

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y BALANCE PRELIMINARES PARA LOS MUNICIPIOS DEL ORIENTE CERCANO A MEDELLÍN, ANTIOQUIA

**María Victoria VÉLEZ O^{*}, Ricardo A. SMITH^{*},
Fabián HOYOS P^{*}, y Rubén Darío MONTOYA**

RESUMEN

Se presenta en este trabajo una evaluación hidrogeológica preliminar de los municipios de El Retiro, Rionegro, La Ceja, El Carmen, Guarne y Marinilla. Estos municipios conforman la región del oriente cercano a Medellín, capital del departamento de Antioquia. En esta evaluación se identifican las principales unidades acuíferas, se determinan direcciones de flujo y una recarga potencial por precipitación. Se hace un análisis del impacto del fenómeno del Niño y la Niña sobre el clima de la región y se incluye en los cálculos.

La proyección de la demanda de agua, teniendo en cuenta consumos residenciales, comerciales e industriales y se hacen unas proyecciones hasta el año 2020. El balance en la región se hace comparando los volúmenes de agua demandados con el potencial de los acuíferos de la zona. Se presentan finalmente algunas conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

A preliminary hidrogeologic evaluation is presented for several municipalities located east of Medellín. The municipalities are El Retiro, Rionegro, La Ceja, El Carmen, Guarne y Marinilla. In the evaluation the main aquifer units are identified, flow direction are determined and the potential recharge from precipitation is computed. An analysis of the impact of El Niño Southern oscillation phenomenon over the precipitation in the region was done and taken into account in the computation.

Projections of water demands was done until year 2020 considering residential, industrial and commercial consumption. The water balance in the region was done by comparison of water volume demands with the aquifers water potential. Finally some conclusions and recommendations are presented.

INTRODUCCIÓN

El oriente cercano Antioqueño, donde se encuentran los municipios de El Retiro, Rionegro, La Ceja, El Carmen, Guarne y Marinilla, ha experimentado un acelerado crecimiento en los últimos años, lo cual se refleja en un asentamiento de nuevas industrias, aumento del comercio, y desplazamiento de población, bien sea de municipios aledaños o desde la zona

^{*} Profesor (a) Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos
Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería Civil, AA 1027. MEDELLÍN

metropolitana de la ciudad de Medellín. Esto obviamente implica un aumento en la demanda de los servicios públicos y por tanto una mayor demanda de agua potable.

Para suplir las necesidades de agua potable se ha empezado a recurrir a la explotación del agua existente en el subsuelo. Sin embargo no se cuenta con una evaluación del potencial del recurso, ni de su comportamiento regional y mucho menos se tienen las herramientas necesarias que permitan una explotación racional del agua subterránea.

La Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare (CORNARE) consciente de la importancia de este recurso en la zona, encargó a la Universidad Nacional, Posgrado de Recursos Hidráulicos, la evaluación hidrogeológica preliminar de las zonas que comprenden los municipios antes mencionados.

El estudio permitirá identificar y evaluar las unidades acuíferas de El Carmen de Viboral, Guarne, la Ceja, El Retiro, Marinilla, y Rionegro, con el fin de proporcionar a CORNARE información de apoyo para el manejo y control del recurso hídrico subterráneo en la región, determinar direcciones de flujo, áreas de posible explotación y un volumen de recarga aproximado.

En este trabajo se identificaron las zonas potencialmente acuíferas con su geología y características principales. Se hizo una estimación de la reserva potencial de agua subterránea en la zona, lo que junto con los estimativos de la demanda futura de agua en la zona, permite visualizar la magnitud del recurso de agua subterránea que se tiene y su posible utilización.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA E INFORMACIÓN DISPONIBLE

El área objeto de este estudio se localiza en el oriente antioqueño y cubre zonas ubicadas en el valle alto del Río Negro que pertenecen a los municipios de Guarne, Rionegro, El Retiro, La Ceja, El Carmen, Santuario, y Marinilla, los cuales cubren una superficie de unos 800 km². Ver Figura 1 y 2.

Las alturas de la región oscilan entre 1800 y 2800 m.s.n.m., con temperaturas promedios entre 16 y 17° C. El crecimiento de la población en los últimos años se debe al desplazamiento de habitantes de la ciudad de Medellín, que han ubicado en la zona sus casas de recreo o de habitación permanente. Además gran número de industrias se han establecido allí, favorecidas por las cercanías al aeropuerto José María Córdoba y al establecimiento de una zona franca.

Como se trata de una evaluación preliminar la principal fuente de información geológica fueron estudios anteriores verificados por medio de varias visitas de reconocimiento de la zona.

La información hidrológica se obtuvo por intermedio de las Empresas Públicas de Medellín, quienes suministraron los registros pluviométricos de la región y el Instituto de Estudios

ambientales (IDEAM) suministró los registros meteorológicos de la estación la Selva. La ubicación de las estaciones se muestra en la Figura 2.

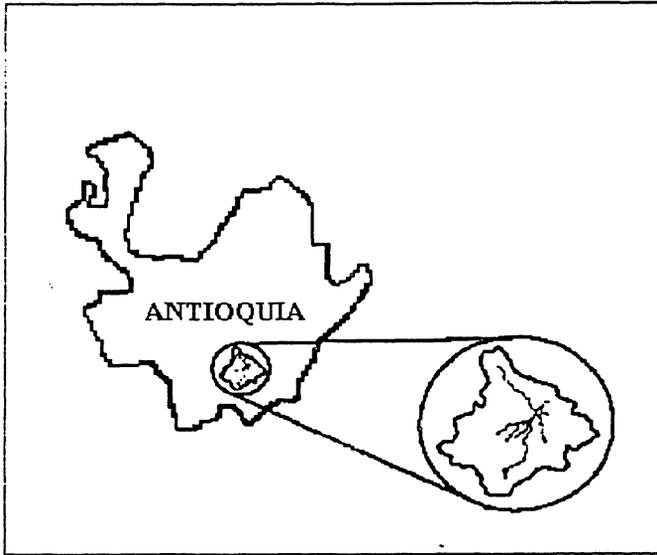


FIG. 1 Zona de ubicación del proyecto

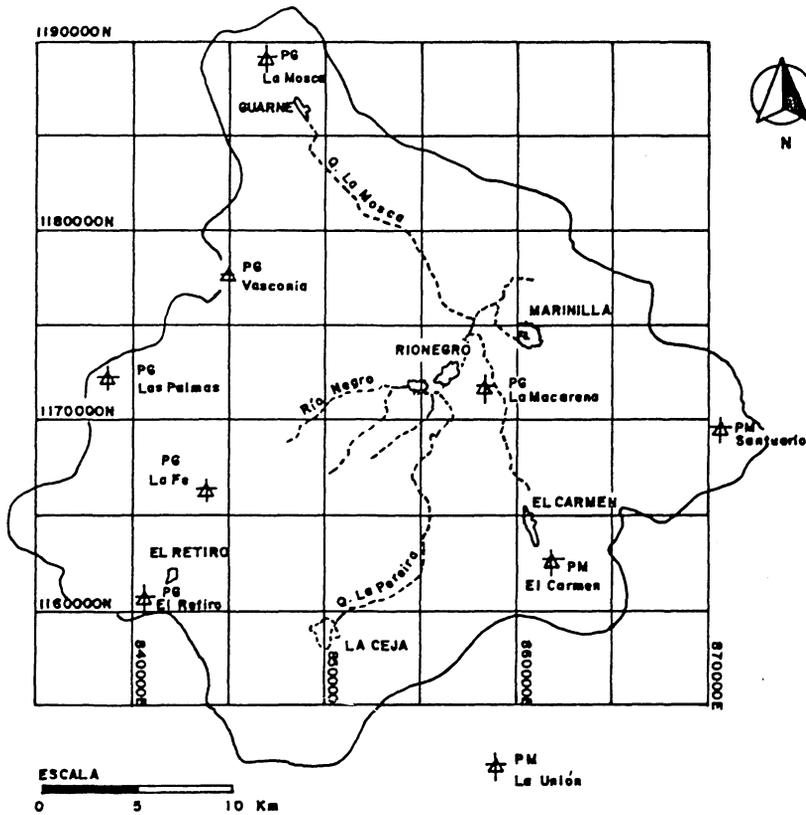


FIG. 2 Localización de las estaciones pluviográficas y pluviométricas empleadas

Se hizo un levantamiento representativo de pozos, captaciones y manantiales en la zona. La figura 3 muestra los diferentes puntos de agua seleccionados. Además se recolectó toda la información que sobre censos de población existía en los municipios comprendidos en la zona estudiada.

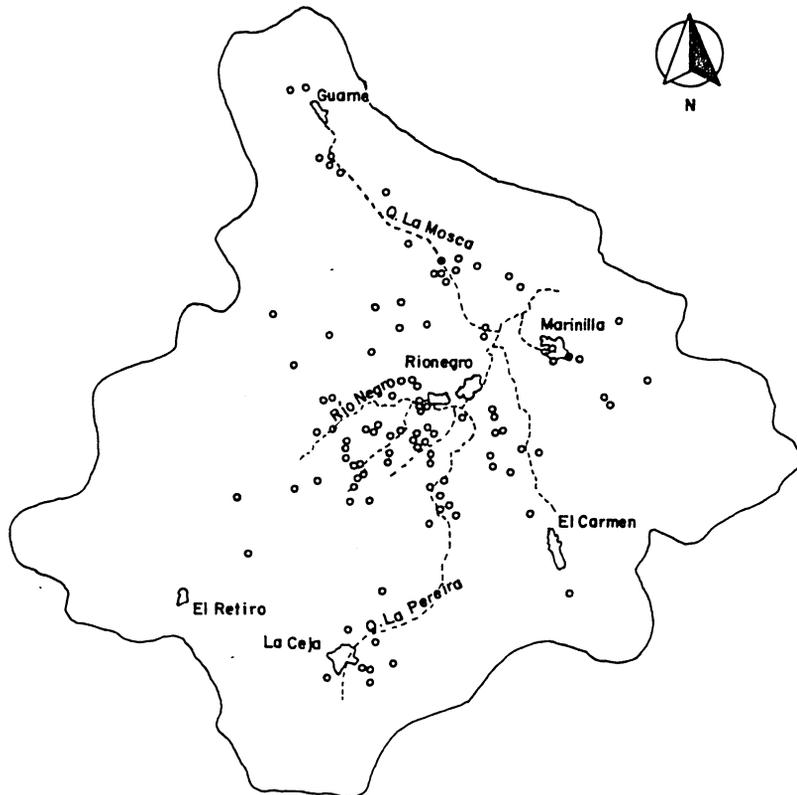


FIG. 3 Puntos de agua inventariada en la zona de estudio

METODOLOGÍA

Con el fin de elaborar el modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio se completó a escala 1:25000 toda la información geológica disponible, con varios reconocimientos de campo. Se hizo un inventario de puntos de agua, posición de niveles estáticos y se evaluó la recarga por precipitación con lo que se obtuvo una clasificación de las unidades hidrogeológicas, mapa de isopiezas, y una evaluación de la recarga proveniente de la precipitación.

Unidades hidrogeológicas

Para la clasificación hidrogeológica de las diferentes unidades se tuvieron en cuenta las siguientes características geológicas: litología, granulometría, estructuras, etc, de las diferentes formaciones del área. Con estos criterios se han clasificado las formaciones presentes en la región en tres grupos principales desde el punto de vista hidrogeológico, así:

Formaciones con alto potencial hidrogeológico: está conformada por formaciones aluviales, particularmente las vegas y terrazas. Presentan porosidades y permeabilidades altas, mayores de 10^{-4} cm/s y sus niveles piezométricos se encuentran cercanos a la superficie.

Formaciones con potencial hidrogeológico intermedio: está conformado por las colinas saprolíticas y los depósitos de ladera en su parte inferior y el sustrato rocoso fracturado con permeabilidad secundaria hasta de 10^{-3} cm/s. En ésta el nivel piezométrico se encuentra entre 10 y 50 m por debajo de la superficie.

Formaciones con potencial hidrogeológico bajo: corresponden a rocas cristalinas con un delgado manto de regolito y la parte alta de los depósitos de ladera. Presentan permeabilidades menores de 10^{-4} cm/s; y debido a la distribución de las fracturas presentes en la rocas tiene una gran dificultad para la extracción del agua en esta unidad.

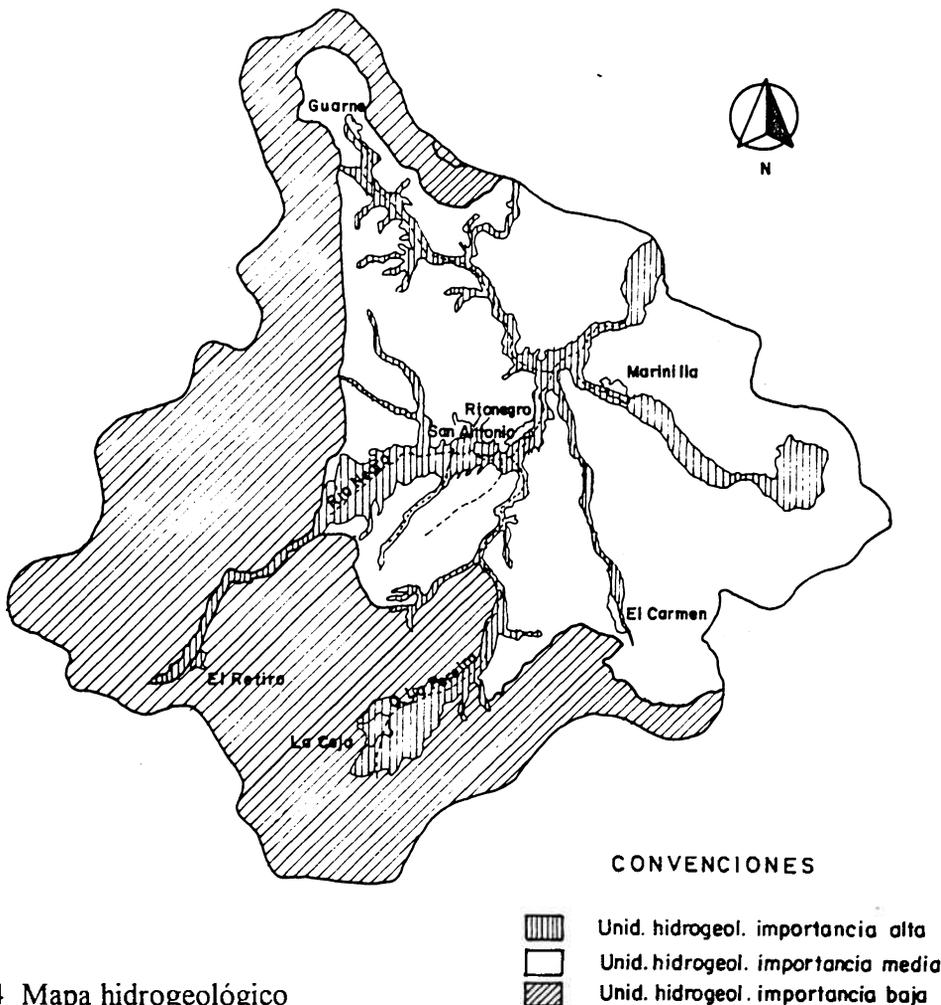


FIG. 4 Mapa hidrogeológico

La figura 4 muestra la ubicación de estas unidades. Todas estas formaciones están recubiertas por una capa de ceniza volcánica proveniente de la actividad pleistocénica de los volcanes del macizo Ruiz-Tolima. La cubierta de ceniza tiene un espesor medio aproximado de 2 m, que en las zonas de las terrazas y depósitos aluviales alcanzan un espesor entre 2.5 y 3 m. Sus características texturales y estructurales, asociadas a los rasgos geomorfológicos predominantes en el área de estudio, facilitan en alto grado la infiltración de agua lluvia.

Mapa de isopiezas

Mediante el inventario de puntos de agua, se elaboró un mapa de isopiezas (ver figura 5) que permite identificar las principales direcciones de flujo. En general se tiene un flujo desde el occidente hasta el oriente y desde el sur hacia el noroeste, mostrando una zona excelente, desde el punto de vista de recarga, en el área comprendida entre las cotas 2120 y 2400 m. Se puede decir en términos generales que los acuíferos son libres, no descartándose que en alguna zona pueda existir confinamiento del acuífero.

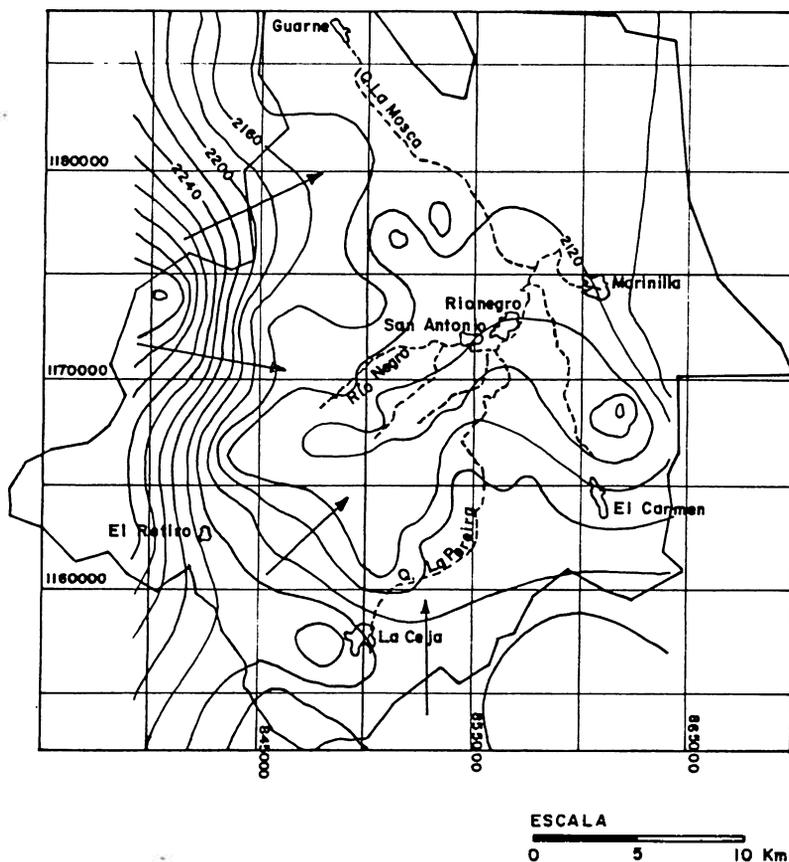


FIG. 5 Mapa de isopiezas y direcciones de flujo

Evaluación de la recarga proveniente de precipitación

El objetivo principal de este análisis es la estimación de la recarga potencial de los acuíferos, mediante un balance hídrico realizado para períodos normales, secos y húmedos. Los períodos durante los cuales se presentó el fenómeno del Niño se consideraron como secos y los húmedos donde se presentó La Niña. Para la estimación de la recarga se usó la ecuación de balance hídrico:

$$I = P - ESD - EVP_R \pm \Delta A$$

en donde

I es la infiltración, P es la precipitación, ESD es la escorrentía superficial directa, EVP_R es la evaporación real, y ΔA es el incremento del almacenamiento.

La infiltración eficaz para cada periodo se halla así:

$$I_e = I - (CC)I - (PM)I$$

en donde

I_e es la infiltración eficaz, CC es la capacidad de campo, y PM es el punto de marchitez.

Para cada uno de los periodos se obtiene la precipitación promedio multianual, utilizando los registros de todas las estaciones mostradas en la figura 2.

Según la clasificación de Kiladis y Díaz (1989) los años Niño para este siglo son:

1902, 1904, 1911, 1913, 1918, 1923, 1925, 1930, 1932, 1939, 1951, 1953, 1957, 1958, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976-1977, 1982-1983, 1986, 1987, 1991-1992, 1994, 1997.

Y los años Niña son:

1903, 1906, 1908, 1916, 1920, 1924, 1928, 1931, 1938, 1942, 1949, 1954, 1964, 1970, 1971, 1973, 1975, 1988, 1995.

La tabla 1 muestra los parámetros estadísticos de la precipitación teniendo en cuenta los fenómenos Niño y Niña. En los años Niño la precipitación disminuye en todas las estaciones entre un 7 y un 9% y aumenta con la Niña entre un 10 y un 17%.

TABLA I Parámetros Estadísticos de la Precipitación

Nº	Estación	Cv = σ/μ	Desv. standar	Precipitación (mm/año)				
				Prom. Multianual	Año Seco	Año Humedo	Año Niño	Año Niña
1	La Mosca	-0.10	309.5	1889.5	1523.8	2268	1706	2206
2	La Fe	0.19	296.5	1957.4	1631.1	2344.1	1790	2178
3	Vasconia	0.32	355.9	2188.7	1797.1	2652.9	2024	2502
4	Las Palmas	0.14	288.1	1924.9	1607.9	2300.7	1754	2107
5	El Retiro	0.90	316.6	2105.2	1756.8	2518.2	1931	2462
6	R.La Macarena	-0.13	240.5	1905.4	1640.7	2219.2	1751	2155
7	El Carmen	0.30	352.1	2690.6	2303.2	3149.9	2463	3096
8	Santuario	0.21	415.1	2794.6	2319.7	3317.9	2865	2952
9	La unión	0.70	517.7	2440.8	1816.5	3061.5	2263	2573

La escorrentía superficial directa, se halló a partir de los registros de caudal de la estación Puente Real, ubicada en el río Rionegro, en la zona de estudio. Como caudal base se consideró el caudal mínimo de todo el periodo de registro y este valor se le resto a los caudales promedios de cada mes, dando como resultado el caudal de escorrentía superficial.

La evapotranspiración potencial (EVP) se halló usando varias expresiones y se compararon los resultados con la evapotranspiración medida con el tanque evaporimetro, como se muestra en la tabla 2. La que mejores resultados presentó fue la ecuación de Hargreaves.

Usando esta última expresión se calculo la EVP para los años Niño y Niña, como se muestra en la tabla 3.

La evapotranspiración real se calculó así:

$$ETP_R = ETP \times K$$

en donde

ETP es la evapotranspiración potencial calculada usando la expresión de Hargreaves, ETP_R es la Evapotranspiración real, y K es el coeficiente de uso consuntivo de agua en las plantas.

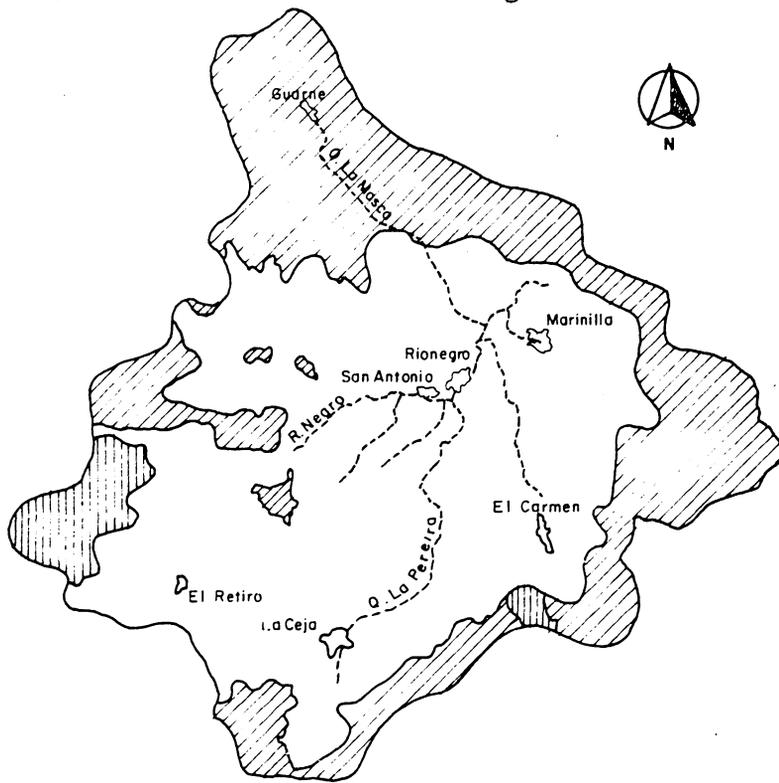
TABLA 2 Valores mensuales multianuales de ETP

METODO	ETP (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
BLANEY	95.03	87.39	99.54	99.12	103.45	99.91	102.48	102.08	96.62	97.26	91.9	94.73
CHRISTIANSEN	63.61	62.64	66.75	60.25	60.35	65.58	76.72	76.2	69.49	59.72	58.48	63.08
GARCIA Y LOPEZ	59.46	56.22	63.56	62.3	62.2	62.63	65.37	66.21	62.14	57.52	55.67	57.52
HARGREAVES	70.74	66.45	72.3	69.56	73.5	78.26	87.69	84.15	74.79	64.79	63.56	67.92
THORNTHWAITE	60.89	56.12	64.03	62.57	65.3	61.96	62.76	63.39	60.74	60.27	58.33	60.27
TANQUE K=1	99.4	92.5	102	94.9	100	111.5	123.7	120.3	105.6	88.4	82	86.5
TANQUE K=0.8	79.52	74	81.6	75.92	80	89.2	98.96	96.24	84.48	70.72	65.6	69.2

TABLA 3 Resultados obtenidos para los años Niño y Niña empleando Hargreaves

METODO	ETP (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
NIÑO	75.69	69.08	76.57	70.19	74.41	79.93	94.68	88.64	76.37	78.05	66.25	70.61
NIÑA	72.24	64.55	73.31	69.23	72.53	76.4	83.32	75.49	61.63	61.04	69.59	56.15

En el área la mayor superficie está cubierta por bosques naturales, cultivos no permanentes y pastos, (ver figura 6). A cada uno de los cuales se les asignó un valor de K.



CONVENCIONES

- Cultivo no permanente
- Bosque Plantado
- Bosque Natural

FIG. 6 Usos del suelo

El año se dividió en 4 períodos: el primero comprende los meses de diciembre, enero, febrero y mayo, el segundo los meses de abril y mayo; el tercero los meses de junio, julio y agosto y el cuarto septiembre, octubre y noviembre. En vista de la ausencia total de información piezométrica en varias épocas del año, se consideró que el ΔA para cada período era igual a cero.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1979) hizo un estudio de suelos en la región y halló los valores de capacidad de Campo (CC) y punto de Marchitez (PM), para las principales asociaciones que son la Pulgarina, Tequendamita y Guaduas (Ver Figura 7).

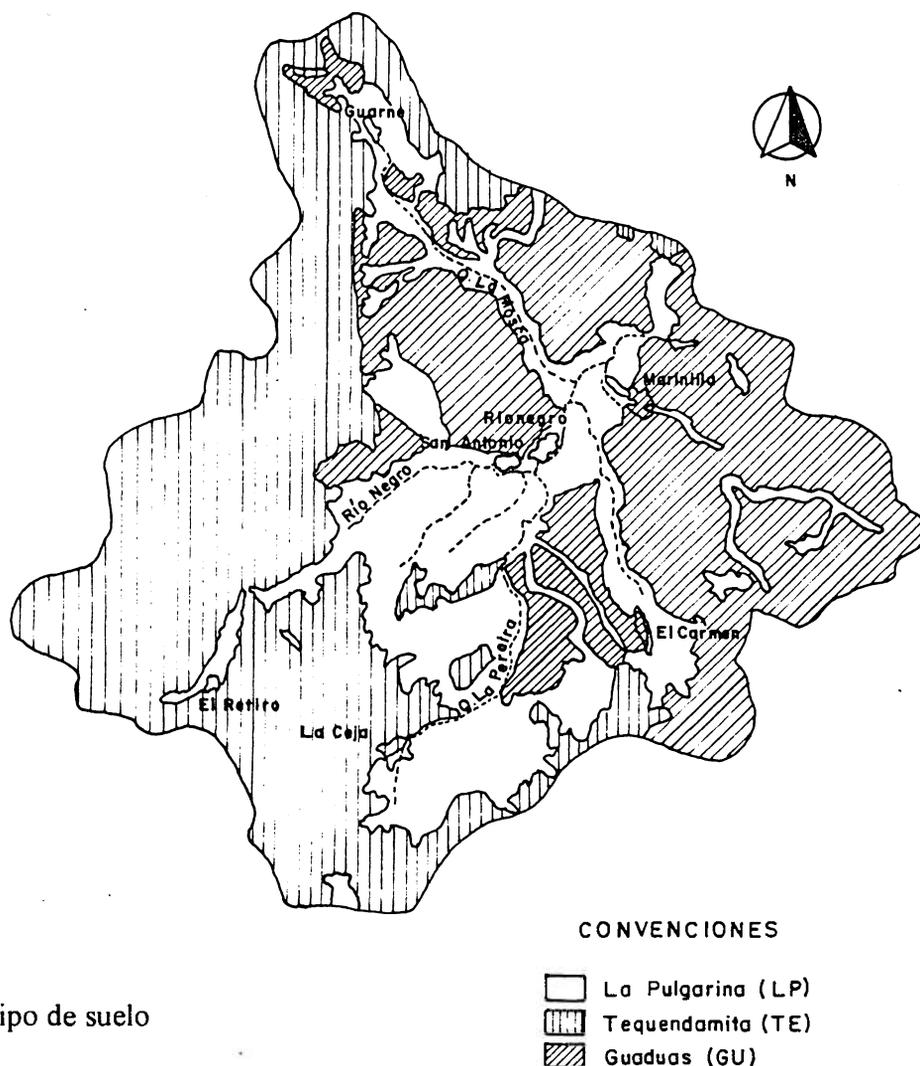


FIG.7 Tipo de suelo

Utilizando el sistema de información geográfica ILWIS, y haciendo álgebra de mapas para hallar las combinaciones de suelo, uso del suelo y precipitación promedio anual se halló la infiltración eficaz para año normal, años Niña y años Niño. Ver tabla 4.

TABLA 4 Infiltración Eficaz en m³ para los diferentes periodos considerados.

Año	Primer Periodo	Segundo Periodo	tercer Periodo	cuarto periodo	Recarga total Anual
Normal	72739496	119635431	194929349	157483368	544787644
Niño	62567911	128333732	146299695	160278256	497479595
Niña	69850848	122558548	272688208	173154063	638251667

PROYECCIONES DE DEMANDA

Con el fin de conocer en el futuro como será la presión sobre el recurso agua en la zona, se hicieron proyecciones de demanda teniendo en cuenta distintos escenarios y métodos de proyección. Los métodos que mejores resultados presentaron fueron el método aritmético y un método propuesto por la Universidad Nacional. Se consideran dos escenarios, uno "optimista" donde el crecimiento de la población, industria y el comercio son moderados, la demanda per cápita de agua decrece y uno pesimista, donde se presenta la situación contraria y por tanto la demanda de agua aumenta. En la tabla 5 se encuentran las demandas de agua para los diferentes municipios, para el año 2020.

TABLA 5 Demandas de agua para el año 2020, para los diferentes municipios.

Municipio	Método	Población	Escenario Optimista	Escenario Pesimista
			Consumo total por Municipio (miles m ³ /año)	Consumo total por Municipio (miles m ³ /año)
El Carmen	Universidad Nacional	49342	2632	5875
Guarne	Aritmético	39621	3161	5323
La Ceja	Aritmético	60320	4422	7863
El Retiro	Aritmético	21104	1426	2519
Marinilla	Universidad Nacional	44852	3803	6442
Rionegro	Aritmético	117615	10532	17008
TOTALES			25976	45030

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La magnitud potencial de existencia de agua subterránea en la zona hace necesario que se emprendan estudios detallados para hallar los espesores y la ubicación exacta de los mejores acuíferos, calidad del agua, permeabilidades y coeficientes de almacenamiento. Esto permitirá en el futuro una mejor utilización del recurso.

El balance hídrico realizado en la zona para estimar los valores de recarga no tuvo en cuenta entradas de agua de otras cuencas, ni caudales de salida por explotación de pozos y drenaje natural hacia cuencas más bajas. Tampoco en el estudio de escenarios futuros de demanda

se tuvo en cuenta la demanda agrícola, por carencia de información, aunque las necesidades de uso de agua por este sector, parecen ser muchísimo menores que las del residencial e industrial. Un balance hídrico completo debe incluir también las fuentes de agua superficiales, estudiando los caudales mínimos asociados a varios períodos de retorno. Esto permitiría, por ejemplo, un estudio de alternativas de abastecimiento de agua, usando el agua superficial o subterránea o las dos conjuntamente, para escoger la óptima, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Al evaluar los valores de recarga obtenidos para los acuíferos del altiplano de Rionegro, de 544, 497 y 638 millones de metros cúbicos al año, para años normales Niño y Niña respectivamente, y compararlos con las proyecciones de consumo de agua para el sector residencial e industrial, para el año 2020 (la proyección más pesimista), 45 millones de metros cúbicos al año, se tiene una idea de la magnitud del recurso agua subterránea en la zona.

Las direcciones de flujo muestran que la zona de terrazas y depósitos aluviales, y el saprolito de rocas ígneas, reciben toda la recarga procedente de la zona oriental, que debe mirarse con especial atención, pues un uso inadecuado del suelo (deforestación, erosión, etc.) puede hacer que rebaje ostensiblemente la cantidad de agua infiltrada y por ende la recarga de los acuíferos.

Las principales asociaciones de suelos de la zona tienen un importante componente de cenizas volcánicas cuya capacidad de retener agua es bastante grande. Esto es muy importante desde el punto de vista de la recarga, pues remover esa cubierta significaría no sólo que ésta disminuyera, sino que se aumentaría fuertemente la erosión en la zona.

BIBLIOGRAFIA

- BOTERO G. . 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. Anales de la facultad de Minas, No. 57. Medellín.
- CARRILLO J. . 1974. Propiedades físicas de los suelos derivados del Batolito Antioqueño. Tesis de grado. Universidad Nacional, Medellín.
- DANE . Censos del departamento nacional de estadística., años 1964. 1973. 1985 y 1993
- DURANGO J. .1975. Terrazas del valle del Río Negro y sus afluentes. Tesis de grado. universidad nacional. Medellín.
- IGAC. 1979. Estudio general de los suelos del Departamento de Antioquia. Bogotá
- KILADIS, G. Y DIAZ, H.F. 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in the southern oscillation. *Journal Climate*, 2. pp 1069-1090.
- OSORIO L.E. . 1987. Estudio Hidrogeológico en el Oriente Antioqueño. Tesis de grado. Universidad Nacional, Medellín.
- UNIVERSIDAD NACIONAL., 1997. Evaluación Hidrogeológica Preliminar Para los Municipios de: El Retiro, Rionegro, La Ceja, El Carmen, Guarne y Marinilla.