

BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA DEL RIO QUEBRADAS

Marilyn Romero

RESUMEN

La subcuenca del río Quebradas es importante desde el punto de vista hídrico ya que constituye la fuente principal de abastecimiento de agua potable, tanto a la población local, como a la ciudad de San Isidro de El General. De ahí que el conocimiento de la cantidad y distribución espacial y temporal de la recarga de aguas subterráneas sea muy valioso. Para ello se aplicó el balance hídrico de acuerdo con Thornthwaite y Mather (1957) (modificado), según uso del suelo, unidad geomorfológica y zona climática.

Como resultado la cantidad de agua para la recarga está determinada principalmente por las condiciones climáticas y en segundo término por el uso del suelo. Esto significa que el período de aporte a la recarga bajo bosque es menor que el que se presenta en el pasto. La recarga anual total en la subcuenca es de 0.050 km³.

Otro aspecto importante es la calidad del agua potable, en este caso relacionada

con el material en suspensión producto de la erosión hídrica. En la subcuenca se presentan problemas de suelos expuestos a la erosión, cárcavas y deslizamientos. Estos últimos se presentan principalmente a lo largo de la carretera interamericana. El material en suspensión estimado durante un evento de lluvias torrenciales corresponde a 3082.2 mm. (en 1990 l/s.).

INTRODUCCION

Los problemas de escasez de agua son explicables en función de la distribución desigual de las lluvias, espacial y temporalmente, así como de las condiciones geomorfológico, edafológicas y de uso del suelo.

Un período seco prolongado puede ocasionar problemas de abastecimiento de agua potable. Razón por la cual las aguas subterráneas en esta época, son importantes para suplir dichas necesidades.

Por otro lado, en la época lluviosa, las lluvias intensas, las fuertes pendientes, y el mal uso del suelo generan problemas de erosión. Se produce una disminución en la calidad del agua potable, debido a la turbidez que ocasiona el material en suspensión que es transportado hasta el cauce del río principal.

En la presente investigación, se determinaron las condiciones hídricas de la subcuenca del río Quebradas, mostrándose la variación espacial y temporal del déficit de humedad y de la recarga de aguas subterráneas, mediante la elaboración de balances hídricos mensuales según zona climática, unidad geomorfológica y uso del suelo.

También se señalaron aquellos sectores con problemas de erosión hídrica donde la pérdida de suelo fértil, está repercutiendo en la calidad del agua potable.

METODOLOGIA

El primer problema señalado, la variación espacial y temporal del déficit de humedad y de la recarga de aguas subterráneas se resolvió con base en el método de Thornthwaite y Mather (1957), que consiste en la elaboración de balances hídricos mensuales según zona climática, unidad geomorfológica y uso actual del suelo. Este método fue ajustado a Costa Rica por Herrera (1988) y aplicado a sectores específicos del país por Hernando (1988) y Chan (1988).

El método consiste en la cuantificación de algunos componentes del ciclo hidrológico como son la precipitación y la evapotranspiración potencial, relacionados con condiciones edáficas (punto de marchitez permanente y capacidad de campo) y uso del suelo (profundidad de raíces).

En su forma más simple se expresa en la siguiente fórmula:

$$P = Es + R \quad (1)$$

P = Precipitación

Es = Escorrentía superficial

ETA = Evapotranspiración actual

R = Recarga

Para la presente investigación se incluyeron dos aspectos utilizados por Hernando (1988) y Chan (1988), no tomados en cuenta por Thornthwaite (1957), como son la metodología empleada para el cálculo de la evapotranspiración potencial y la estimación de la escorrentía superficial para la corrección de la precipitación. Además, para la obtención de la humedad del suelo disponible (HSD) se utilizó una fórmula derivada de las tablas elaboradas por Thornthwaite para tal fin. Estos aspectos fueron tomados en cuenta para una mayor exactitud de los resultados.

A continuación se describen los pasos metodológicos necesarios para el cálculo del balance hídrico (cuadro 1.1 Y 1.2):

1. Determinación de la precipitación media mensual (P) de la subcuenca. Para obtener los valores de precipitación media anual, se utilizaron los datos de 12 estaciones pluviométricas (cuadro 2), se calculó un factor de corrección por mes, tomando como base una estación con características climáticas similares a la estación a corregir y con un registro mayor. Con base en esta información, se elaboró un mapa de isoyetas anuales a 1:50000. Dicha información se trasladó al área de estudio a escala 1:20000. Con base en este mapa y en los registros mensuales de las estaciones pluviométricas vecinas, se obtuvo la precipitación media mensual de la subcuenca, (Romero, M., 1989).
2. Estimación de la escorrentía superficial (Es), la cual se calculó mediante el método gráfico de separación de hidrogramas (Dunne y Leopold, 1978). Para ellos se utilizaron los registros de caudales de la estación hidrométrica Chimirol.
3. Corrección de la precipitación media mensual (Pc), obtenida en el punto 1, con respecto de la escorrentía superficial (es). O sea, $P_c = P - Es$.
4. Estimación de la evapotranspiración potencial mensual (ETP). Para ello fue necesario calcular primero la temperatura máxima, mínima y media mensual según las fórmulas de correlación de Herrera (1988). Posteriormente se estimó la evapotranspiración potencial con base en el método de Hargreaves (1981).
5. Se determina la diferencia mensual entre la precipitación (PC) y la evapotranspiración potencial (ETP) o sea $PC - ETP$. Valores positivos signifi-

**CUADRO 1.1.
BALANCE HIDRICO**

ZONA: G1
UNIDAD: DIVISORIA
AREA: 0.160 km²
USO: PASTO

PROFUNDIDAD DE RAICES: 22 cm.
AGUA DISPONIBLE: 16.2%
LAMINA DE AGUA DISPONIBLE: 35.6 mm

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
P	29.9	63.7	88.5	247.4	544.9	450.9	331.3	449.0	599.7	645.5	342.5	89.7	3.881.2
Es	4.5	4.8	4.8	10.4	15.8	66.7	62.6	92.5	95.9	138.8	33.6	8.1	8.6
Pc	25.3	58.8	83.8	237.0	529.1	384.2	268.7	356.5	533.7	506.7	309.0	81.6	3.374.6
ETP	138.1	142.5	175.9	166.7	152.8	146.8	152.1	153.7	147.5	144.1	128.1	128.7	1.777.2
Pc-ETP	-112.7	-83.7	-92.2	70.3	376.3	237.4	116.5	202.8	386.2	362.6	180.9	-47.0	
PPA	-159.8	-243.4	-335.6	—	—	—	—	—	—	—	—	-47.0	
HSD	0.3	0.0	0.0	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	9.3	
^HSD	-8.9	-0.3	-0.0	35.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-26.4	
ETA	34.2	59.1	83.7	166.7	152.8	146.8	152.1	153.7	147.5	144.1	128.1	108.0	1.474.8
D	103.9	83.4	92.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.7	301.2
G	0.0	0.0	0.0	34.7	376.3	237.6	116.5	202.8	386.2	362.6	180.9	0.0	1.897.8
R (Kes3)	0.0	0.0	0.0	0.00001	0.00006	0.00004	0.00002	0.00003	0.00006	0.00006	0.00003	0.0	0.00003

**CUADRO 1.2
BALANCE HIDRICO**

ZONA: 61 **PROFUNDIDAD DE RAICES:** 60 cm.
UNIDAD: DIVISORIA **AGUA DISPONIBLE:** 16.2%
AREA: 0.057 km² **LAMINA DE AGUA DISPONIBLE:** 97.2 mm.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC. TOTAL
P	29.9	63.7	88.5	247.4	544.9	450.9	331.3	449.0	599.7	645.5	342.5	89.7 3,883.2
Es	4.5	4.8	4.8	10.4	15.8	66.7	62.6	92.5	65.9	138.8	33.6	8.1 508.6
Pc	25.3	58.8	83.8	237.0	529.1	384.2	268.7	356.5	533.7	506.7	309.0	81.6 3,374.6
ETP	138.1	142.5	175.9	166.7	152.8	146.8	152.1	153.7	153.7	147.5	144.1	128.7 1,777.2
Pc-ETP	-112.7	-83.7	-92.2	70.3	376.3	237.4	116.5	202.8	386.2	362.6	180.9	-47.0
PPA	-159.8	-243.4	-335.6	—	—	—	—	—	—	—	—	-47.0
HSD	18.2	7.5	2.9	73.2	97.2	97.2	97.2	97.2	97.2	97.2	97.2	59.3
^HSD	-41.1	-10.6	-4.7	70.3	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-37.9
ETA	66.5	69.5	88.4	166.7	152.8	146.8	152.1	153.7	147.5	144.1	128.1	119.5 1,536.0
D	71.6	73.0	87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2 241.3
G	0.0	0.0	0.0	0.0	352.2	237.4	116.5	202.8	386.2	362.6	180.9	0.0 1,838.7
R (KES3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00002	0.00001	0.00007	0.00001	0.00002	0.00002	0.00001	0.0 0.00001

can que la precipitación excede a la evapotranspiración potencial. Valores negativos indican que la precipitación no satisface las necesidades meteorológicas.

6. Se estima la pérdida potencial acumulada (PPA) de agua por mes sumando los valores negativos de PC - ETP.
7. Se calcula la humedad del suelo disponible actual (HSD) por mes.

La HSD está determinada por la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la profundidad de las raíces cuando los valores de PC - ETP son positivos. Cuando son valores negativos está además determinada por la pérdida potencial acumulada.

La humedad del suelo disponible actual se calculó mediante la fórmula 2 (derivada de Thornthwaite y Mather):

$$\text{HSD} = \text{LAD} * e^{-\text{A} * \text{PPA}} \quad (2)$$

Donde:

LAD (lámina de agua disponible) = $((\text{CC} - \text{PMP}) * \text{Pro})/10$ (mm.)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = punto de marchitez permanente (%)

Pro = profundidad de raíces (cm.)

PPA = pérdida potencial acumulada (mm.)

A = $1.02/\text{LAD}$

HSD = humedad del suelo disponible actual (mm.)

La LAD (lámina de agua disponible) se aplicó para estimar la humedad del suelo disponible actual en los meses en que la precipitación excede a la evapotranspiración potencial.

El cambio en la humedad del suelo (HSD) se obtiene de la diferencia de la humedad del suelo (HSD) de un mes a otro. Los valores negativos indican la cantidad de agua cedida a las plantas mientras que los positivos muestran que el suelo se recarga hasta alcanzar la cantidad máxima que puede retener (LAD).

8. El cálculo del déficit de la humedad del suelo (D) se obtiene de la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración actual $D = \text{ETP} - \text{ETA}$.

CUADRO 2
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UTILIZADAS PARA LA
ELABORACION DEL MAPA DE ISOYETAS 1:50000

	NOMBRE	LATITUD (NORTE)	LONGITUD (OESTE)	ALTITUD (METROS)	REGISTROS
098009	Repunta	0918	8339	580	Completo
098010	Cedral	0922	8333	1450	Completo
098004	San Isidro	0922	8342	703	Completo
098059	Linda	0922	8339	700	Incompleto
098032	Alto San Juan	0920	8344	1040	Completo
098060	Río Nuevo	0929	8348	1040	Incompleto
098061	San Ramón N.	0926	8343	1160	Completo
098020	Chimirol	0926	8338	1000	Completo
098030	Km17, P.Z	0929	8342	1950	Incompleto
098021	Río Blanco	0931	8337	1500	Completo
098031	Buena Vista	0929	8339	1310	Completo
098040	División	0931	8343	2260	Completo

Completo: 1975-1986

Incompleto: entre 5 y 11 años

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional.

9. Se determina la ganancia de humedad (G) mediante la diferencia entre la suma de la HSD del mismo mes. La ganancia de humedad (G es la cantidad de agua que percola hacia capas inferiores del suelo cuando en éste, la precipitación excesiva origina un aumento progresivo de humedad, la cual está por encima de la humedad que es capaz de retener el suelo (Hernando, 1988).
10. Se determina la recarga mensual multiplicando la ganancia de cada mes (G) por el área del cultivo.

Los resultados que se obtienen del balance hídrico son ganancias (G) déficit de humedad (D) y evapotranspiración actual (ETA).

Con respecto del segundo problema planteado, referente a los sectores con problemas de erosión hídrica, tales como: deslizamientos, pizoteo del ganado y formación de cárcavas el procedimiento utilizado fue el trabajo de campo conjuntamente con la fotointerpretación. Por otro lado para mostrar el efecto de la pérdida de suelo fértil en la calidad del agua potable, se determinó la cantidad de material en

suspensión que sale de la subcuenca durante un evento de lluvias torrenciales, según el método predictivo denominado por Kikby y Morgan (1984), como medición de carga de sedimentos en suspensión.

AREA DE ESTUDIO

La subcuenca del río Quebradas se ubica en las laderas suroccidentales de la Cordillera de Talamanca, en la región Pacífico Sur, al noreste de la ciudad de San Isidro de El General. Fisiográficamente pertenece a la parte alta de la cuenca del río Térraba. Los límites de la subcuenca están dados por la divisoria de aguas, la cual está drenada por un sistema de cauces superficiales que descargan sus aguas en el río Quebradas. Los afluentes principales lo constituyen la Quebrada Payner, Quebrada Seca, Quebrada Pizota, Quebrada Iguana y Quebrada Cantarranas. (mapa 1).

El área de estudio comprende 24.12 km², siendo la elevación máxima 2427 m.s.n.m. en las nacientes y la mínima 900 m.s.n.m., en la «Presa» o dique captor de aguas en el río Quebradas.

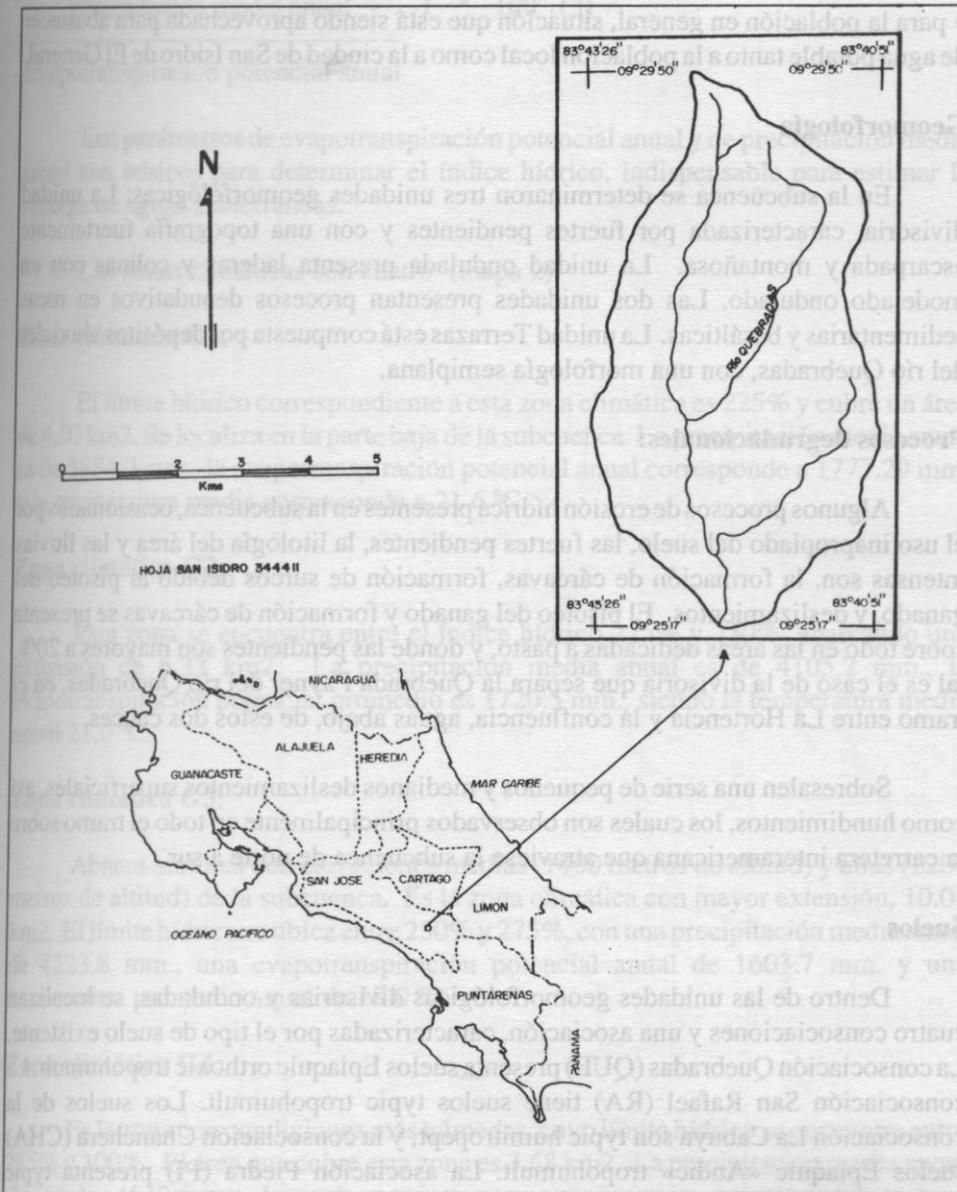
Geología

Se presenta cuatro unidades litológicas: La unidad sedimentaria, la intrusiva, la unidad volcánica y los depósitos cuaternarios (terrazas). La unidad sedimentaria pertenece a la formación Térraba. En la unidad intrusiva, predominan granodioritas y monzonitas con cristales de feldespatos, cuarzo, piriboles y biotita, con afloramientos de gabros. La unidad volcánica está constituida por lavas tipo basalto-andesítico y brechas. Esta unidad está compuesta por materiales volcánicos intrusivos y sedimentarios, envueltos en la matriz de grano muy fino. La unidad constituida por los depósitos cuaternarios contiene materiales aluvionales en forma de terrazas, y coluviales en las partes bajas de las laderas (Leandro, inédito).

Con respecto de la geología estructural se presenta varios sistemas de fallas; uno con dirección N-S, otro con dirección NE-SW, evidenciado por el cauce de la Quebrada Payner, desde el Cerro Boruca con dirección al antiguo tajo. El curso de los ríos Quebrada Boquete y Quebrada Aristides-Quebrada Seca es controlado por una falla con dirección NW-SE. (Leandro, inédito).

Los afloramientos de rocas, tanto intrusivas como sedimentáreas, presentan gran cantidad de diaclasas, lo que origina condiciones de inestabilidad al cuerpo rocoso, lo cual incide en la gran cantidad de deslizamientos que ocurren en la zona.

En síntesis las características hidrogeológicas presentes en la subcuenca del río Quebradas permiten la formación de acuíferos, siempre que se mantengan las condiciones climáticas apropiadas para la recarga de aguas subterráneas. Además la litología de estas rocas hace que la calidad de las aguas sea adecuada para las plantas



MAPA N° 1
SUBCUENCA RIO QUEBRADAS

y para la población en general, situación que está siendo aprovechada para abastecer de agua potable tanto a la población local como a la ciudad de San Isidro de El General.

Geomorfología

En la subcuenca se determinaron tres unidades geomorfológicas: La unidad divisoria, caracterizada por fuertes pendientes y con una topografía fuertemente escarpada y montañosa. La unidad ondulada presenta laderas y colinas con un modelado ondulado. Las dos unidades presentan procesos denudativos en rocas sedimentarias y basálticas. La unidad Terrazas está compuesta por depósitos aluviales del río Quebradas, con una morfología semiplana.

Procesos degradacionales:

Algunos procesos de erosión hídrica presentes en la subcuenca, ocasionados por el uso inapropiado del suelo, las fuertes pendientes, la litología del área y las lluvias intensas son, la formación de cárcavas, formación de surcos debido al pisoteo del ganado, y deslizamientos. El pisoteo del ganado y formación de cárcavas se presenta sobre todo en las áreas dedicadas a pasto, y donde las pendientes son mayores a 20%, tal es el caso de la divisoria que separa la Quebrada Payner del río Quebradas, en el tramo entre La Hortencia y la confluencia, aguas abajo, de estos dos cauces.

Sobresalen una serie de pequeños y medianos deslizamientos superficiales, así como hundimientos, los cuales son observados principalmente en todo el tramo sobre la carretera interamericana que atraviesa la subcuenca de norte a sur.

Suelos

Dentro de las unidades geomorfológicas divisorias y onduladas, se localizan cuatro consociaciones y una asociación, caracterizadas por el tipo de suelo existente. La consociación Quebradas (QUE) presenta suelos Epiaquic orthoxic tropohumult. La consociación San Rafael (RA) tiene suelos typic tropohumult. Los suelos de la consociación La Cabuya son typic humitropept, y la consociación Chanchera (CHA) suelos Epiaquic «Andic» tropohumult. La asociación Piedra (PI) presenta typic humitropept, Lithic Troporthent y Typic «Entic» Hapludoll. Dentro de la unidad geomorfológica Terrazas se localizan los depósitos aluviales del río Quebradas, con presencia de suelos Lithic Fluventic Troporthent. (Ibarra, et al inédito).

ZONAS CLIMATICAS

La zonificación del comportamiento climático en la subcuenca del río Quebradas se realizó mediante el índice hídrico según Thornthwaite (Hernando, 1988) cuya fórmula es:

Precipitación media anual $-1 * 100 (3)$

Evapotranspiración potencial anual

Los parámetros de evapotranspiración potencial anual y de precipitación media anual son básicos para determinar el índice hídrico, indispensable para estimar la recarga de aguas subterráneas.

Las zonas climáticas son cuatro (mapa 2):

Zona climática G1:

El límite hídrico correspondiente a esta zona climática es 225% y cubre un área de 4.07 km². Se localiza en la parte baja de la subcuenca. La precipitación media anual es de 3884.0 mm., la evapotranspiración potencial anual corresponde a 1777.29 mm. y la temperatura media corresponde a 21.6 °C.

Zona climática G2:

Esta zona se encuentra entre el índice hídrico 225% y 250%, abarcando una extensión de 6.33 km². La precipitación media anual es de 4105.2 mm., la evapotranspiración potencial promedio es 1720.5 mm., siendo la temperatura media anual 21.0 °C.

Zona climática G3:

Abarca sectores con elevaciones medias (1400 metros de altitud) y altas (2200 metros de altitud) de la subcuenca. Es la zona climática con mayor extensión, 10.04 km². El límite hídrico se ubica entre 250% y 275%, con una precipitación media anual de 4223.8 mm., una evapotranspiración potencial anual de 1603.7 mm. y una temperatura promedio anual de 19.0 °C.

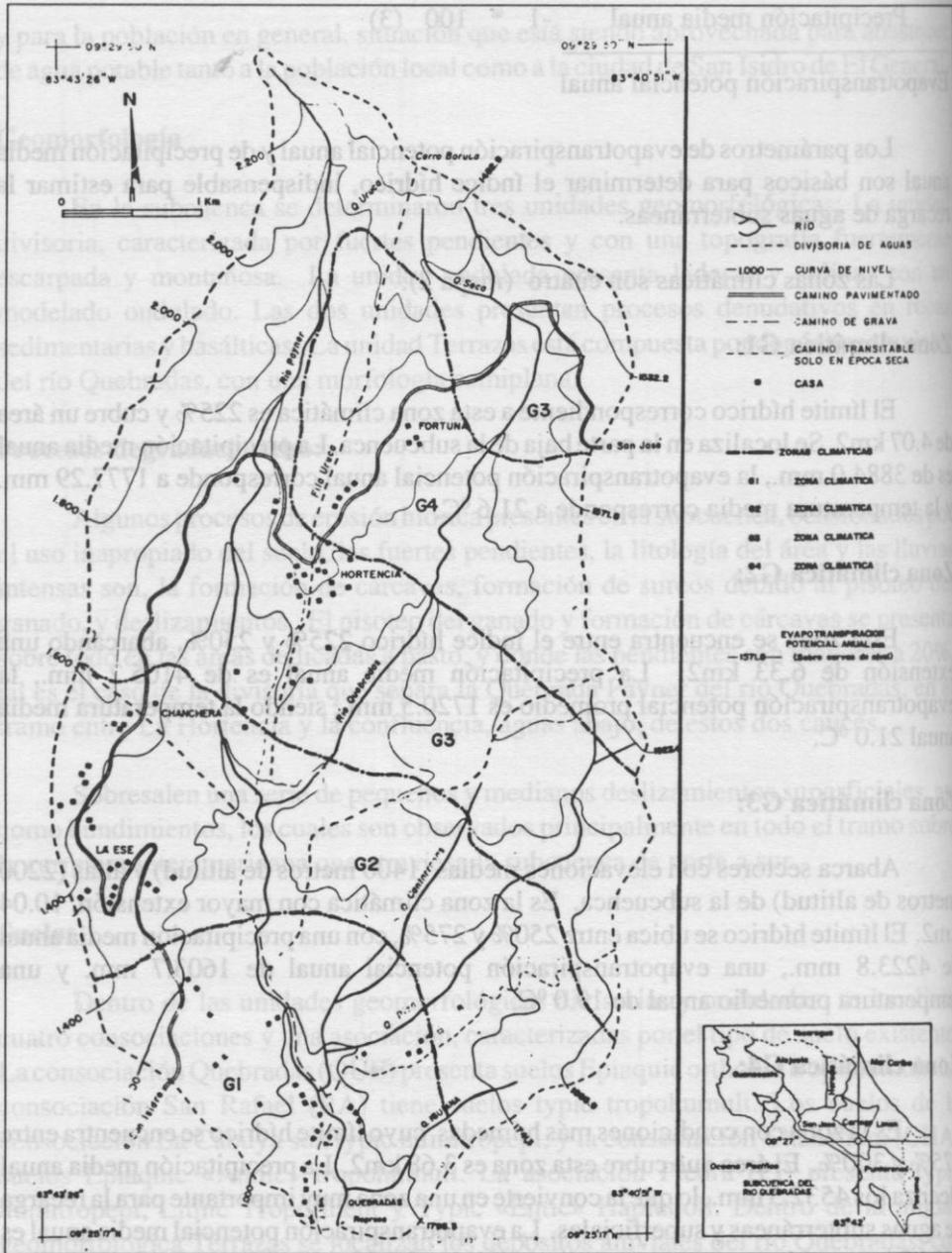
Zona climática G4:

Es la zona con condiciones más húmedas, cuyo límite hídrico se encuentra entre 275% y 300%. El área que cubre esta zona es 3.68 km². La precipitación media anual alcanza los 4532.5 mm., lo que la convierte en una zona muy importante para la recarga de aguas subterráneas y superficiales. La evapotranspiración potencial media anual es 1594.04 mm. y la temperatura media anual de 18.2 °C.

Todas las zonas climáticas (G1, G2, G3 y G4) pertenecen a un clima G, muy húmedo.

USO DEL SUELO

Es un elemento importante dentro del balance hídrico ya que el agua disponible depende de la profundidad de raíces.



MAPA N° 2
SUBCUENCA DEL RIO QUEBRADAS

Los diferentes usos de suelo presentes en la subcuenca son: bosque primario, bosque secundario con charral, pasto con árboles en las quebradas, café y cabuya, así como un pequeño sector donde se asienta la población (0.7%).

Bosque:

El bosque primario abarca 8.379 km² (34.6), y el bosque secundario con charral 4.067 km² (17.0%). La mayor extensión del bosque, tanto secundario como primario (7.767 km²) se localiza en la zona climática G3, en la unidad geomorfológica divisoria.

El bosque primario localizado en altitudes superiores a 1700 metros (zona G3 y G4), dentro de la subcuenca, corresponde al Bosque Lluvioso Tropical/Subtropical Montano. (Gómez, 1985).

Pasto natural con árboles en las quebradas

El pasto se encuentra distribuido en toda la subcuenca, cubriendo la mayor extensión (3.002 km²) en la zona climática G3 y en la unidad geomorfológica divisoria.

Cabuya

El cultivo de la cabuya se localiza en el sector noroeste de la subcuenca, en la microcuenca la Pizota, en el sitio llamado «la finca». Se distribuye en la zona climática G2 y en la zona G3, en la unidad geomorfológica divisoria.

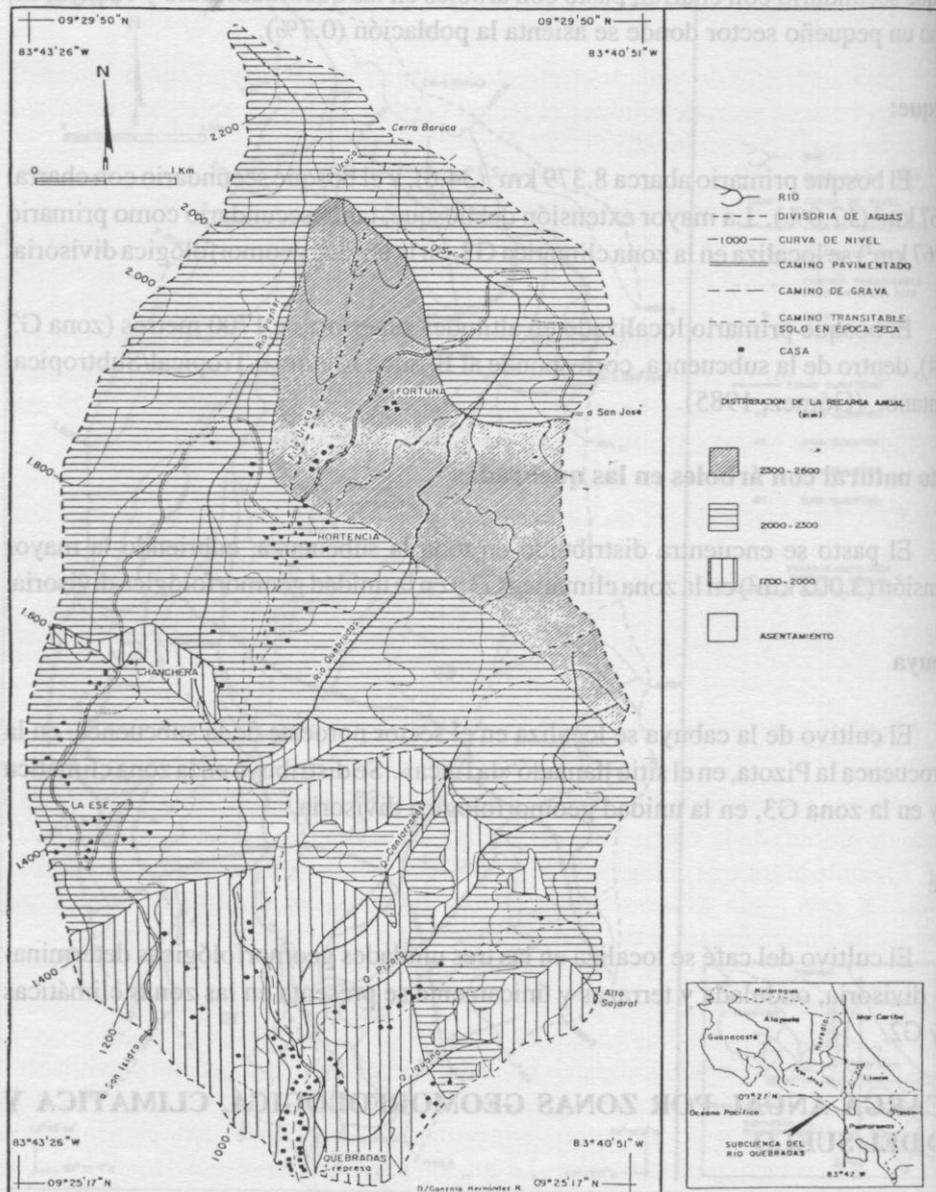
Café

El cultivo del café se localiza en las tres unidades geomorfológicas determinadas; divisoria, ondulada y terrazas y únicamente se presenta en las zonas climáticas G1 y G2.

RECARGA ANUAL POR ZONAS GEOMORFOLOGICA, CLIMATICA Y USO DEL SUELO

El cálculo de la recarga anual se realizó según unidad geomorfológica, zona climática y uso actual del suelo. Para ello se utilizó el parámetro ganancia (G) de cada uno de los balances.

Dado que la recarga anual varía de acuerdo con el uso del suelo (mapa 3) se tiene que en la unidad geomorfológica divisoria (D), en la zona climática G4 el área de pasto aporta una recarga de 0.0022 km³ (2542.2 mm.), mientras que el bosque genera una recarga de 0.0069 km³ (2433.3 mm.).



En la misma unidad geomorfológica (D), pero en la zona climática G3, la recarga del cultivo de pasto corresponde a 0.0069 km^3 (2286.8 mm.). El área de bosque recarga 0.0169 km^3 (2170.4 mm.) y el cultivo de cabuya aporta a la recarga 0.0004 km^3 (2666.6 mm.).

También en la unidad geomorfológica divisoria (D), pero en la zona climática G2 la recarga varía según el uso del suelo. Así, en el área de café se genera una recarga de 0.000014 km^3 (2055.9 mm.). El pasto aporta 0.0003 km^3 (2113.4 mm.), el bosque recarga 0.0002 km^3 (1983.6 mm.) y la recarga correspondiente al área del cultivo de la cabuya es 0.0012 km^3 (2092.9 mm.).

Siguiendo con la unidad geomorfológica divisoria, pero en la zona climática G1, el bosque aporta a la recarga 0.012 km^3 (1760.0 mm.). El área cultivada de café genera 0.00001 km^3 (1838.7 mm.) y la recarga en el pasto corresponde a 0.00003 km^3 (1897.8 mm.).

En la unidad geomorfológica ondulada (O), donde se presentan dos zonas climáticas, la G1 y la G2, las diferencias en la recarga obedecen al uso del suelo. En la zona G2 el pasto aporta 0.0023 km^3 (216.3 mm.), el área sembrada de café genera una recarga de 0.00007 km^3 (1982.5 mm.). Para la zona G1 la recarga generada por el área de pasto corresponde a 0.0036 km^3 (1838.0 mm.). La correspondiente al cultivo del café genera una recarga de 0.0012 km^3 (1758.8 mm.). Esta unidad geomorfológica (O) aporta una recarga anual de 0.0081 km^3 (11588.1 mm.).

Para la unidad denominada terrazas (T) en la zona climática G2, se tiene que la extensión dedicada al cultivo del café general una recarga de agua subterránea de 0.0006 km^3 (2078.6 mm.), mientras que la dedicada a pasto aporta 0.0001 km^3 (2125.3 mm.).

Por último, en esta misma unidad geomorfológica (T) pero en la zona climática G1, las áreas cubiertas por café presentan una recarga de 0.0001 km^3 (1862.2 mm.), y las utilizadas para pasto aportan una recarga de 0.0009 km^3 (1909.10 mm.). Entonces, la recarga anual aportada al acuífero en esta unidad geomorfológica llega a 0.0017 km^3 (7975.2 mm.).

La recarga anual total de la subcuenca del río Quebradas es de 0.050 km^3 .

Es necesario señalar que las zonas cubiertas por pasto aportan la mayor cantidad de recarga (mapa), seguidas por las áreas destinadas al cultivo de cabuya y café.

Dado que el período seco se mantiene constante para las cuatro zonas climáticas, de diciembre a marzo, el período de aportación de aguas para la recarga sólo se ve reducido en las áreas de la subcuenca que están cubiertas por bosque. Dicho período de recarga va de mayo a noviembre (mapa 4). Una situación similar ocurre en las áreas

cubiertas por el cultivo de café. Lo contrario a lo que sucede con el pasto, donde el período de recarga coincide con el período lluvioso (abril-noviembre).

RESULTADOS

Se determinó que todas las zonas climáticas (G1, G2, G3, y G4), presentan una misma variación temporal en cuanto a las condiciones de humedad. El período lluvioso va de abril a noviembre y el período seco abarca de diciembre a marzo. Sin embargo existen diferencias en cuanto a montos de precipitación y de evapotranspiración para cada zona climática.

La zona climática G4 presenta condiciones de mayor humedad, así como la menor evapotranspiración potencial, lo que la hace una de las zonas de mayor importancia respecto de la captación de aguas subterráneas. La zona climática G3, aún cuando tiene un clima muy húmedo, y se localiza en sectores con altitudes tanto superiores como inferiores a las presentes en la zona G4, los montos de precipitación son menores a los de la zona G4. Las partes más elevadas de la subcuenca se localizan en la zona climática G3, de ahí que los menores montos de la ETA se registran en esta zona.

Por lo tanto se puede concluir que la distribución espacial de las lluvias en el área de estudio no está en función de la altitud sino de las características orográficas de la subcuenca, ya que la variación temporal comprende un mismo período para todas las zonas climáticas establecidas.

De acuerdo con el método empleado, la recarga de aguas subterráneas, así como el déficit de humedad están relacionados con las condiciones climáticas y con el uso del suelo presentes en la subcuenca del río Quebradas.

Según los resultados obtenidos de los balances hídricos, los mismos cultivos en diferentes zonas climáticas originan distintas cantidades de agua para el acuífero, esto significa que la distribución espacial y temporal de la precipitación juega un papel primordial en la recarga de aguas subterráneas.

Por otro lado, los diferentes usos de suelo en una misma zona climática originan diferencias en cuanto al período de aporte de agua a la recarga, no así en el déficit de humedad, el cual coincide con el período seco (diciembre - marzo) para todas las zonas climáticas, independientemente del uso del suelo. Esta variación temporal en cuanto a la recarga según el uso del suelo se debe, de acuerdo con Hernando (1988) y con Donoso (1981), a las diferencias en cuanto a la profundidad de raíces de la vegetación y de los cultivos.

Para todas las zonas climáticas, el período de recarga en el bosque es menor (mayo-noviembre) que el que se da para los demás usos de suelo (abril-noviembre).

En abril, cuando se inician las primeras lluvias, el bosque no genera ganancia de agua para el acuífero debido a que los suelos se encuentran sumamente secos y se requiere de mayor tiempo para alcanzar la lámina de agua disponible, que es bastante alta. Sin embargo, el suelo bajo bosque presenta los déficit menores de humedad, sobre todo en la zona G4, ya que por las raíces profundas se requiere de mayor tiempo y energía para sacar el agua del suelo.

El pasto es el uso de suelo que genera los mayores excedentes de humedad para la recarga, debido a sus raíces poco profundas. Seguido del café y la cabuya. Por la misma razón mayores déficit de humedad se presentan en el pasto, sobre todo en las zonas G1 y G2 donde la precipitación es menor y la evapotranspiración potencial es alta.

Con respecto de los problemas de erosión hídrica (pisoteo, cárcavas y deslizamientos), se determinó que los sectores de pérdida de suelo fértil, y que al mismo tiempo están repercutiendo en la calidad del agua potable, por la turbidez que ello genera, se localizan en áreas dedicadas a potreros y al cultivo del café, y donde las pendientes son superiores a 15%.

Los sectores con mayores problemas de deslizamientos están comprendidos en las laderas ubicadas a lo largo de la carretera interamericana, la cual atraviesa la subcuenca de norte a sur. Estas laderas por su litología, estructura geológica y sus fuertes pendientes son potencialmente inestables. De tal forma que la construcción de la carretera fue el agente que activó dicha inestabilidad, al provocar un desequilibrio en la pendiente. Durante la época lluviosa, las intensas lluvias colaboran en la activación de los deslizamientos.

De acuerdo con los resultados referentes a la pérdida de suelo fértil, se puede concluir que la cantidad de material en suspensión que sale de la subcuenca es alto, lo que evidencia el problema de la erosión hídrica del área, así como las dificultades en cuanto al tratamiento del agua del río Quebradas, durante el período lluvioso, para el aprovechamiento potable de la ciudad de San Isidro de El General.

RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones obtenidas del estudio de la subcuenca del río Quebradas se señalan las siguientes recomendaciones:

Debido a que esta subcuenca presenta condiciones hídricas adecuadas para la generación y transporte de aguas superficiales y subterráneas, dado sus características climáticas, geomorfológicas y en último término el uso del suelo, es necesario la inmediata protección de las nacientes de los cauces principales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, la Zona

Climática G4 es el área de la subcuenca que presenta mayores condiciones de humedad, de ahí su importancia en el aporte a la recarga de aguas superficiales y subterráneas, con lo cual se recomienda su protección y manejo adecuado.

En vista de que ya existe un Plan de Manejo para la Subcuenca del río Quebradas implementado por el Proyecto de Conservación de Suelo-Agua del MAG/FAO, además de los intereses de Acueductos y Alcantarillados por la explotación del recurso hídrico, quienes proyectan una ampliación en la disposición de la comunidad local por proteger la subcuenca, se recomienda hacer un esfuerzo conjunto entre éstos y otros objetivos, no sólo de recuperar los sectores con problemas de degradación de suelos y disminución de la recarga al acuífero, lo cual afecta el abastecimiento de agua potable a las comunidades locales y a la ciudad de San Isidro, sino de darle un manejo integral de los recursos naturales con que cuenta el área de estudio. Pues de lo contrario, si continúa el problema de la deforestación, la degradación de los suelos y el incremento en la cantidad de agua captada para abastecer a la ciudad de San Isidro, a muy corto plazo este recurso tan indispensable para todo ser viviente se vería drásticamente reducido, sobre todo en el período seco.

Se obtiene como mejor método una relación no lineal entre los valores diarios medio mensuales de la radiación global y el número de días con precipitación, con resultados satisfactorios en todas las estaciones actinométricas analizadas en este estudio.

Se recomienda para futuros estudios, probar la aplicabilidad de este modelo estadístico en otras estaciones actinométricas de Costa Rica, esto permitiría la

BIBLIOGRAFIA

- Chan, M. 1988. **INFLUENCIA CLIMATICA DE LAS DEPRESIONES EN LA SIERRA VOLCANICA CENTRAL; DEPRESION LA PALMA, CUENCA DEL RIO PARA.** 190 pp.
- Donoso, C. 1981. **ECOLOGIA FORESTAL.** Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Santiago, Chile. 315 pp.
- Dunne, T y Leopold, LB. 1978. **WATER IN ENVIRONMENTAL PLANNING.** London. 818 pp.
- FAO. 1984. **PROTEGER Y PRODUCIR.** Conservación del suelo para el desarrollo. FAO. 40 pp.
- Gómez, L. 1985. **VEGETACION DE COSTA RICA.** EUNED. San José, Costa Rica.
- Hargreaves, G. 1981. **CLIMATE AND THIRD WORLD AGRICULTURAL.** Revista Interciencia. Volumen 6. Caracas, Venezuela. Julio/agosto. 118 pp.
- Hernando, H. 1988. **BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DEL RIO POAS.** Tesis. Heredia, Costa Rica, 160 pp.
- Herrera, W. 1988. **ANALISIS CLIMATICO DE SIETE VARIANTES DEL BALANCE HIDRICO APLICADO A COSTA RICA.** Tesis. Heredia, Costa Rica. 298 pp.
- Herrera, W. 1985. **CLIMA DE COSTA RICA.** EUNED. San José, Costa Rica. 118 pp.
- Ibarra, R. et al. Inédito. **PLAN DE MANEJO DE LA SUBCUENCA DEL RIO QUEBRADAS.** Proyecto Conservación de suelos y agua en Costa Rica. COS/MAG/FAO. San José, Costa Rica.
- Kirkby, M. y Morgan, R. 1984. **EROSION DE SUELOS.** LIMUSA, S.A., México D. F. 375 pp.
- Leandro, et al. Inédito. **INFORME TECNICO DEL SISMO DEL 3 DE JULIO DE 1983 EN SAN ISIDRO DE EL GENERAL.**
- Romero, M. 1989. **BALANCE HIDRICO DE LA SUBCUENCA DEL RIO QUEBRADAS.** Tesis. Heredia, Costa Rica, 175 pp.
- Thornthwaite C. W. and Mather, J. R. 1957. **INSTRUCTIONS AND TABLES FOR COMPUTING POTENCIAL EVAPOTRANSPIRATION AND THE WATER BALANCE.** Drexel Institute of Climatology. Publications in Climatology. Vol., #3. Third Printing New Jersey.

RECOMENDACIONES

Con base en las conclusiones obtenidas del estudio de la subcuenca del Rio Quebradas se señalan las siguientes recomendaciones:

Debido a que esta subcuenca presenta condiciones hídricas adecuadas para la generación y transporte de aguas superficiales y subterráneas, dado sus características climáticas, geomorfológicas y en último término el uso del suelo, es necesario la inmediata protección de las nacientes de los cauces principales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, la Zona