

RECARGA DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA CUENCA DEL RIO POAS

Ligia Hernando¹

RESUMEN

La cuenca del río Poás es representativa de las características físicas de la Depresión Tectónica Central y de la Sierra Volcánica Central.

Se aplicó en la cuenca el balance hídrico de acuerdo con el método de Thornthwaite y Mather (1957) (modificado), según uso del suelo, unidad geomorfológica y zona climática; mediante el cual se relacionan características edafológicas, climática y uso del suelo.

Así, se determinó que la cantidad de agua para recarga está determinada por varios factores, principalmente por el clima y en segundo término por el uso del suelo.

Por lo tanto, las áreas cubiertas de bosque son las que originan la menor recarga anual, mientras que las sembradas de pasto, la mayor.

¹ Integrante del Proyecto: Morfología Aplicada y Dinámica Exógena (MADE). Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

En la cuenca, la recarga anual total es de 0.3168 km^3 (24741.6 mm.), de la que las áreas de bosque aportan 8603.9 mm. y las de pasto 9337.7 mm. , al año.

Se detectó además, que -0.0439 Km^3 al año de agua se queda en las capas profundas de la cuenca, lo que indica que existe un déficit de agua no explicado por la recarga que puede deberse a condiciones influyentes.

INTRODUCCION

Las aguas subterráneas son muy importantes, principalmente en épocas secas, ya que proveen del agua necesaria para que en los ríos no descienda el caudal de manera que afecte su utilización (doméstica o industrial). Además, los acuíferos son usados directamente mediante pozos. Esto se debe a que los volúmenes de agua almacenados subterráneamente son mayores que los almacenados en superficies (Davis, 1971).

Por lo tanto, un estudio del comportamiento de estas aguas es imprescindible si se pretende garantizar un abastecimiento continuo y adecuado de agua potable a las poblaciones cercanas, tanto para uso personal como para uso agrícola.

Evidentemente, las aguas subterráneas forman parte del ciclo hidrológico, ya que éste encadena todos los componentes de la hidrosfera.

La forma más adecuada de cuantificar esos componentes (para diversos fines) es el balance hídrico, pues es por medio de este método que se conoce de manera integral tanto el agua que entra como la que sale de un sistema dado.

En la investigación presente se utilizó el método de balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1957) mediante el cual se relacionan valores climáticos (precipitación, evapotranspiración potencial) con valores de condiciones edáficas (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y uso del suelo (profundidad de raíces).

Este método consiste en la tabulación cuantitativa mensual de algunos de los componentes del ciclo hidrológico, tomando como base la precipitación media mensual así como la evapotranspiración media mensual.

Así, se establece la distribución espacial y temporal de la recarga (según unidades geomorfológicas, clima y uso del suelo) de las aguas subterráneas en la cuenca.

Es importante aquí indicar que la recarga se define como la cantidad de agua que reabastece a un acuífero, la cual es aportada mediante la infiltración, (Benítez, 1972).

CUADRO N° 1
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UTILIZADAS SEGUN REGISTROS
ANUALES DISPONIBLES

ALTITUD*	NUMERO	NOMBRE	REGISTRO	CLASIFICACION**
466	084048	Antecámara La Garita	1971 a 1979	Completa
639	084012	Turrúcares	1947 a 1980	Completa
800	084103	El descanso	1976 a 1981	Incompleta
825	084008	Grecia	1935 a 1967	Completa
840	084023	Fabio Baudrit	1961 a 1984	Completa
932	084021	Aeropuerto Juan Santamaría	1956 a 1984	Completa
940	084104	La Maravilla	1976 a 1979	Incompleta
950	084055	Los Higueros	1979 a 1981	Incompleta
1080	084092	Tegucigalpa	1976 a 1986	Completa
1120	084101	El Mesón	1976 a 1979	Incompleta
1500	084030	Laguna Fraijanes	1976 a 1984	Incompleta
2050	084060	Cartago	1968 a 1984	Completa
2564	084063	Volcán Poás	1972 a 1980	Completa

* Metros sobre el nivel del mar.

** Según cantidad de registros anuales.

Incompleta: Menos de nueve años.

Completa: Nueve años y más.

METODOLOGIA

Con el fin de determinar la recarga anual de la cuenca fue necesario calcular balances hídricos según unidad geomorfológica, uso del suelo y zonas climáticas.

El método empleado para la estimación del balance hídrico es el propuesto por Thornthwaite y Mather (1957). Este es un balance climático porque emplea valores medios de precipitación y evapotranspiración potencial y los relaciona con valores de condiciones edáficas (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y uso del suelo.

**CUADRO N° 2
BALANCE HIDRICO**

UNIDAD GEOMORFOLOGICA: Lahar

Zona Climatológica: I

Uso del Suelo: Caña de Azúcar

Area: 53.3 Km²

Profundidad de raíces: 37.5 cm.

Agua disponible: 13.4%

Lámina de agua disponible: 50.3 mm.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
P	7.0	10.2	19.1	76.2	291.7	299.8	219.6	305.6	361.	372.4	143.2	32.7	2139.2
Es	0.3	0.2	2.5	1.0	10.9	7.5	7.7	7.6	17.5	16.6	4.7	0.9	77.4
Pc	6.7	10.0	16.6	75.2	280.8	292.3	211.9	298.0	344.2	355.8	138.5	31.8	2061.8
ETP	121.1	128.4	158.5	154.7	148.9	135.2	139.5	143.0	134.6	125.9	117.0	118.3	1631.1
P-ETP	-120.3	-118.4	-141.9	-79.5	131.9	157.1	72.4	155.0	209.5	229.9	21.5	-86.5	
PPA	-206.8	-325.3	-467.2	-546.6	-	-	-	-	-	-	-	-	
HSD	0.8	0.1	0.0	0.0	50.3	50.3	50.3	50.3	50.3	50.3	50.3	8.7	
^HSD	-7.9	-0.7	-0.1	0.0	50.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.6	
ETA	14.6	10.7	16.7	75.2	148.9	135.2	139.5	143.0	134.6	125.9	117.0	73.4	1134.7
D	125.5	117.7	141.8	79.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.9	496.4
G	0.0	0.0	0.0	0.0	81.6	157.1	72.4	155.0	209.5	229.9	21.6	0.0	927.1
R (km ³)	-	-	-	-	0.00435	0.00837	0.00386	0.00826	0.01117	0.01225	0.00115	-	0.04941

Según se puede observar en el cuadro 2, se utiliza como base la precipitación media mensual (P) así como la evapotranspiración potencial media mensual (ETP).

Para el presente caso, se utilizaron los datos de precipitación de catorce estaciones pluviométricas. Los datos requirieron en algunas estaciones de un ajuste, debido a que las series de años eran escasas (de menos de 9 años) (cuadro No. 1). Se calculó un factor de corrección por mes, tomando como base una estación a una altitud parecida a la estación a corregir y con un registro mayor (Hernando, 1988).

Debido a que la propuesta hecha por Thornthwaite y Mather es un tanto general, fue necesario incluir algunos aspectos no tomados en cuenta por ellos, tales como la escorrentía superficial (cantidad de agua que escurre sobre el suelo) y la humedad del suelo disponible actual (máxima cantidad de agua en el suelo que puede ser aprovechada por las plantas).

Lo primero que se hizo fue corregir la precipitación mensual obtenida en las estaciones meteorológicas, eliminando de ella la cantidad que se pierde por escorrentía.

Es así como se incluye la escorrentía superficial mensual (Es), la cual se calculó mediante el método gráfico de separación de hidrogramas (Benítez, 1972) y la precipitación resultante (Pc).

Luego se estima la evapotranspiración potencial mensual. Se utilizó el método de Hargreaves (1981) el que consiste en la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ETP = [(0.17 * RA * VTD) (0.0075) * (32 + 1.8 * ^\circ C)] N$$

de donde:

ETP: Evapotranspiración potencial del mes (mm.)

RA: Radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera (mm./día). Varía según la latitud y el mes. Se toma de tablas (Herrera, 1985, p. 98).

TD: Oscilación entre las temperaturas máximas y mínimas del mes.

°C: Temperatura del mes (°C).

N: Número de días del mes.

El siguiente paso consiste en determinar la diferencia mensual entre la precipitación (Pc) y la evapotranspiración potencial (ETP), o sea Pc-ETP. Si los valores son positivos, la precipitación excede a la evapotranspiración potencial por lo que esta última es totalmente cubierta; si los valores son negativos, la precipitación no satisface las necesidades meteorológicas.

Se determina después la pérdida potencial acumulada (PPA) de agua por mes sumando los valores negativos de Pc-ETP.

Como siguiente paso se calcula la humedad del suelo disponible actual (HSD) por mes, la cual 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 y además por la pérdida potencial acumulada cuando son negativos.

La humedad del suelo disponible actual fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$-(PPA * A)$$

$$HSD = LAD * e \text{ (Derivado de Thornthwaite y Mather, 1957).}$$

de donde:

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

$$CC = \text{Capacidad de campo (\%)}$$

$$Pro = \text{Profundidad de raíces (cm.)}$$

$$PPA = \text{Pérdida potencial acumulada (mm.)}$$

$$A = 1.02 / LAD$$

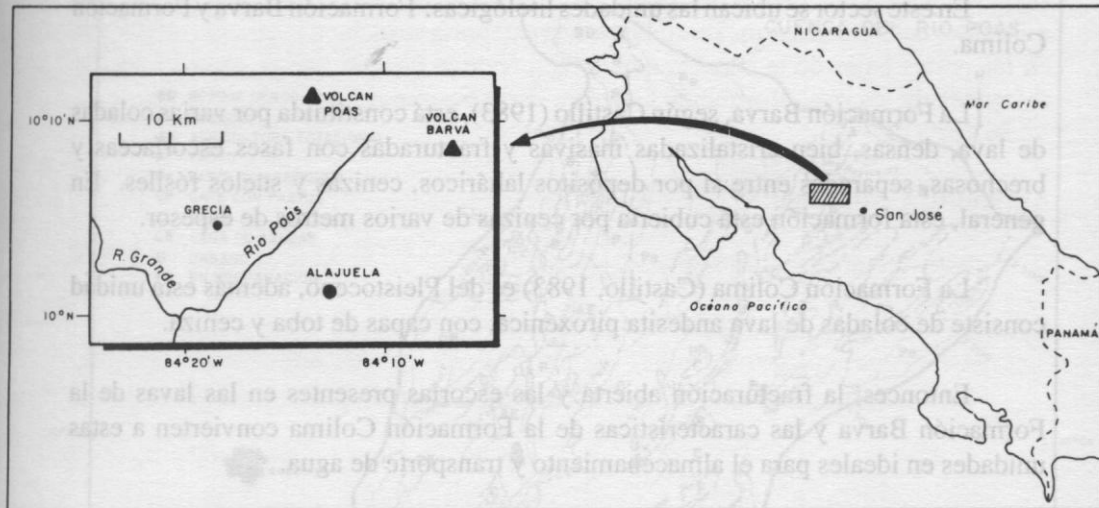
$$PMP = \text{Humedad del suelo disponible actual (mm.)}$$

* Esta fórmula es la que se utilizó 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 de un mes a otro. Los valores negativos indican la cantidad de agua cedida a las plantas, los positivos muestran que el suelo se recarga hasta alcanzar la cantidad máxima que puede retener (LAD).

La evapotranspiración actual (ETA) es igual a la potencial cuando los valores de Pc-ETP son positivos. Cuando son negativos la ETA es la suma de la precipitación Pc y el HSD.

El siguiente paso se calcula el déficit de la humedad del suelo (D) el cual es la diferencia entre la ETP y la ETA.



Mapa 1
UBICACION AREA DE ESTUDIO

La ganancia de humedad (G) se refiere a aquella agua que percola hacia capas inferiores del suelo, cuando en éste la precipitación excesiva origina un aumento progresivo de humedad, la cual rebasa la humedad que el suelo puede retener. Se calcula sumando la HSD del mes anterior a la Pc-ETP del mes que interesa y restando este producto la HSD de este mismo mes.

Por último, se ha calculado una recarga mensual. Esta se estimó multiplicando la G de cada mes por el área del cultivo analizado.

AREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Poás se extiende de noreste a suroeste, cubriendo 217.5 Km². Está delimitada por divisorias de aguas desde la laguna del Volcán Poás y la laguna del Volcán Barva (divisoria que forma parte de la Sierra Volcánica Central) hasta la confluencia del río Poás con el río Grande (mapa N°1).

La cuenca presenta características geológicas propicias para la formación de acuíferos, por lo que es importante conocer el origen y características de la recarga de los que existen en ella, ya que actualmente son aprovechados durante todo el año mediante pozos.

GEOLOGIA

En la cuenca del río Poás existe acuíferos que se forman debido a las características de los materiales que constituyen su basamento geológico.

En este sector se ubican las unidades litológicas: Formación Barva y Formación Colima.

La Formación Barva, según Castillo (1983), está constituida por varias coladas de lava, densas, bien cristalizadas masivas y fracturadas con fases escoriáceas y brechosas, separadas entre sí por depósitos laháricos, cenizas y suelos fósiles. En general, esta formación está cubierta por cenizas de varios metros de espesor.

La Formación Colima (Castillo, 1983) es del Pleistoceno, además esta unidad consiste de coladas de lava andesita piroxénica, con capas de toba y ceniza.

Entonces, la fracturación abierta y las escorias presentes en las lavas de la Formación Barva y las características de la Formación Colima convierten a estas unidades en ideales para el almacenamiento y transporte de agua.

Además, las distintas coladas superpuestas (emplazadas en diferentes épocas), con algunas diferencias en sus características texturales, constituyen alternancias de estratos permeables que producen un flujo y almacenamiento diferencial de agua subterránea.

Las formaciones alteradas intercaladas entre las lavas (tales como el subsuelo fósil en la Formación Barva), de acuerdo con Davis (1971) actúan como capas menos permeables que las lavas que las cubren. Esto ocasiona la aparición de acuíferos recargados continuamente debido a la alta transmisividad característica de las lavas que conforman el área de estudio.

USO DEL SUELO

Este aspecto es importante ya que el agua disponible actual del suelo depende de la profundidad de las raíces.

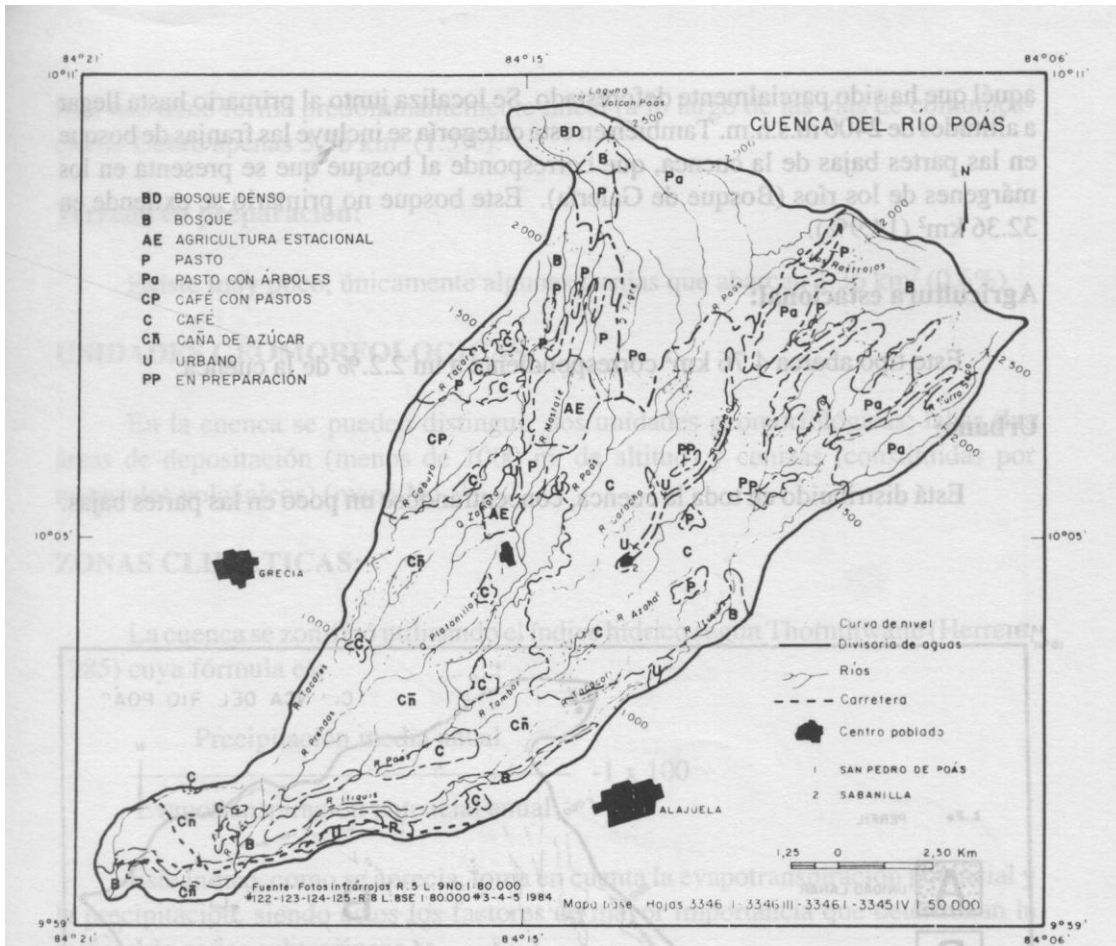
En la cuenca, se presentan los siguientes usos del suelo para 1988 (mapa N° 2): caña de azúcar, café, pastos, bosques, agricultura estacional, urbano y terrenos en preparación.

Caña de azúcar:

Este cultivo se da en las partes bajas del área (desde los 600 m.s.n.m. a los 880 m.s.n.m.), cubriendo una extensión de 60.76 km². (o sea un 27.9% del área total).

Café:

Es el cultivo que abarca una mayor área, es decir, 67,52 km² (31.1% del total de la cuenca). Se ubica entre los 880 m.s.n.m. y los 1700 m.s.n.m.



Mapa 2
USO DEL SUELO (1984)

Pastos:

Cubren una extensión importante en la cuenca (43.72 km², es decir, 20.1% del área total). El pasto predominante es el Pennisetum Clandestinum (Kikuyo), originario de Kenya y cuyas raíces no son profundas. Se ubica entre los 1700 m.s.n.m., aproximadamente, hasta más de 1900 m.s.n.m. Cubre una extensión de 43.72 Km², o sea 20.1% del área total.

Bosque:

Se presenta en relativamente poca extensión, sólo cubre 66,02 km² (16.6% del total de la cuenca). Se ha dividido en bosque primario y bosque no primario. El bosque primario se encuentra por encima de los 2500 m.s.n.m. y únicamente en el sector del volcán Poás, abarcando apenas 3.66 Km² (1.7%). El bosque no primario se refiere a

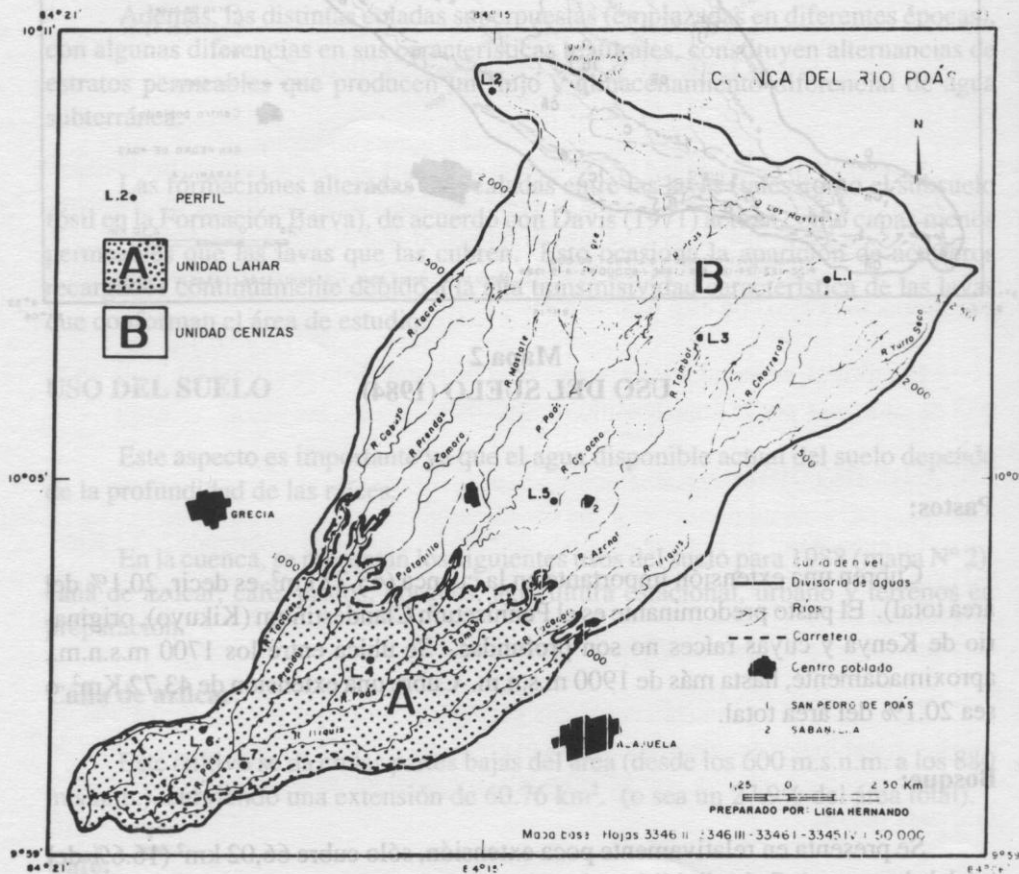
aquel que ha sido parcialmente deforestado. Se localiza junto al primario hasta llegar a altitudes de 2400 m.s.n.m. También en esta categoría se incluye las franjas de bosque en las partes bajas de la cuenca, que corresponde al bosque que se presenta en los márgenes de los ríos (Bosque de Galería). Este bosque no primario se extiende en 32.36 km² (14.9%).

Agricultura estacional:

Este tipo abarca 4.76 km² correspondiente a un 2.2.% de la cuenca.

Urbano:

Está distribuido en toda la cuenca, concentrándose un poco en las partes bajas.



Mapa 3
UNIDADES GEOMORFOLOGICAS Y UBICACION DE PERFILES

Este uso tiene forma predominantemente lineal (a lo largo de las vías de comunicación). Cubre apenas 3,36 km² (1.5%).

Terreno en preparación:

Existe muy poco, únicamente algunas franjas que abarcan 1.36 km² (0.6%).

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

En la cuenca se pueden distinguir dos unidades geomorfológicas: lahar (las áreas de depositación (menos de 1000 m. de altitud) y cenizas (constituidas por materiales volcánicos) (mapa No. 3).

ZONAS CLIMATICAS:

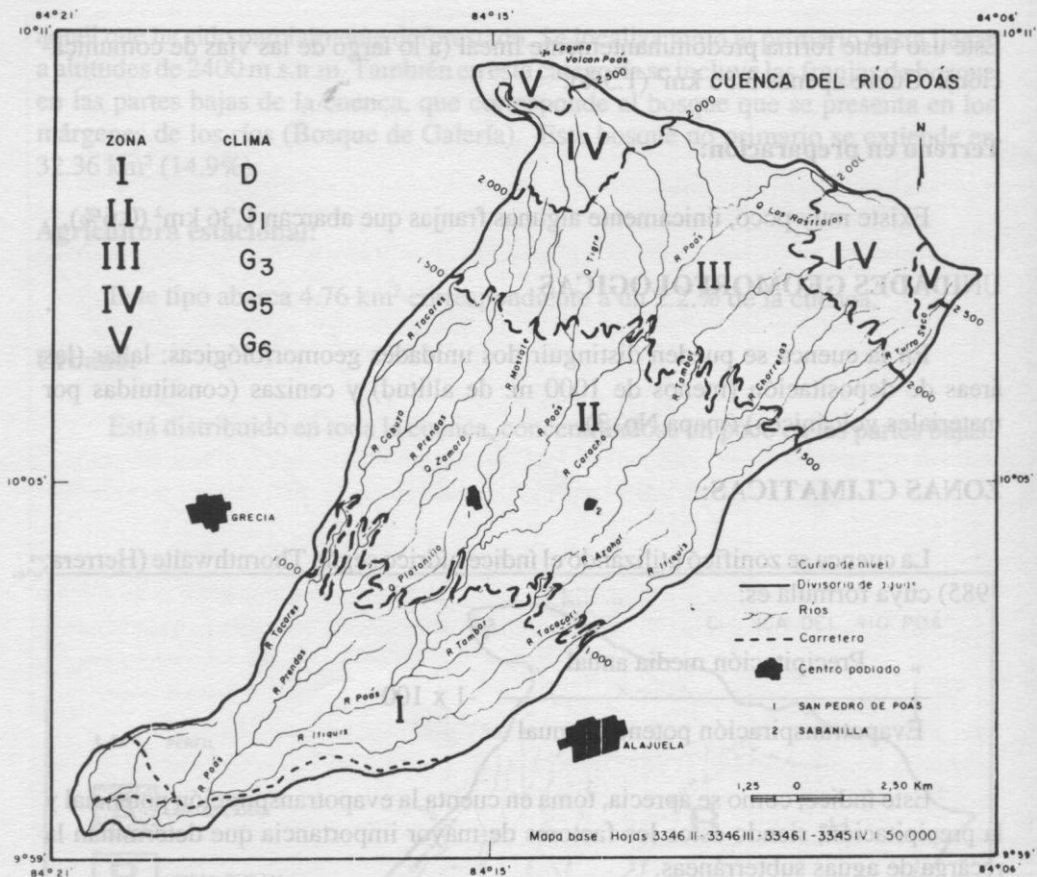
La cuenca se zonificó utilizando el índice hídrico según Thornthwaite (Herrera, 1985) cuya fórmula es:

$$\frac{\text{Precipitación media anual}}{\text{Evapotranspiración potencial anual}} - 1 \times 100$$

Este índice, como se aprecia, toma en cuenta la evapotranspiración potencial y la precipitación, siendo éstos los factores de mayor importancia que determinan la recarga de aguas subterráneas.

Las zonas climáticas son cinco (mapa N° 4):

- I Esta zona climática tiene como límite el índice hídrico 50% que corresponde a los 1000 m.s.n.m. cubre un área de 52.6 km². Se clasifica como D, húmedo.
- II Se ubica entre el índice hídrico de 50% y el 100%, o sea, entre los 1000 m.s.n.m. y los 1500 m.s.n.m. Ocupa una extensión de 77.1 km². Es la zona más grande de la cuenca. Corresponde a un clima G1 muy húmedo.
- III Cubre desde los 1500 m.s.n.m. a los 2000 m.s.n.m. correspondiendo a los índices hídricos de 100% a 150%. Su extensión es de 56.10 km² (la segunda en extensión). Corresponde a un clima G3, muy húmedo.
- IV Está delimitada por los índices hídricos de 150% y 200% correspondientes a 2000 m.s.n.m. y 2500 m.s.n.m., respectivamente. Cubre un área de 24.1 km². Esta zona posee un clima G5, muy húmedo.
- V Comprende los índices superiores a 200% o sea, las altitudes mayores de 2500



Mapa 4
ZONAS CLIMATICAS

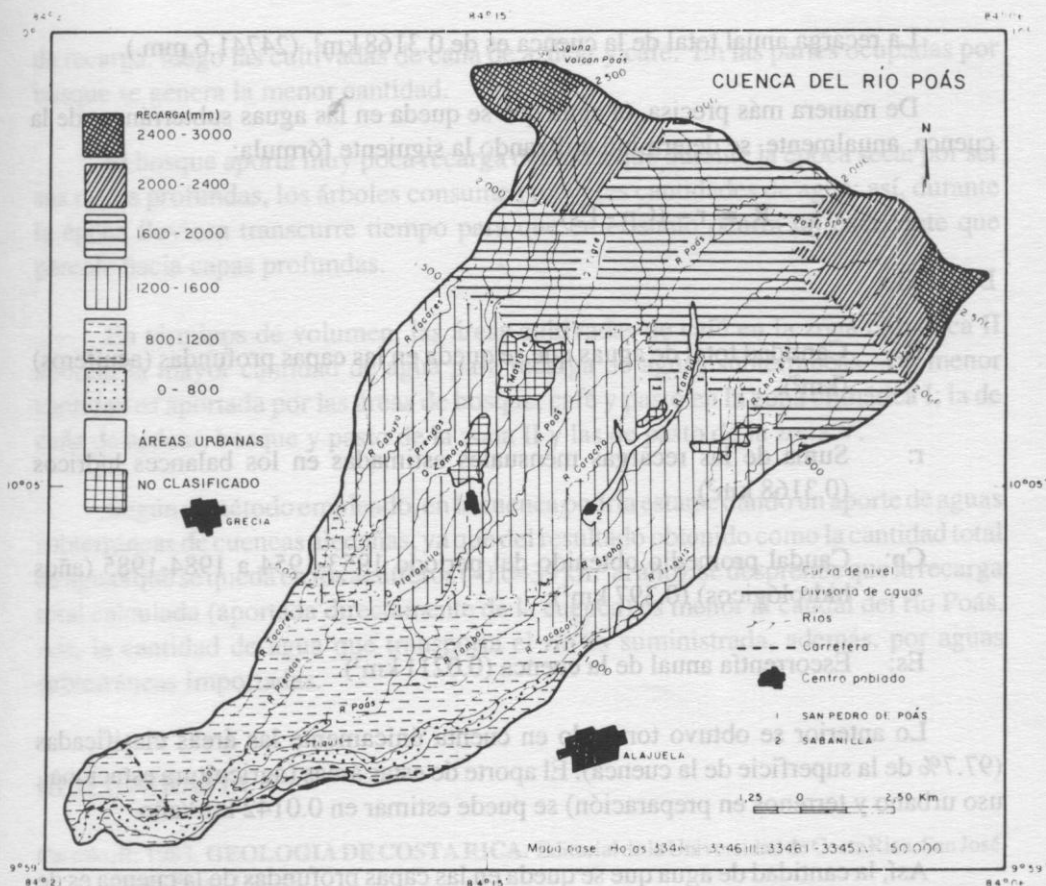
m. (para la clasificación, se tomó como límites 200% a 250%). Es la que ocupa una menor extensión en la cuenca (7.6 km²).

ESTIMACION DE LA RECARGA ANUAL

En la cuenca fue estimada la recarga anual de sus acuíferos según uso del suelo, unidad geomorfológica y zona climática.

Así, en la zona climática I (hasta los 1000 m.s.n.m.), en la unidad geomorfológica lahar, en el área cultivada de café, la recarga es de 923 mm., en la cultivada de caña de azúcar es de 927,1 mm., en la cultivada de pasto es de 957,3 mm. y en las áreas de bosque es de 742,9 mm. (mapa N° 5).

En la zona climática III (de los 1500 m.s.n.m. a los 2000 m.s.n.m.), en la misma



Mapa 5
DISTRIBUCION DE LA RECARGA ANUAL

unidad geomorfológica, las áreas sembradas de café generan una recarga de 1885.1 mm.; las utilizadas para el pasto, 1938,4 mm. y las cubiertas por bosque, 1771.7 mm. (mapa No. 5).

En la misma unidad geomorfológica y en la zona climática IV (de los 2000 a los 2500 m.s.n.m.) las áreas utilizadas para pastos aportan 2395.1 mm. de recarga y las cubiertas por bosque, 2354.8 mm. (mapa No. 5).

En la zona climática V (a más de 2500 m.s.n.m.) y en la unidad geomorfológica mencionada las áreas cubiertas de bosque general 2414.6 mm. de recarga y las de pasto, 2455.3 mm. (mapa No. 5).

Así, en la unidad geomorfológica, cenizas se presenta una recarga total de 0.25545 km³ (21198.4 mm. al año).

La recarga anual total de la cuenca es de 0.3168 km³. (24741.6 mm.).

De manera más precisa, el agua que se queda en las aguas subterráneas de la cuenca, anualmente, se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$R = r - (Cp - Es)$$

De donde:

R: Cantidad total de aguas que se queda en las capas profundas (acuíferos) (km³).

r: Suma de las recargas mensuales estimadas en los balances hídricos (0.3168 km³).

Cp: Caudal promedio obtenido del período 1953-1954 a 1984-1985 (años hidrológicos) (0.397 km³).

Es: Escorrentía anual de la cuenca (0.0211 km³).

Lo anterior se obtuvo tomando en cuenta únicamente las áreas clasificadas (97.7% de la superficie de la cuenca). El aporte de estas áreas (agricultura estacional, uso urbano y terrenos en preparación) se puede estimar en 0.0142 km³/año.

Así, la cantidad de agua que se queda en las capas profundas de la cuenca es de -0.0439 km³ al año.

RESULTADOS

La cantidad de agua que sirve para recargar las aguas subterráneas en la cuenca del río Poás, de acuerdo con el método empleado, está determinado por varios factores, principalmente por el clima.

Así en la cuenca, los mismos cultivos en diferentes zonas climáticas originan distintas cantidades de agua para recarga.

En las zonas climáticas con mayor precipitación media anual (las que presentan las mayores altitudes) se genera la mayor cantidad de recarga anual.

Además de la disponibilidad de agua originada por la precipitación, juega un papel importante la profundidad de las raíces. Si son poco profundas (como en el pasto) el suelo es rápidamente saturado originando agua que percola a capas más bajas.

Entonces, en la cuenca las zonas cubiertas por pasto aportan la mayor cantidad

de recarga, luego las cultivadas de caña de azúcar y café. En las partes ocupadas por bosque se genera la menor cantidad.

El bosque aporta muy poca recarga debido a que durante la época seca, por ser sus raíces profundas, los árboles consumen mayores cantidades de agua; así, durante la época lluviosa transcurre tiempo para que en el suelo ocurra un excedente que percole hacia capas profundas.

En términos de volumen, las áreas cultivadas de café en la zona climática II aportan la mayor cantidad de agua para recarga de aguas subterráneas. La menor cantidad es aportada por las áreas de bosque, café y pasto en la zona climática I; la de caña de azúcar, bosque y pasto de la zona II y las de pasto de la zona V.

Según el método empleado, en la cuenca podría estarse dando un aporte de aguas subterráneas de cuencas aledañas, ya que del resultado obtenido como la cantidad total de aguas que se queda en los acuíferos (-0.0439 km^3 al año), se desprende que la recarga total calculada (aportada directamente de la cuenca) es menor al caudal del río Poás. Así, la cantidad de agua que transporta el río es suministrada, además, por aguas subterráneas importadas.

BIBLIOGRAFIA

- Castillo, R. 1983. **GEOLOGIA DE COSTA RICA**. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 188 pp.
- Davis, S. y Otro. 1971. **HIDROGEOLOGIA**. Ediciones Ariel. Barcelona, España. 563 pp.
- Benítez, A. 1972. **CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS**. II Edición. Editorial Dossat, S. A. Madrid, España. 619 pp.
- Hargreaves, G. H. 1981. **CLIMATE AND THIRD WORLD AGRICULTURAL**. Revista Interciencia. Volumen 6. Caracas, Venezuela. Julio/agosto. pp. 234-238.
- Hernando, L. 1988. **BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DEL RIO POAS**. Tesis. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. 160 pp.
- Herrera, W. 1985. **CLIMA DE COSTA RICA**. EUNED. San José, Costa Rica. 118 pp.
- Thornthwaite C. W. and Mather, J. R. 1957. **INSTRUCTIONS AND TABLES FOR COMPUTING POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND THE WATER BALANCE**. Drexel Institute Climatology. Publications in Climatology. Vol. X, N° 3. Third Printing. New Jersey.