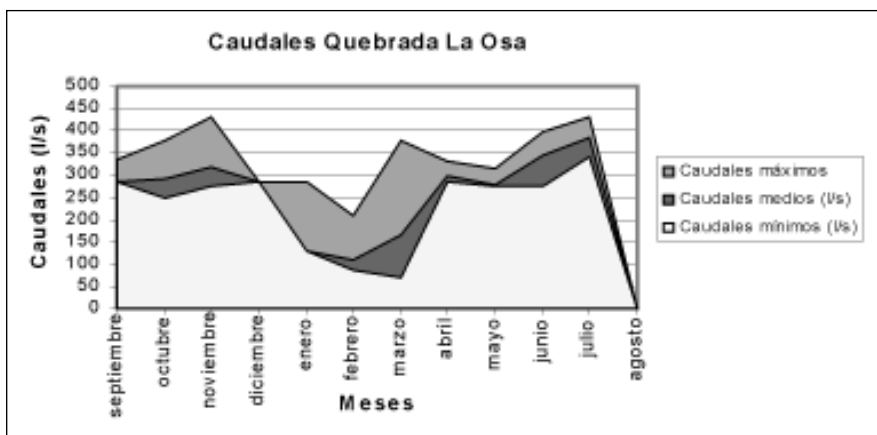


Figura 8. Régimen de caudales máximos, medios y mínimos mensuales de la microcuenca La Osa del río San Cristóbal.

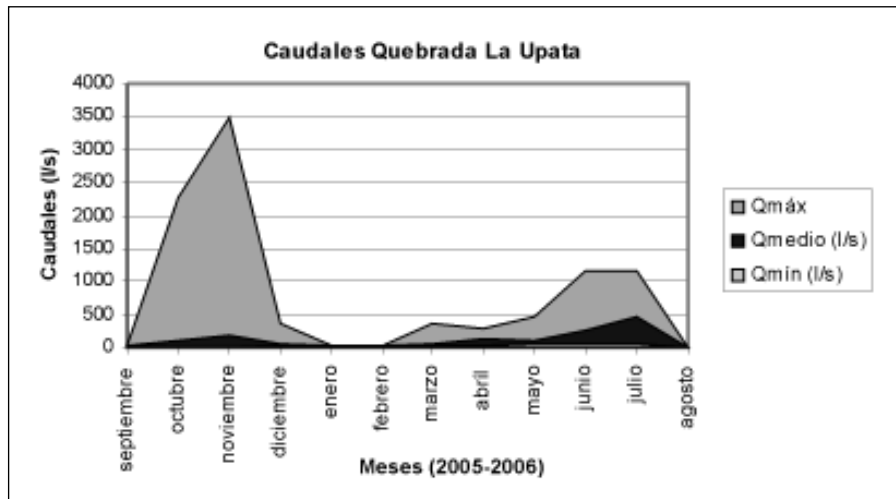


Figura 9. Régimen de caudales máximos, medios y mínimos mensuales de la micro-cuenca La Upata del río San Cristóbal.

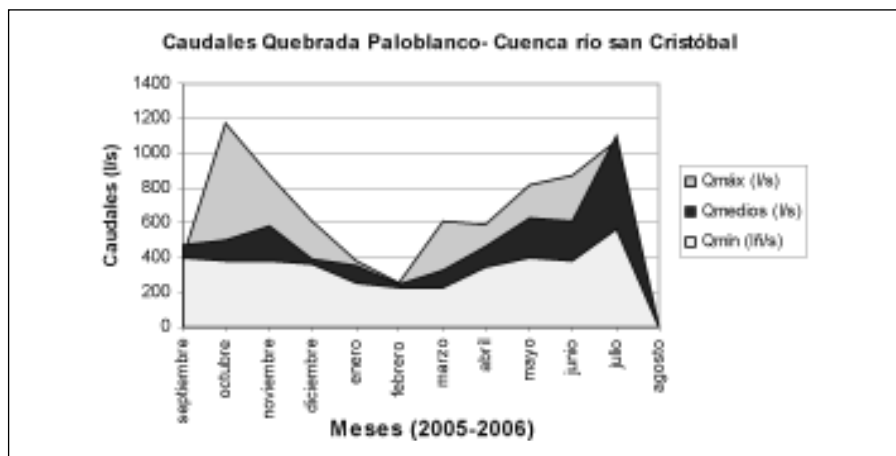


Figura 10. Régimen de caudales máximos, medios, y mínimos mensuales de la microcuenca Palo blanco del río San Cristóbal.

del año, los caudales no fueron proporcionalmente grandes, debido a que están precedidos de meses muy poco lluviosos como son diciembre, enero y febrero.

Se aprecia un régimen mejor regulado de caudales mensuales en la quebrada La Osa, con un caudal medio de 269 litros/seg, pese a que el régimen mensual de lluvias se presentó con mayores variaciones. Sin embargo no ocurre el mismo comportamiento en las otras corrientes.

De acuerdo con el régimen de caudales mensuales de la quebrada La Upata se observa que los caudales máximos pueden llegar a ser hasta del orden de 50 veces el caudal medio mensual que es de 63 litros/seg y los mínimos disminuyen mucho, hasta unos pocos litros por segundo.

En la quebrada Paloblanco el régimen mensual de caudales también presenta variaciones importantes, aunque menos notables, donde el caudal máximo llega a ser hasta dos veces el

caudal medio que es de 334 litros/seg., pero los mínimos se mantiene hasta en el orden de los 200 litros/seg.

RELACIÓN BALANCE-REGULACIÓN HÍDRICA

El desarrollo de Proyecto en un periodo de 12 meses y la información disponible permitió hacer algunas apreciaciones sobre la regulación hídrica, que señalan una mayor capacidad de mantener con mayor uniformidad los caudales y con valores sostenidos para la cobertura de bosque nativo, y luego por el bosque de ciprés. No obstante se debe recopilar mayor información de campo y relacionarla con otros aspectos característicos de cada cobertura, para poder profundizar en los análisis.

Al observar los resultados de balance hídrico de las microcuencas Tablas 3A, 4A y 5A se observa que las funciones de almacenamiento son mayores para la microcuenca la Osa, luego para la Paloblanco y por último para la Upata, y valorando la capacidad de regulación hídrica de cada una de las microcuencas según las Figuras 8, 9 y 10 se puede ver que hay correspondencia entre los almacenamientos hallados en los balances hídricos y la regulación de los caudales, y siguen el mismo orden entre las microcuencas. En consecuencia hay una identidad entre los balances hídricos y la regulación hídrica de los caudales de las microcuencas.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La creencia de que los árboles siempre mejoran la disponibilidad de agua, ha propiciado la realización de grandes proyectos del orden nacional e internacional que al final no retribuyen las inversiones hechas, según un informe del United Kindom's Tropical Forestry Research Programme (FRP) (2005), hecho que amerita el desarrollo de investigaciones como la presente.

De acuerdo con investigaciones realizadas en el Instituto de Tecnología de la India, se encontró que al aumentar la plantación de árboles en los estados de Himachal, Pradesh y Madhya Pradesh la provisión de agua disminuyó. En este caso al intentar darle un uso forestal a tierras agrícolas se favoreció una reducción del 16 al 26% de los rendimientos hídricos en esas áreas. Calder y Ashwin Gosain (2005) lo reportan, lo cual corrobora la necesidad de esta investigación, donde plantaciones de ciprés y eucalipto se llevaron a cabo en la cuenca del río San Cristóbal.

Los resultados de interceptación obtenidos en esta investigación se explican en función de la densidad del bosque, de las características de las ramas y de las hojas, del diámetro de la copa y de las características de la lluvia como la cantidad e intensidad.

De las Salas & García (2000) establecieron que no se presentan diferencias significativas en el balance hídrico de las coberturas de Ciprés, Eucalipto y bosque nativo en la cuenca del río San Cristóbal. Al realizar de nuevo estos balances se reafirman los órdenes de magnitud hallados, en general.

Sin embargo en la sabana de Bogotá se encontró un mejor comportamiento hidrológico del bosque nativo en comparación al de los pinos y eucaliptos. Según Ballesteros (1983) para el caso en consideración el bosque nativo muestra una mejor capacidad de regulación hídrica, lo cual es consecuente con el mejor comportamiento que se le atribuyó.

Se han observado infiltraciones significativas bajo bosques naturales del trópico americano. Kunkle (1978), y precisamente es este tipo de bosque en la cuenca del río San Cristóbal, el que ofrece mayores facilidades de penetración del agua en el suelo.

Los valores del almacenamiento en la capa orgánica están dados por la humedad que es ca-

paz de contener, dado que gran parte del agua pudo quedar retenida allí, como sucedió con el suelo bajo bosque de ciprés. El hecho de que el almacenamiento no fuese mayor en ciprés y bosque nativo tiene que ver con la magnitud de la interceptación, del escurrimiento fustal, la escorrentía superficial, la percolación y la evapotranspiración real.

Giraldo (1999) midió la humedad del suelo bajo bosque nativo y bajo coníferas, y estableció que no había diferencias significativas, resultados que no están en absoluta contradicción con los encontrados en las zonas estudiadas.

Pero de acuerdo a investigaciones de Pereira (1973) y Wicht (1981) no hay fisiológicamente mayor consumo de agua de las coníferas frente al bosque nativo, hecho que no impide que este último facilite en mayor medida la infiltración y percolación.

Respecto a percolación y almacenamiento en el suelo, los valores anuales dependieron de la cantidad de agua que ingresa al suelo, de las características estudiadas del suelo y de la cobertura vegetal, y se obtuvieron de 0 % para el ciprés, 8,9 % para el eucalipto y 7,4 % para el bosque nativo.

Según la información anterior no se puede afirmar con seguridad cual es el comportamiento que puede presentar específicamente cada tipo de bosque frente al balance y regulación hídrica de los caudales de las corrientes que alimente dicho bosque, lo cual depende además de las condiciones en que tenga que desarrollarse, y además considerando que según las investigaciones citadas no se han encontrado diferencias significativas entre los bosques que se mencionan, pero de acuerdo a los datos del presente estudio se señalan como posibles comportamientos para los bosques en consideración:

Mayor recarga de aguas gravitacionales para alimentar las subterráneas por parte del bosque nativo, en razón del desempeño de sus sistemas radiculares en el suelo y el tipo de vegetación que propician en su entorno, y en consecuencia una menor escorrentía superficial en el sitio, pero unos caudales más sostenidos en ciertos valores por encima de los mínimos en la quebrada La Osa, y por debajo de valores demasiado elevados, en función del almacenamiento de agua como humedad del suelo e inducción a la precolación profunda.

La escorrentía superficial mayor bajo eucalipto, representa una menor capacidad de almacenamiento en el suelo y menor aptitud de regulación de caudales máximos.

Por su menor infiltración las coberturas de ciprés y eucalipto pueden contribuir menos a la función de almacenamiento de agua en el suelo, recarga de aguas subterráneas y formación de caudales medios, con lo cual los mínimos pueden estar siendo menores, hecho que hace que estas coberturas sean menos favorables que el bosque nativo para fines de regulación de caudales.

CONCLUSIONES

Los balances hídricos bajo las tres coberturas vegetales consideradas, observados desde el punto de vista de la evapotranspiración real y del agua gravitacional de aporte a las aguas subterráneas bajo cada cobertura vegetal, partiendo de que se trata de suelos similares, dio como resultado una mayor capacidad para la cobertura de bosque nativo, luego para el bosque de ciprés y finalmente para el bosque de eucalipto (Tablas 1A, 2A y 3A).

Sin embargo, si se observa únicamente el almacenamiento en la capa superior del suelo, el valor medio anual de este almacenamiento resultó ser mayor bajo la cobertura de eucalipto.

to (686 mm), pero si se observan los valores de la precipitación que llegaron al suelo, fue precisamente bajo esta misma cobertura que se recibió el mayor valor (858 mm), mientras que bajo ciprés fue de 677 mm. y bajo bosque nativo apenas de 627 mm.

Las diferencias en cuanto a la precipitación interna y la interceptación bajo los 3 tipos de bosque dependen de la densidad del mismo, ya que en este aspecto están bien diferenciados, por lo cual para considerar los demás aspectos que influyen se debe investigar bajo las mismas condiciones del bosque.

De acuerdo a la densidad de bosque se encontró que éste es menos denso bajo cobertura de eucalipto cuya interceptación es de 33,6 %, en comparación con las densidades de los bosques de ciprés y nativo, con interceptaciones de 47,3% y 55,2 % respectivamente.

Se encontró una condición más desfavorable al balance hídrico y que se llega a reflejar en una menor regulación de caudales, bajo cobertura de eucalipto. Sin embargo esta diferenciación no es demasiado significativa para el orden de magnitud de las microcuencas.

En cuanto a los balances hídricos de microcuencas, el mejor comportamiento se presentó en la microcuenca de la quebrada La Osa, donde predomina la cobertura de bosque nativo, aunque la microcuenca de la quebrada Palo blanco no presenta resultados que sean desfavorables a esta condición, y visto así, no hay diferencias significativas en el comportamiento de estas dos microcuencas.

En cuanto a los regímenes de caudales de las corrientes en consideración, el comportamiento de la microcuenca de la quebrada La Uputa, mostró las mayores variabilidades de caudal, y también se observó durante el periodo de esta investigación la manifestación de otra problemática de ella respecto a presentar un volumen

importante de arrastre de sedimentos, con connotaciones de torrencialidad.

Los regímenes de caudales de las corrientes Paloblanco y La Osa presentaron una menor variabilidad de caudales, la cual fue menor para La Osa.

Desde el punto de vista de la relación entre el balance y la regulación hídrica se encontró que existe una importante concordancia, de la cual se apreció que hay una mejor condición de sostenibilidad del régimen de caudales en la microcuenca de la quebrada La Osa, donde se observó unas mejores condiciones de almacenamiento de aguas infiltradas cuando profundizan, denominadas de agua gravitacional, pero sin desestimar el comportamiento de la microcuenca de la quebrada Palo blanco.

En general las lluvias que se presentaron sobre las 3 coberturas y sobre las microcuencas no tuvieron gran variación, por lo cual en este aspecto son comparables los resultados.

Aunque no fue objeto de esta investigación, es importante aclarar que existen diferencias en los tipos de suelos bajo las 3 coberturas, aunque no son la razón principal que marca una diferenciación en el comportamiento del balance hídrico, sino que cada tipo de bosque impone unas condiciones diferentes del desempeño del suelo frente a las lluvias, la escorrentía, la infiltración y la precolación profunda.

Se recomienda continuar con este tipo de investigaciones, con una instrumentación más acorde con las tecnologías actuales para medir los diferentes flujos, y como por ejemplo, para la evapotranspiración mediante sonda de neutrones y para los caudales contar con limnigrafos.

Se recomienda buscar un mayor apoyo por parte de la EAAB, para continuar con la toma de datos, aprovechando las instalaciones actuales y obtener mucha mayor información, que per-

mita tener un conocimiento más profundo de los comportamientos en estudio. Sería mucho mejor si se puede adelantar un proyecto conjunto de la Universidad Distrital y la EAAB con la instrumentación tecnificada que esta investigación amerita.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F.J. 1996.** Hidrología de Superficie. Editorial Limusa, UNAM.
- Ballesteros, M. et al. 1983.** Introducción al balance hídrico de tres coberturas vegetales en Sabaneta. Fondo FEN.
- Bruijnzeel, S. 2004.** "Funciones hidrológicas de los bosques tropicales, Olvidando el suelo por ver los árboles?". Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente. Vol. 104/1.
- Calder & Gossain, A. 2005.** "Trees are bad". Down to Earth. Science and Environment on line.
- Castillo, S.G. & R.M. López. 1983.** Evaluación del efecto de la cobertura vegetal sobre los caudales en la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal. Bogotá.
- Corredor, S.L.A. 1967.** Estudio preliminar para el manejo de la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal. Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- De Las Salas, G. & C. García, 2000.** "Balance hídrico bajo tres coberturas contrastantes en la cuenca del río San Cristóbal". Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Separata, Volumen XXIV, Número 91, <http://www.accefyn.org.co/PubliAcad/rev/rev.htm/> Fondo FEN, Bogotá.
- Delsa Ltda.. 1986.** Plan de aprovechamiento de las plantaciones de Ciprés y Eucalipto de la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal. Bogotá, 2 volúmenes.
- Giraldo, C. 1999.** Influencia de cinco especies forestales sobre la humedad del suelo. Crónicas del Medio Ambiente, universidad Nacional de Colombia, sede de Medellín.
- Hernández & Rodríguez, 1962.** Caracterización de flora y fauna en la Cuenca del río San Cristóbal. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Kunkle, S.H. 1978.** Forestry support for agriculture thorough watershed management, win breaks and other conservation measurements. In: 8th world forestry congress, Jakarta.
- Pereira, H.C. 1973.** Land use waters resources. Cambridge University Press. 245 páginas.
- Van der Hammen, T. & E.González. 1983.** Historia del clima y la vegetación del Pleistoceno superior y del Holoceno de la sabana de Bogotá.
- Venegas, T.L. 1958.** Aspectos ecológicos del subpáramo en el río San Cristóbal. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 76 páginas.
- Wicht, G.L. 1981.** The Management of Mountain Catchments of Forestry South Africa Journal of Forestry. No. 77.

ANEXO

TABLAS DE BALANCE HÍDRICO BAJO COBERTURAS VEGETALES Y MICROCUENCAS

Tabla 1A. Balance hídrico mensual-en Cipres (mm) (Estación Palo Blanco)

| Descripción | Año | 2005 | | | | 2006 | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|----------|-------|
| | Mes | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | Totales | Promedio | |
| Precipitación Total | P | 118,5 | 153,1 | 140,6 | 51,0 | 46,1 | 55,1 | 87,7 | 99,9 | 122,1 | 134,2 | 156,4 | 119,5 | 1284,0 | 107,0 | P |
| Precipitación Interna (Pluviómetros) | Pi | 62,7 | 113,1 | 93,6 | 36,0 | 27,8 | 5,0 | 68,0 | 76,5 | 72,1 | 29,1 | 41,8 | 45,8 | 671,7 | 56,0 | Pi |
| Lavaje de Tallos (Collarines) | Li | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,27 | 0,32 | 0,00 | 0,88 | 0,88 | 0,54 | 1,26 | 0,67 | 0,65 | 5,62 | 0,47 | Li |
| Porcentaje del LT | % | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,53 | 0,70 | 0,01 | 1,00 | 0,88 | 0,44 | 0,94 | 0,43 | 0,54 | 5,58 | 0,46 | % |
| Llega al suelo | LLs | 62,8 | 113,1 | 93,7 | 36,3 | 28,2 | 5,0 | 68,9 | 77,3 | 72,7 | 30,4 | 42,5 | 46,5 | 677,3 | 56,4 | LLs |
| Intercepción | I | 55,7 | 40,0 | 46,9 | 14,7 | 18,0 | 50,1 | 18,8 | 22,5 | 49,4 | 103,8 | 113,9 | 73,0 | 606,7 | 50,6 | I |
| Porcentaje del I | I/P(%) | 47,0 | 26,1 | 33,4 | 28,8 | 38,9 | 91,0 | 21,4 | 22,6 | 40,5 | 77,3 | 72,8 | 61,1 | 560,9 | 46,7 | % |
| Escorrentía Sup Directa (Parcelas) | Esd | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,34 | 0,25 | 0,01 | 1,46 | 0,92 | 0,48 | 1,18 | 0,59 | 0,00 | 5,32 | 0,44 | Esd |
| Agua Gravitacional (Lisímetros) | Ag | 1,3 | 1,3 | 0,7 | 7,5 | 2,8 | 0,1 | 24,3 | 16,6 | 6,9 | 21,6 | 11,8 | 8,9 | 103,8 | 8,7 | Ag |
| Evapotransp Potencial | Etp | 61,1 | 63,0 | 62,4 | 65,0 | 60,5 | 58,0 | 63,6 | 62,4 | 66,8 | 61,7 | 61,5 | 60,3 | 746,4 | 62,2 | Etp |
| Variación en el almacén | ΔS | 0,3 | 48,8 | 30,6 | -36,5 | -35,4 | -7,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | |
| Almacenamiento | S | 0,3 | 49,1 | 79,7 | 43,2 | 7,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 179,9 | 15,0 | S |
| Evapotransp Real | Etr | 61,1 | 63,0 | 62,4 | 65,0 | 60,5 | 12,6 | 43,1 | 59,8 | 65,3 | 7,6 | 30,1 | 37,6 | 568,2 | 47,3 | Ert |
| Déficit | Déf | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 45,5 | 20,5 | 2,6 | 1,5 | 54,1 | 31,4 | 22,6 | 178,2 | 14,9 | Déf |
| Exceso | Exc | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Exc |
| Precipitación T-Evapotransp Pot | P-Etp | 57,4 | 90,1 | 78,2 | -14,0 | -14,4 | -3,0 | 24,0 | 37,5 | 55,3 | 72,5 | 94,9 | 59,2 | | | |
| Coef de Thornwaite | Coef. Th | 0,94 | 1,43 | 1,25 | -0,22 | -0,24 | -0,05 | 0,38 | 0,60 | 0,83 | 11,7 | 1,54 | 0,98 | | | |
| Porcentaje de ET | | | | | | | | | | | | | | 44,2 | | % ET |
| Porcentaje de Percolación | | | | | | | | | | | | | | 0,0 | | % p |
| Porcentaje de Humedad Volumétrica | | | | | | | | | | | | | | 8,1 | | % hv |
| Porcentaje de Intercepción | | | | | | | | | | | | | | 47,3 | | % I |
| Porcentaje de Escorrentía Sup Dta. | | | | | | | | | | | | | | 0,4 | | % Esd |

Tabla 2A. Balance hídrico mensual-en Eucalipto (mm) (Estación La Upata)

| Descripción | Año | 2005 | | | | 2006 | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|----------|-------|
| | Mes | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | Totales | Promedio | |
| Precipitación Total | P | 116,5 | 172,1 | 150,9 | 48,1 | 45,3 | 55,4 | 86,2 | 99,2 | 121,4 | 132,2 | 155,6 | 111,0 | 1293,9 | 107,8 | P |
| Precipitación Interna (Pluviómetros) | Pi | 47,2 | 69,7 | 142,4 | 47,3 | 42,3 | 11,0 | 50,5 | 38,6 | 84,2 | 125,3 | 147,0 | 49,4 | 854,8 | 71,2 | Pi |
| Lavaje de Tallos (Collarines) | Lt | 0,02 | 0,02 | 0,14 | 0,09 | 0,19 | 0,04 | 0,24 | 0,22 | 0,42 | 1,28 | 1,02 | 0,00 | 3,68 | 0,31 | Lt |
| Porcentaje del LT | % | 0,01 | 0,01 | 0,09 | 0,18 | 0,43 | 0,07 | 0,28 | 0,22 | 0,35 | 0,97 | 0,66 | 0,00 | 3,27 | 0,27 | % |
| Llega al suelo | LLs | 47,2 | 69,7 | 142,5 | 47,4 | 42,5 | 11,0 | 50,8 | 38,8 | 84,7 | 126,6 | 148,0 | 49,4 | 858,5 | 71,5 | LLs |
| Interceptación | I | 69,3 | 120,4 | 8,4 | 0,7 | 2,8 | 44,4 | 35,4 | 60,4 | 36,7 | 5,6 | 7,6 | 61,6 | 435,4 | 36,3 | I |
| Porcentaje del I | I/P(%) | 59,5 | 59,5 | 5,5 | 1,4 | 6,2 | 80,1 | 41,1 | 60,9 | 30,3 | 4,3 | 4,9 | 55,5 | 409,2 | 34,1 | % |
| Escurrentia Sup Directa (Parcelas) | Esd | 0,10 | 0,10 | 0,19 | 0,11 | 0,10 | 0,01 | 0,29 | 0,65 | 0,32 | 1,07 | 1,17 | 0,60 | 4,70 | 0,39 | Esd |
| Agua Gravitacional (Lisímetros) | Ag | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 10,3 | 6,9 | 18,2 | 16,7 | 14,9 | 68,1 | 5,7 | Ag |
| Evapotransp Potencial | Etp | 61,1 | 63,0 | 62,4 | 65,0 | 60,5 | 58,0 | 63,6 | 62,4 | 66,8 | 61,7 | 61,5 | 60,3 | 746,4 | 62,2 | Etp |
| Variación en el almacén | ΔS | 0,0 | 6,6 | 79,9 | -17,7 | -18,2 | 0,0 | 0,0 | -34,5 | 10,7 | 45,6 | 68,6 | -26,4 | | | |
| Almacenamiento | S | 0,0 | 6,6 | 86,5 | 68,9 | 50,7 | 50,7 | 50,7 | 16,2 | 26,8 | 72,5 | 141,1 | 114,7 | 685,6 | 57,1 | S |
| Evapotransp Real | Etr | 47,1 | 63,0 | 62,4 | 65,0 | 60,5 | 11,0 | 49,3 | 62,4 | 66,8 | 61,7 | 61,5 | 60,3 | 671,0 | 55,9 | Ert |
| Déficit | Déf | 14,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 47,0 | 14,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 75,4 | 6,3 | Déf |
| Exceso | Exc | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Exc |
| Precipitación T-Evapotransp Pot | P-Etp | 55,4 | 109,1 | 88,5 | -16,9 | -15,2 | -2,6 | 22,6 | 36,8 | 54,6 | 70,5 | 94,1 | 50,7 | | | |
| Coef de Thonwaite | Coef. Th | 0,91 | 1,73 | 1,42 | -0,26 | -0,25 | -0,05 | 0,35 | 0,59 | 0,82 | 1,14 | 1,53 | 0,84 | | | |
| Porcentaje de ET | | | | | | | | | | | | | | 51,9 | | % ET |
| Porcentaje de Percolación | | | | | | | | | | | | | | 8,9 | | % p |
| Porcentaje de Humedad Volumétrica | | | | | | | | | | | | | | 5,3 | | % hv |
| Porcentaie de Interceptación | | | | | | | | | | | | | | 33,6 | | % I |
| Porcentaje de Escurrentia Sup Dta. | | | | | | | | | | | | | | 0,4 | | % Esd |

Tabla 3A. Balance hídrico mensual-en Bosque nativo (mm) (Estación La Osa)

| Descripción | Año | 2005 | | | | 2006 | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|----------|-------|
| | Mes | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | Totales | Promedio | |
| Precipitación Total | P | 113,6 | 181,0 | 159 | 64,8 | 48,0 | 57,6 | 86,7 | 103,3 | 120,5 | 123,0 | 150,9 | 104,4 | 1312,8 | 109,4 | P |
| Precipitación Interna (Pluviómetros) | Pi | 13,3 | 21,3 | 93,5 | 30,5 | 30,8 | 4,8 | 44,8 | 87,4 | 45,2 | 108,7 | 99,5 | 47,5 | 627,1 | 52,3 | Pi |
| Lavaje de Tallos (Collarines) | Lt | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,31 | 0,03 | Lt |
| Porcentaje del LT | % | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,28 | 0,02 | % |
| Llega al suelo | LLs | 13,4 | 21,3 | 93,5 | 30,5 | 30,8 | 4,8 | 44,8 | 87,4 | 45,2 | 108,7 | 99,5 | 47,5 | 627,4 | 52,3 | LLs |
| Interceptación | I | 100,2 | 159,7 | 65,5 | 34,3 | 17,2 | 52,8 | 41,9 | 15,9 | 75,3 | 14,3 | 51,4 | 56,9 | 685,4 | 57,1 | I |
| Porcentaje del I | I/P(%) | 88,2 | 88,2 | 41,2 | 52,9 | 35,9 | 91,7 | 48,4 | 15,4 | 62,5 | 11,6 | 34,0 | 54,5 | 624,5 | 52,0 | % |
| Escorrentia Sup Directa (Parcelas) | Esd | 0,08 | 0,10 | 0,08 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,88 | 0,07 | Esd |
| Agua Gravitacional (Lisímetros) | Ag | 1,0 | 3,5 | 3,5 | 1,0 | 2,5 | 0,3 | 15,2 | 7,5 | 4,9 | 17,2 | 5,5 | 2,5 | 64,4 | 5,4 | Ag |
| Evapotransp Potencial | Etp | 60,1 | 61,9 | 61,4 | 63,8 | 59,5 | 57,1 | 62,6 | 61,3 | 65,7 | 60,6 | 60,4 | 59,2 | 733,6 | 61,1 | Etp |
| Variación en el almacén | ΔS | 0,0 | 0,0 | 28,6 | 0,0 | -28,6 | 0,0 | 0,0 | 18,5 | -18,5 | 30,8 | 33,5 | -14,3 | | | |
| Almacenamiento | S | 0,0 | 0,0 | 28,6 | 28,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 18,5 | 0,0 | 30,8 | 64,4 | 50,0 | 220,9 | 18,4 | S |
| Evapotransp Real | Etr | 12,3 | 17,7 | 61,4 | 29,5 | 28,3 | 4,5 | 29,5 | 61,3 | 40,2 | 60,6 | 64,4 | 59,2 | 464,9 | 38,7 | Ert |
| Déficit | Déf | 47,8 | 44,2 | 0,0 | 34,3 | 31,2 | 52,6 | 33,1 | 0,0 | 25,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 268,7 | 22,4 | Déf |
| Exceso | Exc | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Exc |
| Precipitación T-Evapotransp Pot | P-Etp | 53,5 | 119,1 | 97,6 | 1,0 | -11,5 | 0,5 | 24,1 | 40,2 | 54,8 | 62,4 | 90,5 | 45,2 | | | |
| Coef de Thonwaite | Coef. Th | 0,89 | 1,92 | 1,59 | 0,02 | -0,19 | 0,01 | 0,38 | 0,69 | 0,83 | 1,03 | 1,50 | 0,76 | | | |
| Porcentaje de ET | | | | | | | | | | | | | | 35,4 | | % ET |
| Porcentaje de Percolación | | | | | | | | | | | | | | 7,4 | | % p |
| Porcentaje de Humedad Volumétrica | | | | | | | | | | | | | | 4,9 | | % hv |
| Porcentaie de Interceptación | | | | | | | | | | | | | | 52,2 | | % I |
| Porcentaje de Escorrentia Sup Dta. | | | | | | | | | | | | | | 0,1 | | % Esd |

Tabla 4A. Balance hídrico microcuenca Paloblanco

| Meses | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | Totales | Meses |
|-------------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------------|
| P (mm) | 115,5 | 153,1 | 140,6 | 51,0 | 46,1 | 55,1 | 87,7 | 99,9 | 122,1 | 134,2 | 156,4 | 119,5 | 1284,0 | P (mm) |
| Etr (mm) | 36,7 | 37,8 | 37,5 | 39,0 | 36,3 | 7,5 | 25,9 | 35,9 | 19,2 | 4,6 | 18,0 | 22,6 | 320,9 | Etr (mm) |
| Qmed (m³/s) | 0,268 | 0,400 | 0,388 | 0,198 | 0,158 | 0,112 | 0,204 | 0,353 | 0,345 | 0,563 | 0,682 | 0,516 | 0,334 | Qmed (m³/s) |
| Qmed (mm) | 60,9 | 90,9 | 88,3 | 45,0 | 35,8 | 25,6 | 46,4 | 80,3 | 78,5 | 128,1 | 155,1 | 117,4 | 923,3 | Qmed (mm) |
| VAR S (mm) | 20,9 | 24,4 | 14,9 | -33,0 | -26,0 | 22,0 | 15,4 | -16,3 | 24,4 | 1,5 | -16,8 | -20,4 | | VAR S (mm) |
| S (mm) | 20,9 | 45,3 | 60,2 | 27,2 | 1,2 | 23,2 | 38,6 | 22,3 | 46,7 | 48,2 | 31,4 | 11,0 | 11,0 | S (mm) |
| R (l/s/km²) | | | | | | | | | | | | | 29,3 | R (l/s/km²) |

Tabla 5A. Balance hídrico microcuenca La Osa

| Meses | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | Totales | Meses |
|-------------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------------|
| P (mm) | 113,6 | 181,0 | 159,0 | 64,8 | 48,0 | 57,6 | 86,7 | 103,3 | 120,5 | 123,0 | 150,9 | 104,4 | 1312,8 | P (mm) |
| Etr (mm) | 9,8 | 9,8 | 14,2 | 49,1 | 23,6 | 22,6 | 4,5 | 23,6 | 49,0 | 40,2 | 48,5 | 48,3 | 343,3 | Etr (mm) |
| Qmed (m³/s) | 0,296 | 0,291 | 0,320 | 0,284 | 0,192 | 0,108 | 0,165 | 0,298 | 0,278 | 0,338 | 0,385 | 0,315 | 0,269 | Qmed (m³/s) |
| Qmed (mm) | 81,7 | 80,2 | 88,1 | 78,3 | 53,0 | 29,8 | 45,5 | 82,2 | 76,7 | 93,1 | 106,1 | 86,8 | 1086,0 | Qmed (mm) |
| VAR S (mm) | 22,1 | 90,9 | 56,7 | -62,6 | -28,6 | 5,2 | 36,8 | -2,5 | -5,3 | -10,3 | -3,7 | -30,7 | | VAR S (mm) |
| S (mm) | 22,1 | 113,1 | 169,8 | 107,2 | 78,6 | 83,7 | 120,5 | 118,0 | 112,7 | 102,4 | 98,7 | 68,0 | 68,0 | S (mm) |
| R (l/s/km²) | | | | | | | | | | | | | 34,4 | R (l/s/km²) |

Tabla 5A. Balance hídrico microcuenca La Osa

| Meses | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | Totales | Meses |
|-------------|------------|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------------|
| P (mm) | 116,5 | 172,1 | 150,9 | 48,1 | 45,3 | 55,4 | 86,2 | 99,2 | 121,4 | 132,2 | 155,6 | 111,0 | 1293,9 | P (mm) |
| Etr (mm) | 42,4 | 56,7 | 56,2 | 58,5 | 54,5 | 9,9 | 44,4 | 56,1 | 60,1 | 55,5 | 55,4 | 54,2 | 603,9 | Etr (mm) |
| Qmed (m³/s) | 0,027 | 0,083 | 0,114 | 0,029 | 0,027 | 0,026 | 0,047 | 0,052 | 0,046 | 0,110 | 0,127 | 0,096 | 0,063 | Qmed (m³/s) |
| Qmed (mm) | 23,2 | 74,5 | 101,7 | 26,0 | 24,4 | 21,0 | 41,8 | 46,1 | 40,9 | 98,4 | 113,1 | 85,5 | 696,5 | Qmed (mm) |
| VAR S (mm) | 50,9 | 40,9 | -6,9 | -36,4 | -33,5 | 24,5 | 0,0 | -3,0 | 20,4 | -21,7 | -12,9 | -28,7 | | VAR S (mm) |
| S (mm) | 50,9 | 91,8 | 84,9 | 48,5 | 15,0 | 39,5 | 39,5 | 36,5 | 56,9 | 35,1 | 22,3 | -6,5 | -6,5 | S (mm) |
| R (l/s/km²) | | | | | | | | | | | | | 20,8 | R (l/s/km²) |