

ESTIMACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA DERIVADA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA MICRO-CUENCA QUEBRADA CURITÍ

Guerrero Salazar, William; Cárdenas Rugeles, Yuli Pauline; Quintero Lizarazo, Cindy Paola; Torres Parrales,
Liseth Juliana

Fundación Universitaria de San Gil –UNISANGIL–
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Gil, Colombia

wguerrero@unisangil.edu.co
pauline788@hotmail.com
pao8087@hotmail.com
lisju100@hotmail.com

Resumen— Para estimar la capacidad de recarga hídrica referida a la precipitación, se aplicó el modelo propuesto por Bradbury et al. (2000), desarrollado por Vélez et al. (2005) en el departamento de Antioquia.

El método desarrollado se fundamenta en la aplicación de un balance hídrico sobre una malla digital con celdas de tamaño arbitrario que garantizan representación en cada una de las unidades hidrológicas que conforman la red principal de drenaje; estas unidades poseen información sobre las características del terreno (uso actual de suelos y propiedades físicas) y variables climatológicas.

Para el estudio de la zona se desarrollaron una serie de mapas en AUTOCAD que permitieron el desarrollo de la investigación, además de proveer información específica sobre las condiciones de estudio en la micro-cuenca como son: estructura base, uso actual del suelo, coberturas, unidades hidrológicas, ríos y drenajes, entre otros. Anexo a esto se realizó un estudio de capacidad de infiltración en campo.

Se hizo una descripción general del área de interés involucrando aspectos biofísicos, geológicos y socioeconómicos. Así mismo, se hallaron datos concernientes a la información morfológica y morfométrica de cada una de las unidades hidrológicas, como aspectos culturales que inciden en la capacidad de recarga de la cuenca (prácticas agronómicas). La información concerniente a usos y propiedades del suelo fue obtenida de los planes de ordenamiento de los municipios de San Gil y Curití, y los datos climatológicos fueron proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y reglamentación de la micro-cuenca aprobada por la Corporación Autónoma Regional de Santander, CAS.

Como resultado del estudio se identificaron las zonas que presentan mayor recarga, así como aquellas que no aportan significativamente a la recarga de la red de drenaje; se establecieron los periodos y cantidades estimadas de recarga hídrica y su comportamiento a lo largo del año. Finalmente, se formularon prácticas de manejo y conservación del recurso donde se pretende mantener el equilibrio de la micro-cuenca y su entorno.

Palabras clave: micro-cuenca Curití, recarga hídrica, balance hídrico, unidades hidrológicas y variables climatológicas

Abstract— For estimate the capacity of water Recharge refers to precipitation, it was necessary apply the model proposed by Bradbury et al. (2000), implemented by Vélez et al. (2005) in the Department of Antioquia.

The developed method is based on the implementation of a Water Balance, on a digital grid with cells of arbitrary size to guarantee representation in each of the hydrologic units

that make up the main drainage network; these units have information on characteristics of the terrain features (Current use of soils and physical properties) and climatic variables; to study the area developed a series of maps in AutoCAD, which allowed the development of research in addition to providing specific information about the study conditions in the microwatershed as: base structure, current land use, cover, hydrological units, rivers and drains among others. Annex to this is a study of infiltration capacity in the field.

It provided an overview of the area of interest involving biophysical, geological and socio-economic aspects. Also data were found concerning the morphologic information of each of the hydrologic units, and cultural aspects that affect the recharge capacity of the basin (agricultural practices). Information regarding land uses and properties was

obtained from the management plans of the municipalities of San Gil and Curití, and weather data were provided by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) and regulations adopted by the micro-basin Regional Autonomous Corporation of Santander CAS.

As a result of the study which are the areas identified as posing a higher charge, and those that do not contribute significantly to the recharge of the drainage system, were established periods and estimated amounts of water recharge and behavior throughout the year.

Finally made management practices and resource conversation which aims to maintain balance of the micro-basin and its surroundings.

Keywords: Micro-basin Curití, water recharge, water balance, hydrological and climatic variables units.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años Colombia ha concebido la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión del desarrollo y conservación de los recursos naturales; en otras palabras, se le ha identificado como punto de partida para el ordenamiento del territorio.

Las iniciativas en este campo han respondido a tendencias globales y se hicieron evidentes en los años sesenta, cuando “el servicio técnico agrícola colombo-americano (STACA) introdujo al país la práctica de reforestación” [1] como única acción para tratar de regular caudales, aumentar la capacidad de recarga hídrica, controlar calidad de agua y la degradación de los suelos.

El avance legislativo de los temas de carácter ambientales lo sustenta la Ley 99 de 1993, en cuyas iniciaciones de Política Ambiental se destaca el numeral 4 que textualmente dice: “Las zonas de páramo, subpáramo, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial”.

Aunque se ha tenido en cuenta el manejo, desarrollo y protección de las cuencas como ejes fundamentales del ordenamiento territorial, en la micro-cuenca Quebrada Curití, la información y el manejo que se tiene aún es escaso, comparada con la importancia que tiene el acuífero dentro del desarrollo del ecosistema local y regional. Por tal motivo, el estudio de la recarga es fundamental en la gestión del acuífero, para evaluar los recursos explotables y planificar acciones tendientes a facilitar su desarrollo sostenible, lo que permite establecer mecanismos alternativos que favorecen la recuperación, protección y conservación de las fuentes de agua.

Para que los sistemas abastecedores del recurso hídrico sigan cumpliendo la función de captación de agua, es necesario resguardar y preservar las condiciones apropiadas

de cada uno de ellos. Uno de los requisitos que deben cumplir las cuencas en el territorio, es el de disponer de agua abundante, con el propósito de satisfacer las necesidades de los ecosistemas y de las poblaciones que de ella se puedan servir, además de equilibrar sus funciones para lograr la sostenibilidad progresiva sin dañar su funcionamiento presente y futuro.

Tal condición se ve favorecida por el fenómeno de la recarga hídrica, que sirve como eje alimentador de la cuenca. Se ha implementado uno de los métodos más utilizados a nivel mundial, el cual permite estudiar la cantidad estimada de agua que llega a la cuenca por escorrentía, después de sufrir condiciones de evaporación, infiltración y evapotranspiración. En este sentido, para estimar la recarga se aplicó el modelo propuesto por Bradbury et al. (2000) [2], aplicado por Vélez et al. (2005) en el departamento de Antioquia.

El presente artículo contiene de forma sucinta el desarrollo de la metodología de aplicación al proceso de investigación y pautas aplicadas a las condiciones particulares de la micro-cuenca quebrada Curití, que permiten establecer las medidas necesarias para el manejo de posibles impactos ocasionados en el entorno del medio que la rodea.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio correspondió a la micro-cuenca quebrada Curití, ubicada en la parte central del departamento de Santander, hacia el margen derecho de la provincia de Guanentá. Las coordenadas geográficas de los puntos extremos de la micro-cuenca se encuentran entre: X: 1°104.000 – 1°121.000 metros, Longitud Este y Y: 1°216.000 – 1°1230.000 metros Latitud norte.

Su extensión aproximada es de 139,7 km²; nace en la vereda Palo Cortado a 2.022 msnm, tiene una longitud de aproximadamente 20,50 km y su elevación media es de 1.726 msnm [3]. La micro-cuenca hidrográfica quebrada Curití abastece los acueductos de San Gil, Curití, Barichara, Villanueva y Cabrera [4]. En el sector superior su cauce sigue la dirección sur-noreste; en el sector medio el cauce gira 45 grados, siguiendo su curso en sentido noreste hasta su desembocadura en el sistema hidrográfico río Fonce, que posteriormente tributa sus aguas a la hoya hidrográfica río Suárez [5].

A lo largo de la quebrada Curití existen vertientes que aportan caudales considerables a esta red principal de drenaje, siendo sus más significativos las unidades hidrológicas Cuchicute con una extensión de 53,48 km²; Afanadora con 12,21 km², Palo Blanco con 21,91 km², Cañaverel con 18,14 km², Ficalaña con extensión de 5,1 km², Cuevana con 4,62 km², El Consuelo con 3,31 km², Peña Negra con 5,99 km², El Salto con 3,1 km², Las Pelotas con una extensión de 1,30 km² y otros drenajes menores innominados con una extensión de 46,94 km².

La micro-cuenca Curití presenta un paisaje de lomas de clima medio húmedo (precipitación media de 1745 mm y temperatura promedio de 21.6°C) [6], constituido por suelos de relieve ligeramente inclinado y ondulado, con profundidad efectiva radicular moderada. Sus suelos son aptos para sistemas silvoagrícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles [7].

Para el establecimiento de los aspectos socioeconómicos relacionados en la zona de estudio se realizó una encuesta aplicada a una muestra seleccionada al azar, con un error del 5% y una confiabilidad del 95%. La información obtenida a través de este medio se contrastó con reportes oficiales facilitados por las alcaldías municipales de Curití y San Gil.

El análisis morfológico se realizó en cada una de las unidades hidrológicas que constituyen la micro-cuenca quebrada Curití; los parámetros analizados fueron: área, perímetro, factor de forma, coeficiente de compacidad, índice de alargamiento, índice de homogeneidad, índice asimétrico, pendiente de la cuenca (por el método de Taylor), tiempo de concentración (por el método Kirpich) [8], y elevación o altitud media.

Para el análisis morfométrico de cada una de las unidades hidrológicas que conforma la micro-cuenca quebrada Curití, se analizó la densidad y frecuencia de drenaje, así como la superficie umbral de escurrimiento de cada una de ellas.

Se implementó el método de balance hídrico sobre una malla digital con celdas de tamaño arbitrario [9] que garantizan representación en cada una de las unidades hidrológicas que conforman la red principal de drenaje. Cada unidad posee información de las variables hidrometeorológicas; la recarga se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

$$R = P - ESD - ETR - \Delta S \quad (\text{Ecu. 1})$$

Donde: R = Recarga Hídrica por precipitación (mm), P es la Precipitación Media (mm), la cual ingresa al modelo en resolución media mensual y se considera uniforme en cada una de las áreas de estudio, ETR es la Evapotranspiración Real (mm), ESD es la Escorrentía Superficial Directa (mm), estimada con el método de curva número (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, y ΔS representa la Humedad en la Zona Vadosa (mm), obtenida como el producto entre la capacidad de campo (contenido de humedad por unidad suelo) y la profundidad media de las raíces (Vélez et al., 2005) [9].

En tal sentido y para lograr la aplicación de la fórmula anterior, se implementó inicialmente el método de Thornthwaite cuyo resultado permite relacionar la temperatura, radiación solar y precipitación en la zona, para así poder estimar el almacenamiento de agua en el suelo, su exceso y déficit [10], y por último, determinar tanto la

evapotranspiración potencial (ETP) como la ETR. La fórmula de Thornthwaite es la siguiente [11]:

$$ETP = 16 (10T/I)^a \quad (\text{Ecu. 2})$$

Donde:

ETP: evapotranspiración Potencial, en mm.

T: temperatura media en °C.

I: índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales i , donde i es función de la temperatura media normal mensual.

$$I = \sum_{12} i \quad ; \quad i = (t/5)^{1,514} \quad (\text{Ecu. 3})$$

Donde:

T: temperatura media mensual en °C

a: exponente empírico, función de I

$$a = ((6,75 * 10^{-7}) * I^3) - ((7,71 * 10^{-5}) * I^2) - ((1,79 * 10^{-2}) * I) + 0,49239 \quad (\text{Ecu. 4})$$

Finalmente, la ETR se estimó en relación con las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} \text{Si } P \geq ETP, \text{ entonces, } ETR &= ETP \\ \text{Si } P < ETP, \text{ entonces, } ETR &= P + |\Delta \text{ Alm} | \end{aligned}$$

Al final el balance fue validado bajo la subsiguiente premisa: $ETP + Ex = P + Def$

Para calcular la escorrentía superficial del área de estudio, se utilizó el método denominado curva número (NC), propuesto por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU [12]. Este es un método semiempírico que correlaciona la precipitación total y la precipitación efectiva a través de un parámetro a dimensional denominado número de curva. Este número proviene de curvas que representan diferentes comportamientos de precipitación en diferentes lugares y condiciones climáticas, que fueron estandarizadas y definidas, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$ [13].

Los números de curva han sido tabulados con base al tipo y uso de suelo. Una vez identificado el porcentaje de cada uno de los usos de suelo de la unidad hidrológica, estos se clasificaron según su clase textural implícita también en los respectivos planes de Ordenamiento Territorial. Cada clase textural se identificó dentro de un grupo (A, B, C, D); el número de curva total o ponderado es la sumatoria de los números de curva de cada uso de suelo distribuido en cada grupo textural [13].

$$CN = \% \text{ de uso} * CN_i \quad (\text{Ecu. 5})$$

Donde:

CN= Curva de Número por uso de suelo
% de uso= porcentaje de uso de suelo con respecto al área total

CNi= Curva Número inicial para el uso de suelo
CNp= \sum CNi de un mismo grupo textural (Ecu. 6)

Donde:

CNp= Curva Número ponderada para un grupo textural
CNt= \sum CNp de los grupos texturales existentes en la unidad hidrológica. (Ecu. 7)

Donde:

CNt= Curva Número total de cada unidad hidrológica. (Ecu. 8)

Una vez calculada la CNt, se determinó la retención potencial máxima de humedad a la máxima cantidad de lluvia que la cuenca puede absorber. Este dato está relacionado inversamente proporcional a los números de curva por escorrentía; es decir, en zonas de la cuenca donde no se produce escurrimiento superficial se tendrán números de curva bajos o nulos, y zonas de alto escurrimiento (pavimentos, construcciones) manejarán muy baja retención y números altos de curva [13].

El número de curva y la retención potencial máxima S se relacionaron por la siguiente fórmula:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4 \quad (\text{Ecu. 8})$$

Donde:

S= Retención Potencial Máxima de Humedad, en mm.
CN=Numero de Curva según SCS.

Es así como la escorrentía superficial directa, asumida como el agua que escurre por el terreno y que confluye directamente hacia las fuentes hídricas y cauces [14], se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$ESD = \frac{(P - (0.2 * S))^2}{P + (0.8 * S)} \quad (\text{Ecu. 9})$$

Donde:

ESD = Escorrentía Superficial Directa, en mm.
P = Precipitación, en mm.
S = Retención Potencial Máxima, en mm

Por último, se calculó la humedad en la zona vadosa (AS) o zona no saturada del suelo, situada entre la superficie del suelo y el acuífero (esta zona sirve como base para la vida terrestre, no sólo como soporte físico, sino que sirve de medio y posibilita el crecimiento vegetal y microbiano). La humedad en la zona vadosa se obtuvo como el producto entre la capacidad de campo (contenido de humedad por unidad de suelo) y la profundidad media de las raíces del suelo.

La información hidrometeorológica reportada por el IDEAM [15], se trató de tal forma que se pudieron establecer valores promedios válidos para toda la zona de estudio (Polígonos de Tihessen), de tal forma que la variación en la recarga fue determinada por la heterogeneidad de los diferentes usos de suelo y propiedades físicas del mismo en cada unidad hidrológica. El cálculo de la recarga se hizo para un período base de estudio de quince (15) años (enero de 1988 - diciembre de 2002).

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Aspectos socioeconómicos

El tiempo de residencia en la zona de la mayor parte de las familias (95%) es alto, 21 años en promedio, y solo un pequeño porcentaje (5%) lleva viviendo menos de 5 años en el área. Esto, unido al promedio de edad de los productos (48 años), y al hecho de que la mayor parte de las familias posee más de tres hijos, sugiere la existencia de una tradición fuerte de apego a la tierra, actitud que, en principio, parece favorecer la aceptación y respaldo a planes bien concebidos de ordenación del territorio.

La anterior apreciación se corrobora al establecer que más del 80% de la población encuestada pertenece a alguna organización de tipo comunitario, ya sea a la respectiva Junta de Acción Comunal o a una Cooperativa o a Asociación Gremial. Por otro lado, la mayor parte de los propietarios (80%) labora en su propia parcela pero existe un pequeño porcentaje que se ocupa adicionalmente de otros trabajos, principalmente del procesamiento de fique, para complementar sus ingresos.

Los datos obtenidos durante el presente trabajo indican que en la zona se presenta un ligero predominio de la denominada propiedad empresarial (fincas entre 20 - 50 hectáreas), seguido de parcelas entre 5 y 10 hectáreas (pequeña propiedad) que ocupan alrededor del 20% de la zona. El minifundio (menos de 5 hectáreas) y la mediana propiedad (10 a 20 hectáreas) alcanzan cada una el 19%, mientras que las propiedades de más de 50 hectáreas (latifundio) solo representan el 5% del total.

En relación a la tenencia de la tierra, se tiene que más del 80% de los habitantes son propietarios de los predios, en tanto que existen alrededor de 15% de aparceros y 5% de vivientes. La zona es predominantemente agropecuaria, aunque existen algunas explotaciones mineras localizadas que son fuente importante de empleo para algunas familias.

Los cultivos principales son café, tabaco y frijol y en menor proporción aparecen yuca, maíz, plátano, fique, caña, tabaco y cítricos. La ganadería se practica generalmente en los predios de mayor superficie pero en las fincas pequeñas se poseen algunos semovientes para el autoconsumo de leche.

El café sembrado es de tipo tradicional, variedades Colombia y Arábica, en sistemas multiestrata con árboles de sombra como plátano, guamo y nogal cafetero. La comercialización de estos productos se realiza principalmente a través de intermediarios que compran las cosechas en San Gil o de instituciones como cooperativa de caficultores y Protabaco.

B. Análisis morfológico

El factor de forma de cada una de las unidades hidrológicas es relativamente pequeño, lo que indica que son menos propensas a la presencia de lluvias intensas y simultáneas sobre su superficie. Por otro lado, los coeficientes de compacidad reflejan la forma oval-redonda de casi todos los terrenos y tiempos de concentración considerables, lo que se traduce en un espacio de tiempo moderado en la retención de lluvias. También se deduce por los índices de alargamiento, que algunas unidades como La Afanadora, Ficaleña, Cañaveral, Las Pelotas y Cuevana presentan una red de drenaje en forma de abanico, donde los drenajes de cada orden están cerca unos de otros y se definen tramos principales de drenajes cortos. Las unidades Palo Blanco, El Salto, Cuchicute, El Consuelo y Peña Negra presentan redes de afluentes que forman patrones de drenaje paralelos al curso de agua principal, lo que sugiere las formas alargadas en los diferentes terrenos.

Los índices de asimetría permiten identificar a casi todas las unidades hidrológicas como fuentes simétricas, a excepción de El Salto y Cañaveral que guardan cierta asimetría valorada como factor de desigualdad entre las vertientes, presumiendo un recargo de las redes de agua hacia el este de los terrenos. Se presentan condiciones en la distribución de elevaciones de la micro-cuenca en la mayoría de las unidades hidrológicas, que son poco favorables para el movimiento del agua a las corrientes principales, ya que sus formas de relieve varían desde planas y suaves en la parte baja, media y media-alta, hasta accidentadas y fuertes en el cono de recepción.

Los tiempos de concentración obtenidos relacionan las características del relieve en cada unidad con su extensión y la cantidad de drenajes que dentro de ellas se manejan; así, se observan características particulares en las unidades Cañaveral y Salto o Madroño, que por ser terrenos casi planos y suaves, presentan tiempos de concentración muy elevados; caso contrario en la unidad Cuchicute, que presenta un porcentaje de extensión representativa dentro del área total de la micro-cuenca, y sin embargo mantiene un tiempo de concentración bastante menor gracias a la forma escarpada de su relieve.

C. Análisis morfométrico

En general, la micro-cuenca se encuentra bien drenada, y los sistemas de drenaje se encuentran homogéneamente distribuidos en la superficie de la unidad. Un aspecto que facilita el sistema de drenaje es la cantidad de ríos y cursos



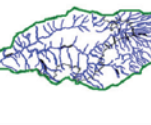

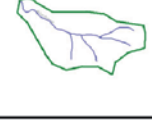
de agua de primer orden que incluyen gran parte de la superficie y permiten un equilibrio del sistema de abastecimiento para los suelos del área.

Tan solo tres unidades hidrológicas (Cuevana, Las pelotas y El Salto) de las 11 que conforman la micro-cuenca quebrada Curití, presentan deficiencia de afluentes de órdenes menores, en relación con la extensión del suelo. Los pocos afluentes existentes desembocan en un sistema de drenaje principal que atraviesa casi toda la cuenca, lo que dificulta el drenaje adecuado del suelo.

Las superficies umbrales de escurrimiento de las unidades hidrológicas oscilan entre 1,1 y 2,8; es decir, que dependiendo del terreno, existen áreas que necesitan entre 1,1 y 2,8 km² de área para recoger escorrentía suficiente que permita sostener un drenaje importante. La superficie umbral de la micro-cuenca Curití es de 2.05, lo que sugiere un factor medio para concentrar un cauce importante. La tabla I registra las principales características anteriormente descritas.

TABLA I
PRINCIPALES CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICAS DE LA
MICRO-CUENCA POR SECTORES Y UNIDADES
HIDROGRÁFICAS

UNIDAD HIDROLÓGICA	CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICA	VALOR
AFANADORA	Factor de forma (Ff)	0,45
	Coefficiente Compacidad (Kc)	1,38
	Índice Alargamiento (Ia)	1,81
	Índice Homogeneidad (Ih)	0,63
	Índice Asimétrico (Id)	4,75
	Pendiente Media (S)	7,49
	Tiempo Concentración (Tc)	41,41
	Elevación media (Em)	1525
PALO BLANCO	Factor de forma (Ff)	0,28
	Coefficiente Compacidad (Kc)	1,58
	Índice Alargamiento (Ia)	3,75
	Índice Homogeneidad (Ih)	0,67
	Índice Asimétrico (Id)	1,27
	Pendiente Media (S)	3,84
	Tiempo Concentración (Tc)	83,38
	Elevación media (Em)	1600
CAÑAVERAL	Factor de forma (Ff)	0,5
	Coefficiente Compacidad (Kc)	1,42
	Índice Alargamiento (Ia)	1,59
	Índice Homogeneidad (Ih)	0,37
	Índice Asimétrico (Id)	3,12
	Pendiente Media (S)	2
	Tiempo Concentración (Tc)	567,41
	Elevación media (Em)	1700
FICALÉÑA	Factor de forma (Ff)	0,23
	Coefficiente Compacidad (Kc)	1,43
	Índice Alargamiento (Ia)	2,8
	Índice Homogeneidad (Ih)	0,59
	Índice Asimétrico (Id)	1,66
	Pendiente Media (S)	7,80
	Tiempo Concentración (Tc)	42,78
	Elevación media (Em)	1925
EL CONSUELO	Factor de forma (Ff)	0,23
	Coefficiente Compacidad (Kc)	1,38
	Índice Alargamiento (Ia)	3,01
	Índice Homogeneidad (Ih)	0,64
	Índice Asimétrico (Id)	1,27
	Pendiente Media (S)	26,15
	Tiempo Concentración (Tc)	20,60
	Elevación media (Em)	1700
	Factor de forma (Ff)	0,23

UNIDAD HIDROLÓGICA		CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICA	VALOR
CUEVANA		Factor de forma (Ff)	0,38
		Coficiente Compacidad (Kc)	1,34
		Índice Alargamiento (Ia)	1,45
		Índice Homogeneidad (Ih)	0,6
		Índice Asimétrico (Id)	1,1
		Pendiente Media (S)	8,63
		Tiempo Concentración (Tc)	24,43
		Elevación media (Em)	1925
EL SALTO O MADROÑO		Factor de forma (Ff)	0,1
		Coficiente Compacidad (Kc)	2,0
		Índice Alargamiento (Ia)	5,1
		Índice Homogeneidad (Ih)	0,6
		Índice Asimétrico (Id)	1,37
		Pendiente Media (S)	7
		Tiempo Concentración (Tc)	125,47
		Elevación media (Em)	1700
CUCHICUTE		Factor de forma (Ff)	0,29
		Coficiente Compacidad (Kc)	1,33
		Índice Alargamiento (Ia)	2,16
		Índice Homogeneidad (Ih)	0,62
		Índice Asimétrico (Id)	1,16
		Pendiente Media (S)	14,70
		Tiempo Concentración (Tc)	67,9
		Elevación media (Em)	1700
PEÑA NEGRA		Factor de forma (Ff)	0,33
		Coficiente Compacidad (Kc)	1,38
		Índice Alargamiento (Ia)	2,54
		Índice Homogeneidad (Ih)	0,76
		Índice Asimétrico (Id)	1,31
		Pendiente Media (S)	8,43
		Tiempo Concentración (Tc)	34,56
		Elevación media (Em)	1750
LAS PELOTAS		Factor de forma (Ff)	0,41
		Coficiente Compacidad (Kc)	1,27
		Índice Alargamiento (Ia)	2,05
		Índice Homogeneidad (Ih)	0,65
		Índice Asimétrico (Id)	1,91
		Pendiente Media (S)	4,73
		Tiempo Concentración (Tc)	22,16
		Elevación media (Em)	1500

D. Recarga hídrica

La información meteorológica utilizada como base para la aplicación del balance hídrico fue toma de estaciones climatológicas de áreas cercanas a la zona de estudio, ya que no existen estaciones climatológicas reconocidas por el IDEAM en el sitio de interés. Para la obtención de los datos se realizó triangulación por polígonos de Thiessen con las estaciones Escuela Agronómica y El Cucharero de los municipios de Mogotes y San Gil respectivamente; por lo tanto, el comportamiento de los datos puede presentar variaciones interesantes que alterarían el balance en un momento dado.

El balance hídrico permitió establecer que la micro-cuenca Curití cuenta con una precipitación suficiente que soporta la producción agropecuaria adecuadamente durante los meses de marzo a noviembre, presentando algunos déficits de diciembre a febrero, los cuales no alcanzan a ser suplidos por el almacenamiento de agua del suelo.

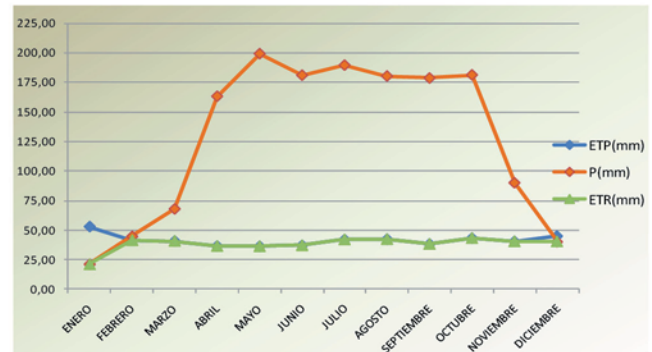


Figura 1. Comportamiento Grafico de la P, ETP y ETR en el Balance Hídrico micro-cuenca Quebrada Curití

El análisis específico de la recarga hídrica presenta condiciones preocupantes, teniendo en cuenta que si bien es

cierto que los niveles de precipitación sobre la micro-cuenca registran una media multianual de 1.539,8 mm., encontrando su nivel más alto en el mes de mayo, con un aporte medio de 199,4 m.m.; el agua que sale en mayor proporción lo hace a través de la escorrentía superficial directa (ESD), por un total del 55%, que equivale a 840,04 mm.

De la misma manera, y teniendo en cuenta la temperatura media de la zona y las horas luz a que está expuesta la superficie, tal como lo expresa el balance hídrico, la evapotranspiración real anual (ETR) es alta, aproximadamente de 442,82 mm., que equivale al 29% del agua precipitada.

Determinando el agua útil para el desarrollo de la vida terrestre conocida como humedad en la zona vadosa (S), (vale decir, situada entre la superficie del suelo y el acuífero), se reportan datos medios anuales cercanos a 162,12 mm., que representan el 11% del agua de entrada en la micro-cuenca, presentando su máxima representación en relación con la lluvia de cada mes en noviembre, periodo en el que finaliza una de las fases de lluvia en el año.

En términos generales, la recarga del acuífero presenta los niveles más bajos de participación en relación con la lluvia, encontrando que solo se almacena en el suelo el 6% del agua precipitada, equivalente a 94,82 mm./año. Se destaca que en los meses de diciembre, enero y febrero no se registra recarga, ya que la lluvia de esos periodos no es suficiente para suplir las condiciones del suelo y del balance hídrico. Entretanto, los meses de mayo y junio se muestran como los de mayor recarga, con 16,9 mm. y 15 mm. respectivamente. La tabla II sintetiza la información descrita anteriormente.

TABLA II
COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES QUE
INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE LA RECARGA
HÍDRICA EN LA MICRO-CUENCA QUEBRADA CURITÍ

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Media anual
P(mm)	21,4	45,0	68,2	163,4	199,4	181,2	189,7	180,5	178,8	181,5	90,3	40,4	1539,8
ESD	1,3	8,2	20,7	93,6	125,1	109,0	116,5	108,4	106,7	109,3	35,4	6,2	840,04
ETR	19,8	32,4	40,8	36,6	36,4	37,1	42,0	42,3	38,3	43,2	40,6	33,4	442,82
S	0,3	4,5	6,3	20,4	21,1	20,1	19,2	18,7	20,4	18,4	12,0	0,8	162,12
R	0,0	0,0	0,5	12,8	16,9	15,0	12,1	11,1	13,4	10,7	2,3	0,0	94,82

La representación gráfica de la información del comportamiento de las variables precipitación, ESD, ETR, S y R que intervienen en el cálculo de la recarga hídrica, se expone en la figura 2, evidenciando que la mayor salida de agua de la cuenca se origina partir de la escorrentía superficial directa; excepto en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, cuando es superada por evapotranspiración real, debido a que en esos meses en particular la lluvia es poco representativa y la temperatura y las horas luz aumentan, provocando que las mayores salidas de agua de la cuenca sea en forma de vapor.

Se destaca que el comportamiento de la ETR es simétrico, cuyos rangos durante todo el año oscilan entre 19,8 mm. y 43,2 mm.

Entretanto, el almacenamiento de agua en la micro-cuenca, representado por la humedad de la zona vadosa y la recarga, son los registros más bajos y vulnerables de la zona de estudio, los cuales en ningún mes superan los 20,4 mm., (en relación con la precipitación generada en el mismo mes), sin que presenten variaciones significativas entre la una y la otra, cuya máxima diferencia se registra en abril, siendo ésta de 8,6 mm., pero en todo momento, la acumulación de agua en la zona vadosa fue superior a la de agua en el suelo. La figura 2 representa dicha información.

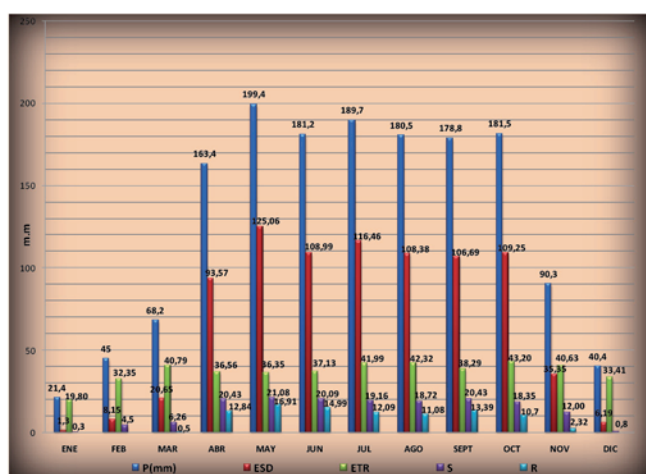


Figura 2. Comportamiento gráfico de las variables que intervienen en el cálculo de la recarga hídrica de la micro-cuenca Quebrada Curití

Haciendo un análisis sobre la participación porcentual de cada una de las variables objeto de estudio, se ratifica la información anterior, denotando que la menor ESD generada en el periodo de análisis corresponde al mes de enero, la que no supera el 6,07%, de las precipitaciones del mes; situación que se deriva por dos acontecimientos, el primero relacionado con la poca lluvia del periodo (21,4 mm.), y la segunda con la gran capacidad de absorción de humedad del suelo y la zona vadosa, luego de un periodo de verano. Asimismo, la mayor ESD se presenta en el mes de mayo, periodo con la mayor intensidad de precipitación, y momento para el cual el suelo y la vegetación se ha saturado al estar pasando un periodo de lluvias.

El comportamiento de la ETR es inversamente proporcional al registrado por la ESD; por tanto, el periodo con mayor ETR es el mes de enero, con el 92,52% del total del agua llovida durante el mismo mes, situación derivada de las variables que caracterizan el periodo de verano en la zona; por ende, la ETR más baja se registró en mayo con el 18,23% de la precipitación del mes.

En relación con S, se pudo establecer que su máximo almacenamiento se registra al finalizar los periodos de lluvias del año, con una participación máxima del 13,29% en el mes de noviembre, y con tan solo el 1,4% en enero; esto asociado con la poca disponibilidad de agua en el ambiente, y con los aportes de sus reservas para el sostenimiento de la fauna y flora en este periodo.

Finalmente, se confirma que la recarga hídrica derivada de la precipitación en la micro-cuenca quebrada Curití es nula en los meses de diciembre, enero y febrero, y que en este periodo, los cauces de esta importante red hídrica se sostienen con los pocos almacenamientos que se generan en los meses de marzo a noviembre, destacando que su máxima expresión se evidencia en el mes de junio, con tan solo una participación del 8,27% de la lluvia generada en el mismo mes. La tabla III registra esta información.

TABLA III
COMPORTAMIENTO PORCENTUAL DE LAS VARIABLES
QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE LA RECARGA
HÍDRICA EN LA MICRO-CUENCA QUEBRADA CURITÍ

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
ESD	6,07%	18,11%	30,28%	57,26%	62,72%	60,15%	61,39%	60,04%	59,67%	60,19%	39,15%	15,32%
ETR	92,52%	71,89%	59,81%	22,37%	18,23%	20,49%	22,13%	23,45%	21,41%	23,80%	44,96%	82,70%
S	1,40%	10,00%	9,18%	12,50%	10,57%	11,09%	10,10%	10,37%	11,43%	10,11%	13,29%	1,98%
R	0,00%	0,00%	0,73%	7,86%	8,48%	8,27%	6,37%	6,14%	7,49%	5,90%	2,57%	0,00%

La figura 3 permite visualizar con mayor claridad la información, encontrando que las variables más representativas del análisis de recarga hídrica en la micro-cuenca Curití son ESD y ETR (las dos implican salidas rápidas de agua de la red hídrica). Entretanto, las variables S y R presentan comportamientos similares que no superan el 14% de participación en relación con la lluvia mensual

aportada en la cuenca; situación que es de gran relevancia, si se tiene en cuenta que estas variables son las que indican absorción y almacenamiento de agua que, en últimas, permiten la recarga hídrica del acuífero.

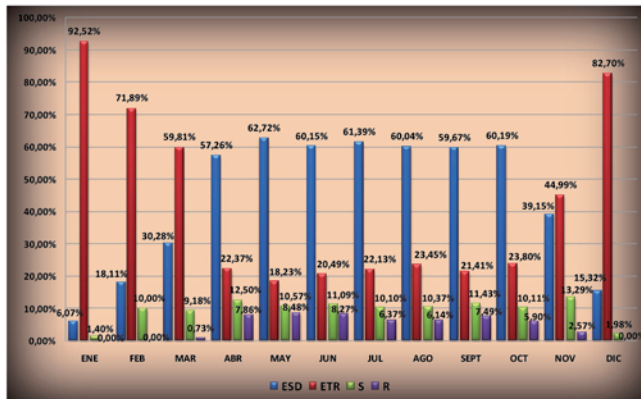


Figura 3. Comportamiento gráfico de las participaciones porcentuales de las variables que intervienen en el cálculo de la recarga hídrica de la micro-cuenca Quebrada Curití

IV. CONCLUSIONES

El clima templado seco y templado húmedo son las dos condiciones predominantes que se presentan en la zona de estudio; la primera de ellas sobre la zona occidental, y la otra extendida en la zona oriental de la micro-cuenca. Esto corrobora el régimen climático actual influido por dos periodos secos y dos periodos de lluvias.

El fenómeno de la recarga hídrica se presenta de forma similar; en general existe un periodo de recarga que coincide con la época de lluvia de la micro-cuenca entre los meses de abril a octubre, donde el nivel más alto de recarga se da en mayo; y un periodo de recesión en la recarga de la fuente marcado desde los meses de diciembre a marzo, en donde factores como las necesidades de humedad del suelo y de la vegetación exceden la precipitación que cae en la zona.

Gracias a que la investigación se enfocó en las principales unidades hidrológicas que conforman la red de drenaje, se identificaron aspectos como el comportamiento climático y las condiciones de tipo físico (análisis morfológico y morfométrico) de cada una de las unidades. Así mismo, se identificó la influencia de cada una de ellas en el proceso de recarga del acuífero, indicando que Afanadora y Cuchicute son las que representan mayor porcentaje de aporte a la micro-cuenca (72%); el porcentaje restante lo aportan, en orden de importancia, Peña Negra, Palo Blanco, Cuevana, El Salto y Cañaveral. No participan en el proceso de recarga en ninguna época del año las unidades El Consuelo, Las Pelotas y Ficalaña.

Es de vital importancia mantener coberturas eficientes en los terrenos, de forma que protejan la superficie del suelo, así como incorporar prácticas agrícolas en el manejo de suelos encaminadas a permitir el paso de agua a través del

perfil y aumentar la capacidad de retención de los mismos, de tal forma que impidan en cierto grado la escorrentía que pueda llegar a generarse. Los pastos, bosques y cultivo de café bajo sombrío son un ejemplo claro del uso de suelo efectivo al momento de permitir el almacenamiento de agua y favorecer la conservación de los mismos.

Es evidente la restringida capacidad de recarga de la micro-cuenca, que se asocia principalmente al uso del suelo, sus tipos de cobertura y las clases texturales de los mismos. Aunque el estudio no realizó análisis del subsuelo ni geológicos, se puede inferir que es absolutamente importante proteger los acuíferos superficiales existentes, ya que son la fuente de agua más cercana, dejando muy pocas posibilidades al hallazgo de fuentes subterráneas, y si existen, se localizarán a grandes profundidades, lo que haría económicamente inviable su aprovechamiento.

REFERENCIAS

- [1] COLOMBIA, IDEAM. Guía técnica científica para la ordenación de las cuencas hidrográficas en Colombia, 2ª edición, Bogotá 2007. p. 13 (132).
- [2] BRADBURY, K., et al 2000. Refinement of two methods for estimation of groundwater recharges rates. Wisconsin: University of Wisconsin, 84 pp.
- [3] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER, CAS. Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del Municipio de Curití. San Gil, 2007: HMSO.
- [4] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER CAS. Administración Municipal de San Gil. Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del Municipio de San Gil. San Gil, 2003: HMSO.
- [5] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER CAS. Administración Municipal de San Gil. Reglamentación de la Micro Cuenca Curití, Municipio de Curití, Departamento de Santander. San Gil, 2008: HMSO.
- [6] ÁLVAREZ, María Luisa. Determinación de pérdidas de suelo en tres sistemas de manejo, agricultura orgánica, convencional y de sol malezas en el municipio de Curití, Departamento de Santander. Tesis para optar el Título de Ingeniera Ambiental. Socorro: Universidad Libre de Colombia Seccional Socorro, 2003.
- [7] GONZÁLEZ, Ramón. Estudio General de la Parte Baja de la Micro Cuenca Curití. Proyecto de Agro ecología y Medio Ambiente en Convenio con SEPAS y COLCIENCIAS. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1990.
- [8] HENAO, Jesús. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá. Universidad Santo Tomás, Centro de Enseñanza Desescolarizada, 1988; Unid 1, 2, 3, 6. p 34-210; 363-376.
- [9] ARISTIZÁBAL, Héctor. JARAMILLO, María. Aplicación metodológica para la estimación de la recarga potencial por precipitación en la zona centro del departamento del Valle del Cauca. En: Ingeniería de Recursos Naturales y el Ambiente. 2006. Edición No 5. P. 39-43.
- [10] TORRES P, Hernando. Climatología. 2ª ed. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia; Enero de 1987. p. 345-380.
- [11] LEDESMA J, Manuel. Climatología y Meteorología Agrícola. Paraninfo Editores S.A.; España, 2000.
- [12] CUSTODIO, E., 1997. Recarga de acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica, p.19-39. Las Palmas de Gran Canaria.
- [13] MORDIMENT, David R. Mays, Larry W. Te Chow, En: Hidrología Aplicada. Madrid, 1ª edición en español, Martha Edna Suárez; España, 2000.p 25-270.

- [14] SÁNCHEZ, D. Ángel. Sistemas de Riego. Manuales de Técnica Agropecuaria. 3 ed. Editorial Acribia. Corporación Autónoma Regional de Zaragoza (España). p. 129.
- [15] COLOMBIA, IDEAM. Guía técnica científica para la ordenación de las cuencas hidrográficas en Colombia, segunda edición, Bogotá 2007. p. 13 (132).