

Auto 874 sep. 18/00

DIGITALIZADO

Cornare	
No. DE ORDEN	18 (533)
ASUNTO	18 OCT. 2000
FECHA	
PAG. A	ASUNDO
100	
111	

# CONCESIÓN TÚNEL ABURRÁ - ORIENTE

## EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL CORREDOR DEL TÚNEL ABURRÁ ORIENTE

Fabián Hoyos Patiño  
Septiembre 29, 2000

51  
CASA 84

# DIGITALIZADO

## EVALUACIÓN HIDROGEOLOGICA DEL CORREDOR DEL TÚNEL ABURRÁ - ORIENTE

La CONCESIÓN ABURRÁ ORIENTE ha ordenado la ejecución de un estudio hidrogeológico del corredor del túnel que comunicará los Valles de Aburrá y San Nicolás, con el objeto de evaluar los efectos que su construcción puede tener sobre las aguas superficiales y subterráneas en esta zona. En este informe presentamos el estado actual de la investigación y una primera aproximación al modelo hidrogeológico en el área de influencia directa del proyecto y en particular en el corredor del túnel.

El área investigada comprende las cuencas de las quebradas Santa Elena, Honda, Salazar (Sajonia), Yarumal, hasta la cota 2200, de la quebrada Espíritu Santo hasta su cruce con la vía Las Palmas - Aeropuerto, en una extensión total de 42 km<sup>2</sup>, y de la Quebrada Santa Elena hasta la cota 2100. El área de investigación fue definida con base en dos criterios independientes: cubre las cuencas de las quebradas que atraviesa el túnel, hasta la cota 2200 en la cuenca del Río Negro y hasta la cota 2100 en la cuenca del Río Medellín, y se extiende a una distancia de 2 km a ambos lados de su eje más allá de donde se considera, en una primera aproximación, que puede alcanzar el efecto de la construcción del túnel sobre las aguas superficiales; estos criterios son en gran medida coincidentes y han sido utilizados conjuntamente para definir el cubrimiento de la generación de información y el área donde se aplicarán los modelos numéricos. En la Figura 1 se encuentra la localización general del tramo proyecto que corresponde al túnel.

### METODOLOGÍA

La metodología de trabajo comprende

- la revisión sistemática de la literatura geológica, hidrológica e hidrogeológica disponible sobre la región.
- el reconocimiento geomorfológico del corredor del túnel y de su entorno.
- el muestreo sistemático de los sistemas de diaclasas en los afloramientos rocosos y la localización georeferenciada de los manantiales, pozos y humedales en el área considerada relevante para el análisis hidrogeológico, y la ejecución de sondeos geoelectricos a lo largo del eje del túnel.
- la elaboración de un modelo conceptual del sistema hidrogeológico regional en su condición actual y de las modificaciones que puede introducir la construcción del túnel.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

- la elaboración de un modelo matemático del flujo del agua subterránea en el macizo rocoso entre los portales occidental y oriental del túnel que considere diferentes condiciones de revestimiento y diferentes programas de construcción.

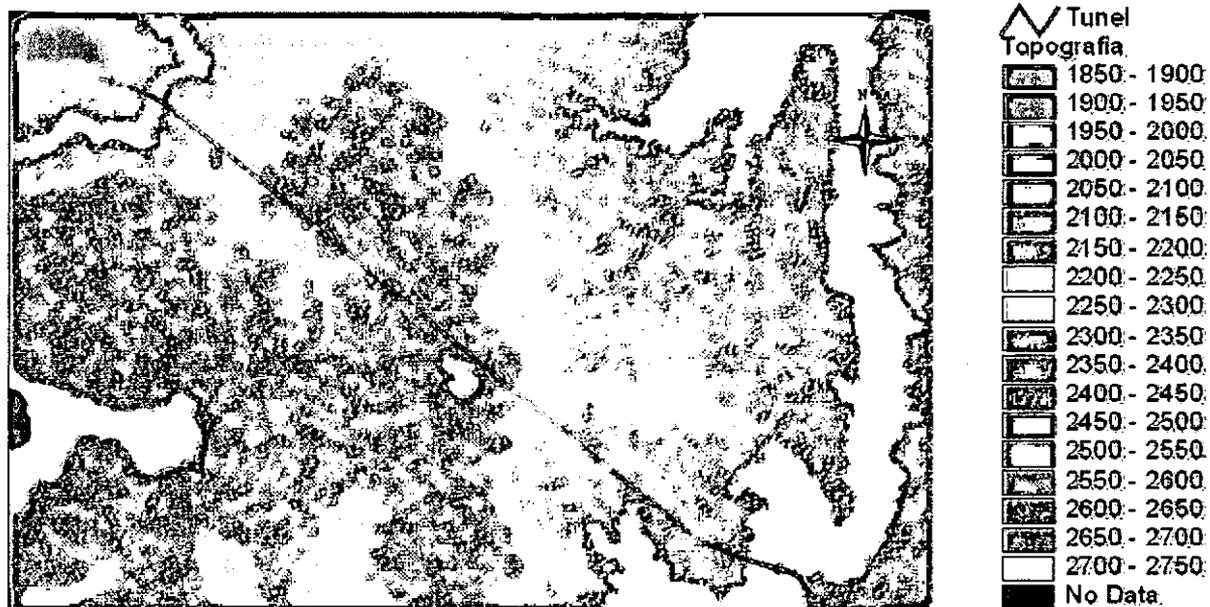


Figura 1. Localización del área del proyecto.

La información utilizada comprende la cartografía básica digitalizada a partir de las planchas del IGAC a escala 1:10000, con curvas de nivel cada 20 m, la información geológica y geotécnica recopilada y generada en este mismo proyecto por Consultoría Colombiana (1984) e Integral (2000), la localización georeferenciada de 157 manantiales, pozos y humedales, complementada con la información de corrientes permanentes de agua de la cartografía del IGAC, el levantamiento de información sobre la orientación, y características de densidad, abertura y relleno de 830 diaclasas en 7 afloramientos rocosos, 5 sondeos eléctricos verticales, con configuración Schlumberger, a lo largo del eje del túnel, 8 sondeos eléctricos verticales en el área estudiada o cercanos a ella, y 38 registros de composición isotópica del agua lluvia y de agua de manantiales y quebradas en el área estudiada o cercanos a ella. La información generada en los sondeos eléctricos verticales fue modelada e interpretada con ayuda del Software WINSEV 5. Toda la información utilizada fue georeferenciada y almacenada en archivos magnéticos.

La información recopilada y generada en esta investigación ha sido evaluada en su conjunto para preparar un modelo hidrogeológico regional que sirve de

fundamento a los modelos conceptuales y numéricos utilizados en la evaluación de los efectos de la construcción del túnel sobre el sistema hidrogeológico. Con base en ella se ha construido un mapa de isopiezas, mediante el programa SURFER en su modo krigging, que representa la posición generalizada de la superficie freática en la zona de interés para el proyecto, y que sirve de nivel de referencia para la evaluación dichos efectos de la construcción del túnel. ✓

En el balance hidrológico en superficie necesario para evaluar el efecto de la construcción del túnel sobre las aguas superficiales se considerará, por una parte, la infiltración efectiva y, por otra, la descarga a través del túnel en diferentes condiciones de revestimiento y en diferentes etapas de la construcción. La zona donde se pueden presentar variaciones apreciables por efecto de la construcción del túnel comprende la zona en la que el balance entre la infiltración efectiva y la descarga a través del túnel sea negativa. La zona de influencia de la construcción del túnel comprende la zona donde la infiltración efectiva equilibra el caudal drenado por el túnel.

Para efectos de la elaboración del modelo numérico, el sistema macizo/túnel cumple las condiciones necesarias para que el flujo del agua en él pueda ser asimilado a un flujo estacionario en medio poroso: de una parte, las dimensiones de la sección del túnel son pequeñas en comparación con las dimensiones del macizo rocoso suprayacente y, de otra, la distancia media entre diaclasas es pequeña en comparación con las dimensiones de la sección del túnel. ✓

El túnel es considerado para efectos del análisis como una galería de drenaje que define una nueva condición de borde en el sistema hidrogeológico entre los puntos extremos del mismo. La modificación más importante consistirá en que el túnel generará en el interior del macizo rocoso una zona en la que la presión será esencialmente igual a la presión atmosférica y dará lugar a cambios locales en los gradientes hidráulicos que reorientarán el flujo del agua subterránea hacia el túnel. La magnitud de estos cambios locales pueden hacer que aumente la infiltración del agua en el terreno y descienda el nivel freático. Los efectos sobre el sistema hidrogeológico estarán dados por magnitud de dichos cambios en el nivel freático.

La evaluación de los cambios en el nivel freático regional ha sido preparada mediante el uso del programa MODFLOW en su paquete DRAIN. Este software ha sido diseñado para simular el flujo del agua desde un acuífero a través de una abertura longitudinal a una velocidad proporcional entre la cabeza en el acuífero y la cabeza del túnel mientras la cabeza del acuífero sea mayor que la elevación de túnel. Se supone que la cabeza en el túnel es igual a su elevación ✓

media y la cabeza calculada en cada celda o elemento de cálculo en el macizo rocoso es un valor medio que prevalece a una distancia dada medida desde el eje del túnel y la cabeza que prevalece en él es sólo local y no caracteriza ningún elemento como un todo. Entre el túnel y un elemento del macizo rocoso caracterizado por una cabeza dada  $h_{ijk}$  tiene lugar un flujo semiradial en el plano vertical caracterizado por gradientes hidráulicos progresivamente más empinados a medida que se aproxima al túnel. Los cambios de presión o pérdidas de cabeza en este esquema de flujo convergente están definidos por las características hidráulicas del macizo rocoso que pueden ser evaluadas a partir de sus condiciones de fracturamiento con base en la ecuación propuesta por Louis (1967) para flujo laminar a través de una masa de roca fracturada en la que las fracturas están vacías y sus paredes son lisas:

$$k = ge^3 / 12vb$$

En esta expresión

g: aceleración de la gravedad ( $\text{cm/s}^2$ )

e: abertura de las discontinuidades

b: espaciamiento entre discontinuidades

v: viscosidad cinemática del agua ( $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$  a  $20^\circ \text{ C}$ )

En la Figura 2 se presenta la solución gráfica de esta ecuación. En caso de que las paredes de las fracturas sean rugosas o que se encuentren llenas de algún material la permeabilidad puede ser sustancialmente menor. Louis (1967) presenta mas de 8 expresiones para describir el flujo del agua subterránea en un medio fracturado en diferentes condiciones pero la ecuación presentada da el mayor coeficiente de conductividad hidráulica equivalente.

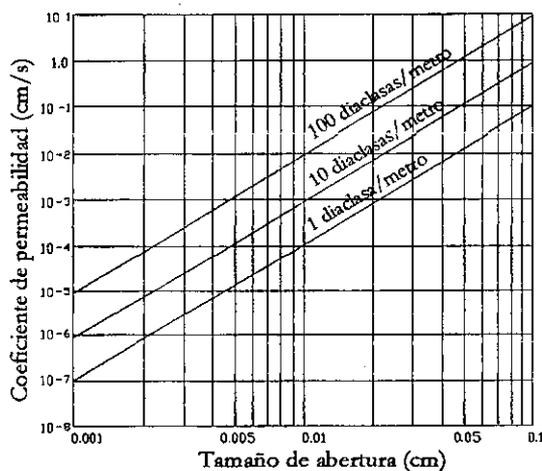


Figura 2. Influencia del espaciamiento,  $b$ , y de la abertura de discontinuidades,  $e$ , en la conductividad hidráulica de un macizo rocoso.

El cambio de presión, o las pérdidas de cabeza a través del revestimiento del túnel, si existe, es una función del número y tamaño de las aberturas a través del mismo. El flujo convergente hacia el túnel y el flujo a través de su revestimiento generan cambios en la cabeza hidráulica que pueden suponerse que ocurren en serie y que son proporcionales al caudal a través del sistema, es decir a la descarga desde un elemento dado del macizo. Y puesto que las pérdidas de cabeza ocurren en serie, la diferencia de cabezas entre un elemento dado del macizo rocoso y el túnel puede tomarse como proporcional al caudal en el elemento de túnel que se esté considerando.

Debe tenerse en cuenta además que el problema de flujo en el macizo rocoso puede tratarse como un problema bidimensional en un amplio trayecto del túnel, debido a la relación entre su longitud y la distancia hasta la superficie.

Los resultados de la evaluación de los efectos de la construcción del túnel sobre el sistema hidrogeológico regional serán utilizados más adelante como entradas en el diseño final del revestimiento del túnel y en la definición del programa de construcción.

## GEOLOGÍA REGIONAL

La información geológica e hidrogeológica relevante examinada comprende las siguientes referencias: Botero (1963); Carrillo (1973), Feininger & Botero (1982), Hermelin (1978, 1980, 1992), Hoyos et al (1984), Hoyos & Arnason (1998a), Hoyos et al (1998b), Integral (1999) Page (1980), Page & James (1981), Universidad Nacional (1997, 2000), Villegas (1981).

No existen discrepancias fundamentales en los aportes de los autores citados en cuanto a la geología y geomorfología de la zona que ha sido presentada en los informes de Consultoría Colombiana (1984) e Integral (2000). El basamento rocoso está formado por rocas cristalinas fracturadas: granitoides del Batolito Antioqueño, serpentinitas, metasedimentos y anfibolitas del Grupo Ayurá – Montebello, de acuerdo con la terminología propuesta por Botero (1963), a partir de las cuales se ha desarrollado un grueso regolito, cuyo espesor medio es 80 m y en algunos sitios supera los 200 m en la zona del Valle de San Nicolás. En el corredor del túnel el espesor medio del regolito llega sólo a 20 m, incluida una cubierta de ceniza volcánica entre 0.5 y 1 m.

La meteorización de las rocas del Batolito Antioqueño, de las cuales puede considerarse que forma parte el Stock de Samarcanda, ha dado lugar a un perfil de meteorización descrito por Carrillo (1973), Hoyos et al (1984) y Villegas

(1981). En el perfil de meteorización típico se distinguen tres niveles u horizontes: un suelo residual maduro de limos de baja permeabilidad que normalmente tiene varios metros de espesor; una zona saprolítica de espesor variable que puede alcanzar varias decenas de metros de limos arenosos y arenas limosas oxidadas con permeabilidad del orden de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$   $\text{ms}^{-1}$ , y una zona de gruss que puede tener hasta varias decenas de metros de espesor y una permeabilidad del orden de  $10^{-3}$   $\text{ms}^{-1}$ . La meteorización de las anfibolitas produce perfiles de meteorización similares en cuanto a su composición y características de permeabilidad, pero los espesores de los horizontes de saprolito y de gruss normalmente son menores en esta formación. Las estructuras heredadas pueden modificar sustancialmente la permeabilidad de la masa del suelo residual que localmente puede ser uno o dos órdenes de magnitud mayor que la permeabilidad del material en sí.

En toda la extensión del área estudiada se encuentra un manto de ceniza volcánica con un espesor medio de 0.8 m; la capacidad de infiltración de este material varía entre unos cuantos centímetros por hora hasta 0.5 m/h (Toro, 2000, comunicación verbal). La porosidad de este material y su elevada permeabilidad secundaria, su posición en superficie, su espesor y su capacidad de campo hacen de él un elemento clave en el proceso de infiltración.

## TECTONICA

La posición actual del altiplano de Rionegro resultó de la elevación de la Cordillera Central durante la Orogenia Andina, movimiento que tuvo lugar a lo largo de unas cuantas fallas maestras en los bordes del Valle de Aburrá y del valle de Rionegro. Estas fallas y sus satélites y el fracturamiento de las rocas, a consecuencia de los movimientos tectónicos, tienen interés en este proyecto como conexiones hidráulicas y como elementos que definen la permeabilidad secundaria de las rocas y de los suelos residuales derivados de ellas.

En la literatura geológica se han reportado sólo unas pocas fallas en esta región, la mayoría de ellas como contactos fallados entre las rocas metamórficas y el Batolito Antioqueño, pero los alineamientos identificables en la cartografía y en las imágenes de sensores remotos permiten postular la existencia de algunas fallas de interés desde el punto de vista de este trabajo. El patrón de alineamiento en el corredor del túnel presenta una tendencia marcada en dirección NW que, aparentemente, sigue el mismo patrón de fallamiento en el borde oriental del Batolito Antioqueño, combinado con un conjunto de alineamientos en dirección SN y NNE. De las fallas identificadas sólo dos cruzan el eje del túnel.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

Tabla 1. Orientaciones dominantes en las diaclasas del sector Sajonia - La Cascada

Localización	Densidad porcentual	Azimut de buzamiento	Buzamiento
K 11 Medellín Santa Elena	4.0	225	68
	4.0	243	70
	4.0	125	70
	4.5	280	90
K 13 Medellín Santa Elena	4.0	348	55
	4.5	47	90
	4.5	183	45
	6.0	212	60
Base de Cerro Verde	2.7	165	75
	3.8	243	80
	3.0	340	80
Cerro Verde Sur	6.0	12	62
	5.0	125	85
	4.0	180	5
	5.0	225	70
	4.5	265	78
Yarumal	1.8	31	42
	2.2	165	85
	2.0	180	85
	2.0	270	67
Portal Oriental	3.5	205	70
	3.5	210	67
	6.5	297	67
Palmas Aeropuerto	2	60	85
	13	175	80
	3	255	75
	2	280	20
Totalidad del macizo	1	40	43
	1.5	163	87
	1.7	177	80
	1.7	227	75
	1.5	270	65
	1.1	343	90

La orientación de las diaclasas presenta una extraordinaria regularidad en el conjunto de los afloramientos inspeccionados. En cada afloramiento pueden identificarse entre cuatro y seis conjuntos principales de diaclasas de los cuales tres son dominantes. Si se considera la información recopilada los conjuntos dominantes tienen las direcciones presentadas en la Tabla 1, dadas en términos de dirección y valor del buzamiento. En esta Tabla se encuentran discriminados los valores de las concentraciones principales registrados en cada afloramiento rocoso y los valores de las concentraciones en la totalidad del macizo., y resaltados en color los valores comunes o muy similares en los diferentes afloramientos. Los valores registrados de orientaciones de diaclasas se encuentran en el Anexo 1 de este informe.

El espaciamiento medio entre diaclasas es bastante regular, del orden de 0.3 m; la variación de este valor es menor de un afloramiento a otro que en el interior de cada afloramiento. Los menores valores de distancia entre diaclasas se encuentran en la proximidad a las zonas de falla. La abertura de las diaclasas también presenta grandes variaciones desde diaclasas cerradas o con abertura de 0.05 mm hasta aberturas de varios milímetros. El valor medio de las diaclasas es relativamente elevado, y diferente en un orden de magnitud con la respectiva moda, debido a la influencia que en este valor tienen aberturas superficiales grandes. En el cálculo del coeficiente de conductividad hidráulica equivalente hemos utilizado la moda como valor representativo de la abertura de las diaclasas. Las Figuras 3 a 12 ilustran la distribución de las orientaciones de las diaclasas en los diferentes afloramientos, la combinación de los afloramientos más cercanos y la distribución en toda la zona objeto de esta investigación.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

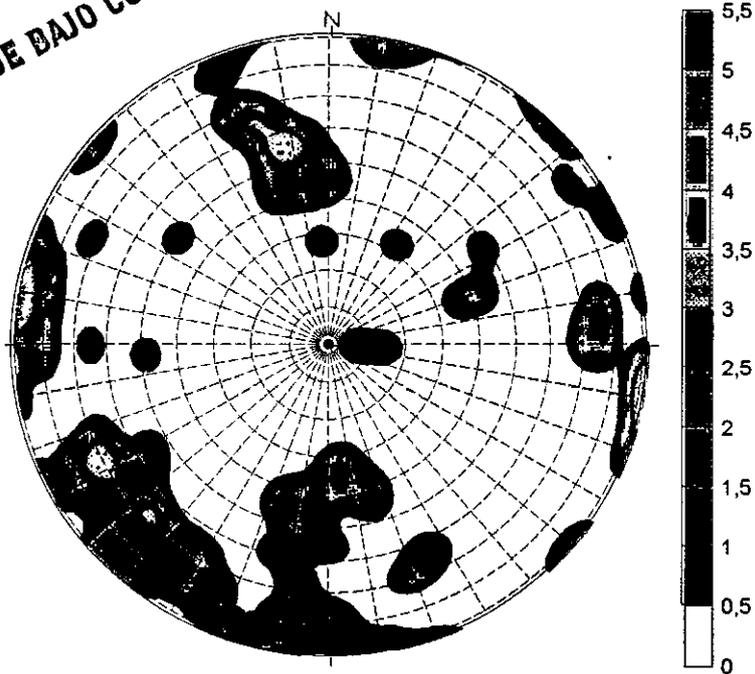


Figura 3. Distribución de orientaciones de diaclasas en el K 11 a K 12 de la carretera Medellín – Santa Elena.

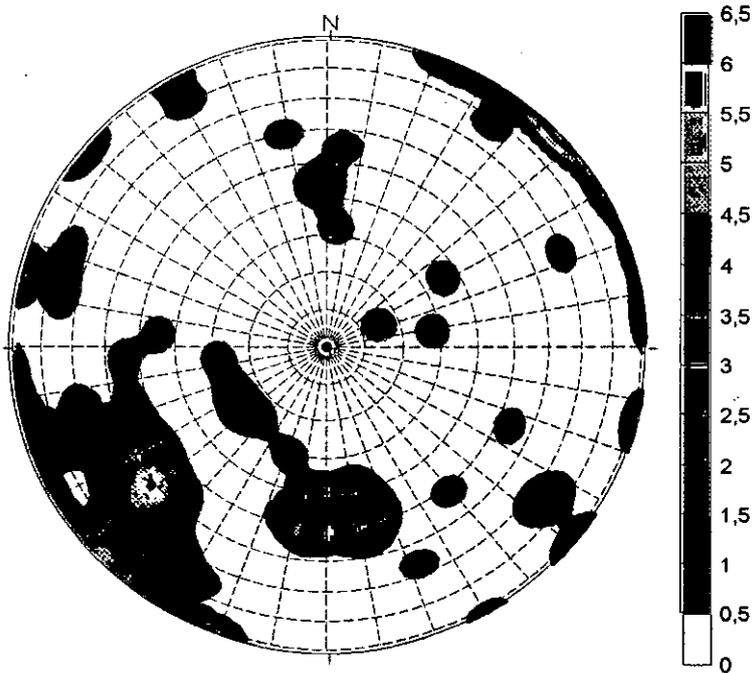


Figura 4. Distribución de orientaciones de diaclasas en el K 12 a K 13 de la carretera Medellín – Santa Elena.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE  
ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

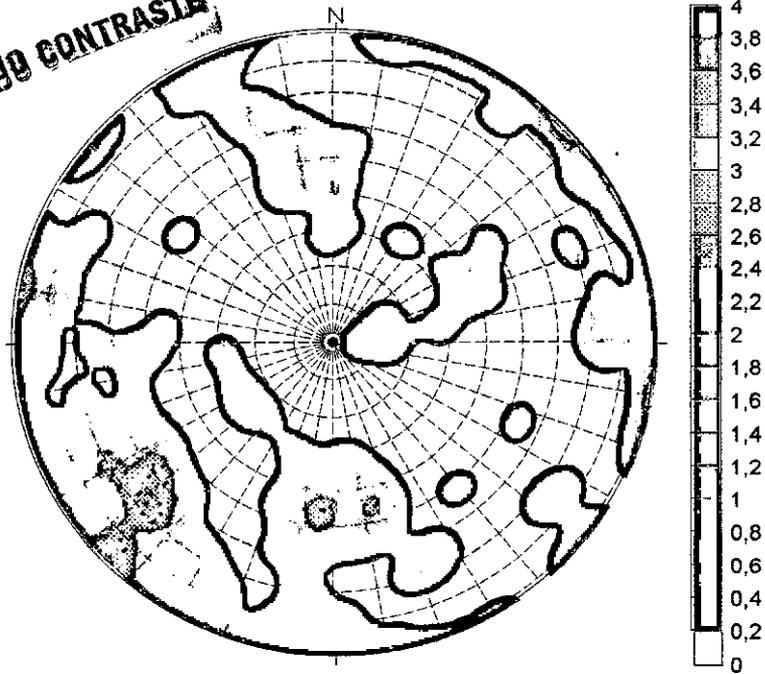


Figura 5. Distribución de orientaciones de diaclasas en el K 11 a K 13 de la carretera Medellín - Santa Elena.

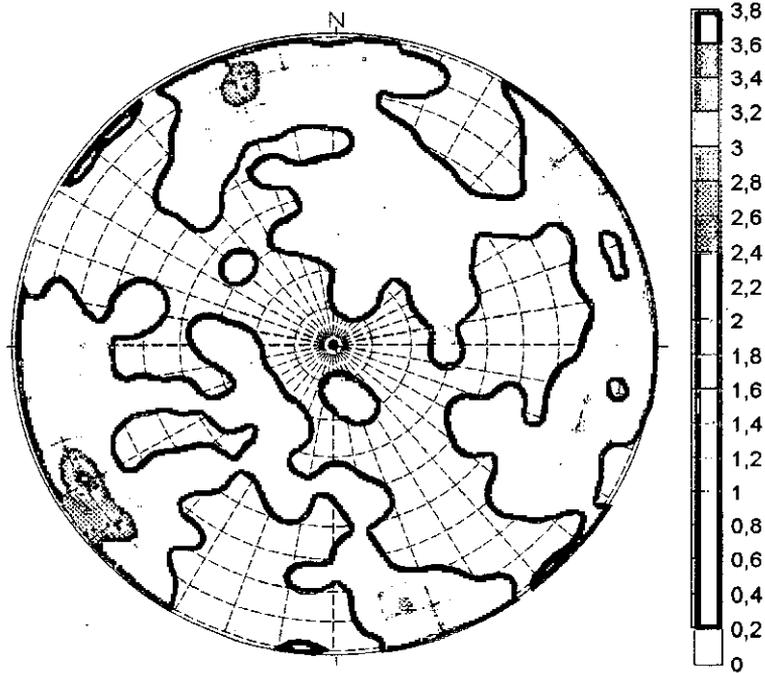


Figura 6. Distribución de orientaciones de diaclasas en la base de Cerro Verde en la carretera Medellín - Santa Elena.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

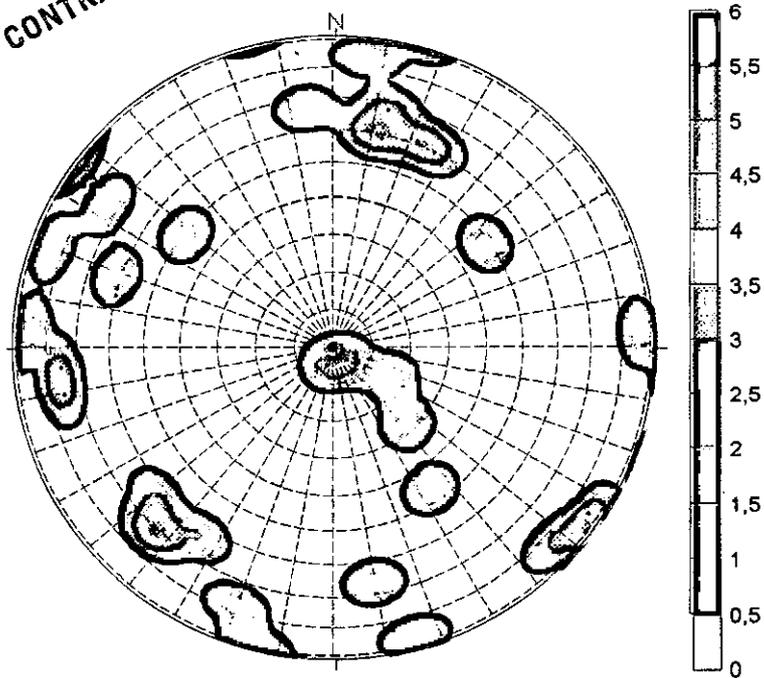


Figura 7. Distribución de orientaciones de diaclasas en la vertiente sur de Cerro Verde

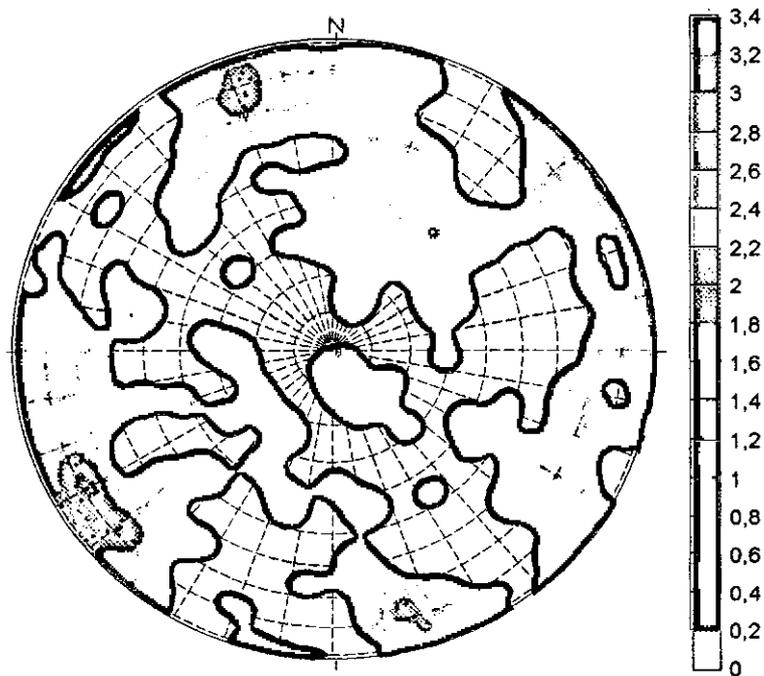


Figura 8. Distribución de orientaciones del conjunto de diaclasas en Cerro Verde.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

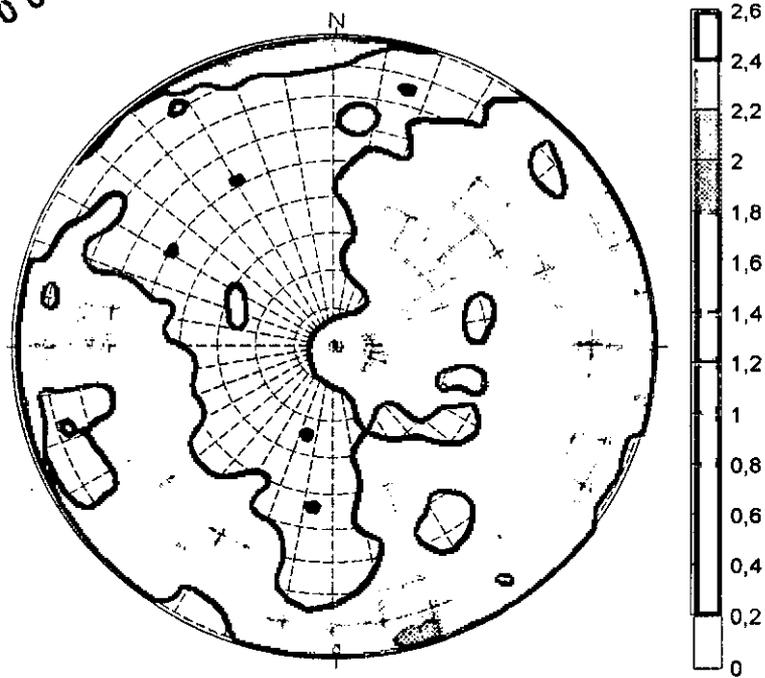


Figura 9. Distribución de orientaciones de diaclasas en la cantera Yarumal.

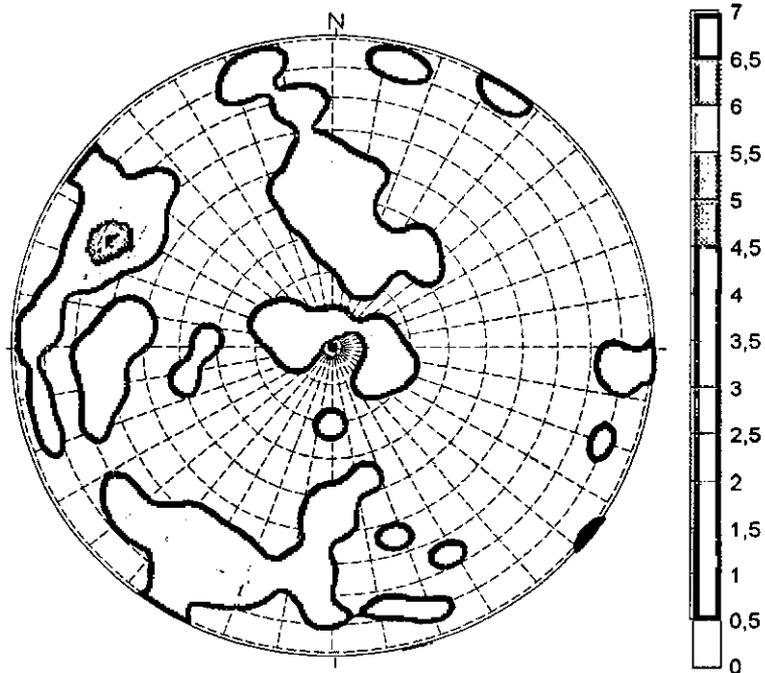


Figura 10. Distribución de orientaciones de diaclasas en el portal oriental.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

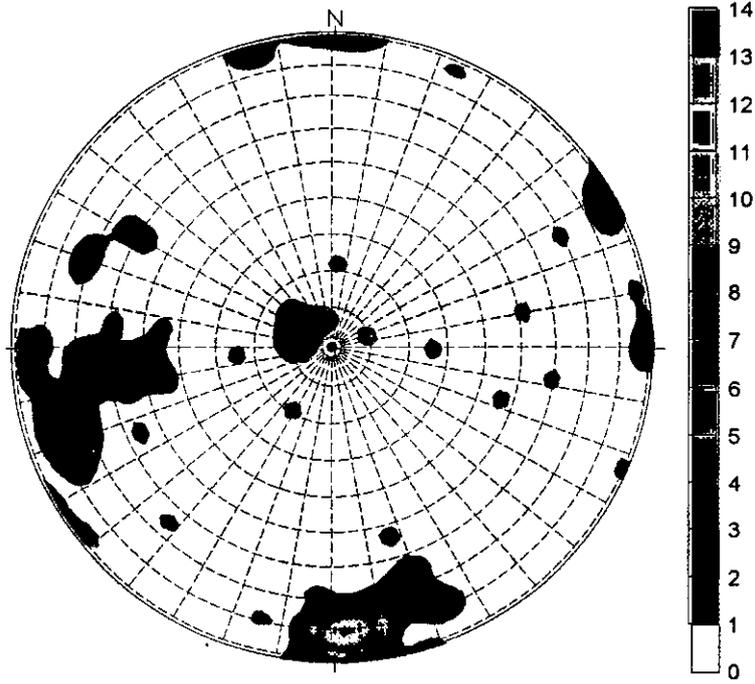


Figura 11. Distribución de orientaciones de diaclasas en la vía Las Palmas – Aeropuerto.

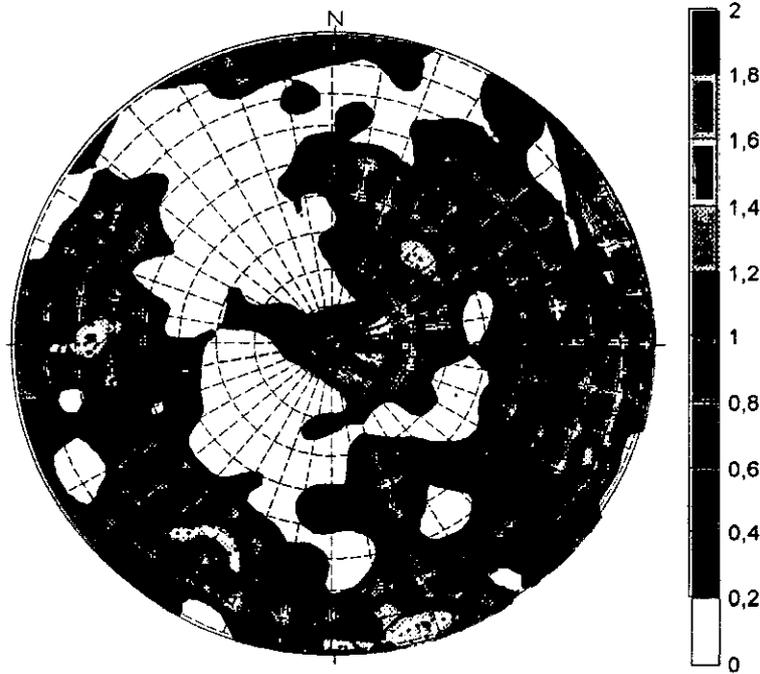


Figura 12. Distribución de orientaciones del conjunto de diaclasas en la cantera Yarumal y en el portal oriental.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

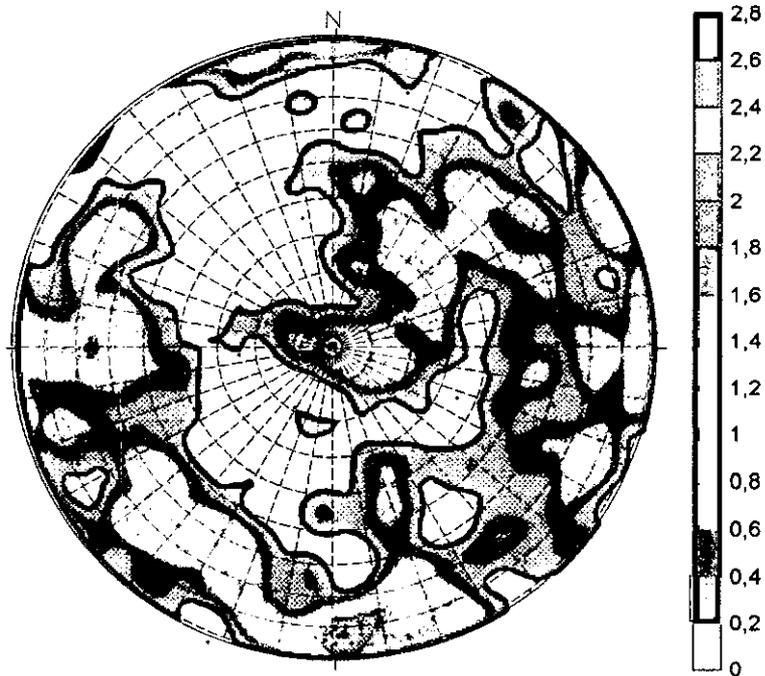


Figura 13. Distribución de orientaciones del conjunto de diaclasas en la cantera Yarumal, en el portal oriental y en la vía Las Palmas - Aeropuerto.

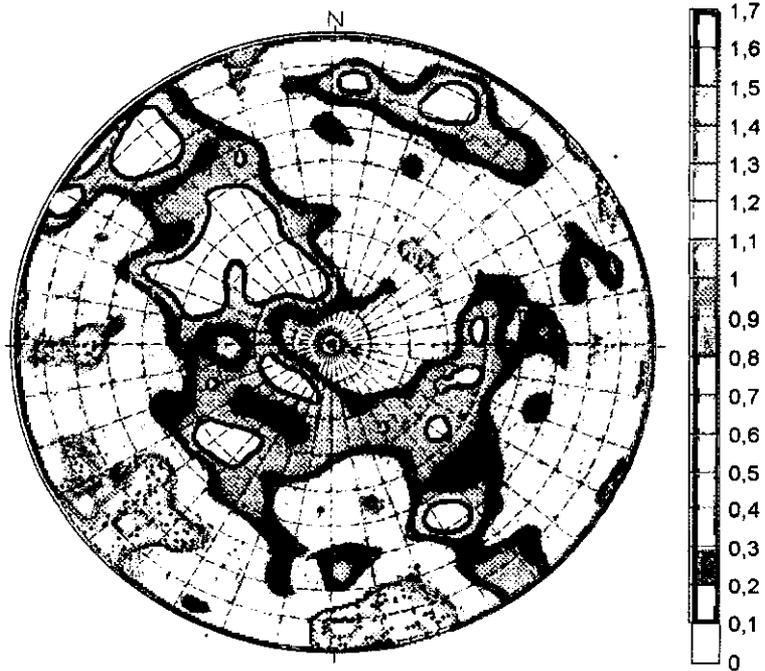


Figura 14. Distribución de orientaciones del conjunto de diaclasas en la totalidad de la zona investigada.

## GEOMORFOLOGÍA

DIGITALIZADO

La larga historia tectónica y morfogenética de la región ha dado lugar a la formación de dos niveles de superficies de erosión que en esta zona corresponden al *Altiplano de Rionegro*, que coincide con la superficie de erosión SII, y al *Planalto de Santa Elena* que corresponde a la superficie de erosión SI de Page & James (1981).

La superficie de erosión SI del *Planalto de Santa Elena* se aprecia de manera mas clara en la parte oriental del macizo que atraviesa el túnel donde nacen las quebradas que drenan hacia el Río Medellín y las que forman la cuenca alta de la quebrada Las Palmas que drena hacia el Río Negro. Para efectos de este trabajo consideraremos el *Planalto de Santa Elena* toda la zona entre el Valle de Aburrá y el Valle de San Nicolás que se encuentra entre las cotas 2550 y 2600. El límite oriental de este planalto es una cuchilla en dirección NS cuyas mayores elevaciones son el Cerro Verde y el Cerro de La Palma. Al oriente de esta cuchilla se encuentra una transición de terrenos escarpados modelados por la erosión fluvial hacia el Valle de San Nicolás. El límite occidental es el escarpe que marca el borde oriental del Valle de Aburrá.

De las geoformas menores merece especial atención en este informe las pseudodolinas descritas por primera vez por Feininger (1970) en la zona de Amalfi y que, en esta zona, han sido observadas en el Planalto de Santa Elena y en la reserva Montevivo. En dos de estas depresiones se ha observado fluir el agua en el interior del macizo rocoso. Estas geoformas tienen particular interés por su función de sitios privilegiados de infiltración del agua superficial.

## HIDROLOGÍA

La evaluación hidrológica del área investigada tiene como objeto de una parte definir el nivel base contra el cual se comparará los efectos de la construcción del túnel y, de otra, obtener el valor de la infiltración en el terreno, una de las variables básicas de la evaluación de dichos efectos.

Para la evaluación hidrológica se cuenta con la estación pluviométrica Vasconia en el centro del corredor del túnel con 52 años de registro, la estación limnimétrica La Honda y los estudios *Estimación de caudales medios máximos y mínimos de 162 cuencas del Oriente Antioqueño* (Angel et al, 1988) y *Regionalización de caudales mínimos en el departamento de Antioquia* (Bolaños, 1995). De las cuencas en consideración, sólo la quebrada Santa Elena drena hacia el Río Medellín y las cuatro restantes drenan hacia el Río Negro.

112/070

### *Estimación de caudales medios y mínimos*

Para estimar la media de los caudales medios y mínimos en las cuencas de interés se aplicó la técnica de regionalización para cuencas con información escasa que se basa en correlacionar los momentos de las distribuciones de probabilidad con información geomorfoclimática de las cuencas; los modelos propuestos en los estudios citados utilizan parámetros de escala de las cuencas que incluyen área, longitud y perímetro y altura media; por su parte los parámetros climáticos incluyen precipitación anual media multianual, temperatura media y evaporación potencial.

### *Precipitación*

La precipitación total anual promedio multianual en el altiplano de Rionegro fue estimada para toda la cuenca utilizando el mapa de isoyetas, a partir de información de las estaciones pluviográficas y pluviométricas de toda la zona, ponderando la precipitación con la superficie entre isoyetas; la precipitación promedio obtenida para la cuenca del Río Negro hasta la estación Rioabajo es 2150 mm. Para el corredor del túnel se tomó como valor de precipitación promedio multianual el correspondiente a la estación Vasconia: 2200 mm. En la Tabla 2 se encuentran los valores de las variables utilizadas en la estimación de los caudales medios y mínimos en las cuencas cruzadas por el corredor del túnel, los resultados de dicha estimación por diferentes métodos y el promedio de éstos.

**Tabla 2. Caudales mínimos y medios en las cuencas atravesadas del corredor del Túnel Aburrá - Oriente**

CUENCA	AREA	LONG	PERIM	PRECIP	ALTURA	TEMP	Q <sub>med1</sub>	Q <sub>med2</sub>	Q <sub>med</sub>	Q <sub>min1</sub>	Q <sub>min2</sub>	Q <sub>min3</sub>	Q <sub>min4</sub>	Q <sub>min</sub>
	Km <sup>2</sup>	Km	Km	mm	m.s.n.m.	°C	m <sup>3</sup> /s							
Santa Helena	11.5	5.8	15.9	2200	2400	14.8	0.524	0.676	<b>0.600</b>	0.170	0.147	0.165	0.186	<b>0.167</b>
La Honda	14.6	6	15.8	2200	2500	14.2	0.599	0.691	<b>0.645</b>	0.149	0.188	0.208	0.233	<b>0.195</b>
Sajonia	3.1	2.2	6.9	2200	2300	15.4	0.160	0.146	<b>0.153</b>	0.042	0.037	0.047	0.054	<b>0.045</b>
Espiritu Santo	6	2.73	10.9	2200	2600	13.6	0.226	0.264	<b>0.245</b>	0.067	0.075	0.088	0.101	<b>0.083</b>
Yarumal	6.9	3.35	11	2200	2450	14.5	0.303	0.313	<b>0.308</b>	0.082	0.086	0.101	0.115	<b>0.096</b>

## MODELO HIDROGEOLÓGICO

Con base en la información disponible puede presentarse un modelo hidrogeológico regional que explica la recarga y circulación del agua subterránea en el corredor del túnel. El modelo hidrogeológico que presentamos en este capítulo explica y cuantifica la recarga de agua subterránea a partir de la información geológica, hidrometeorológica e hidrogeológica y de los resultados de los sondeos eléctricos verticales.

### *Zonas de recarga.*

A partir de la información obtenida de la localización de los manantiales, aljibes y pozos y de las líneas de las corrientes de agua permite fue preparado un mapa de isopiezas o equipotenciales, al que corresponde la Figura 15, que permite definir las direcciones de flujo del agua subterránea en el área de interés en esta investigación y reconocer las zonas de recarga. La información obtenida sobre manantiales, pozos y humedales se encuentra en el Anexo 2.

La infiltración del agua en el suelo y la circulación posterior en el subsuelo es un proceso complejo que depende al menos de tres conjuntos de factores:

- Las características topográficas, estructurales y texturales del terreno. El relieve local bajo de los parajes donde predomina la topografía plana u ondulada facilita la acumulación de materiales relativamente sueltos con una permeabilidad elevada. Ambos factores, topografía suave y alta permeabilidad de la parte superior del regolito aseguran una alta tasa de infiltración. En contraste en laderas de alta pendiente predominan los escarpes rocosos o los suelos cohesivos de baja permeabilidad donde la tasa de infiltración es muy baja y está limitada sólo a la parte más superficial del terreno.

070 / Por debajo del primer horizonte permeable el flujo del agua procede en el regolito y en la masa rocosa a lo largo de todo tipo de discontinuidades (macroporos, diaclasas, planos de estratificación, zonas de falla). Tales discontinuidades, particularmente las zonas de fracturamiento asociadas a las fallas funcionan como verdaderos conductos hidráulicos, y el macizo rocoso llega a ser un acuífero en el sentido estricto del término.

ORIGINAL DE BAJO CONTRASTE

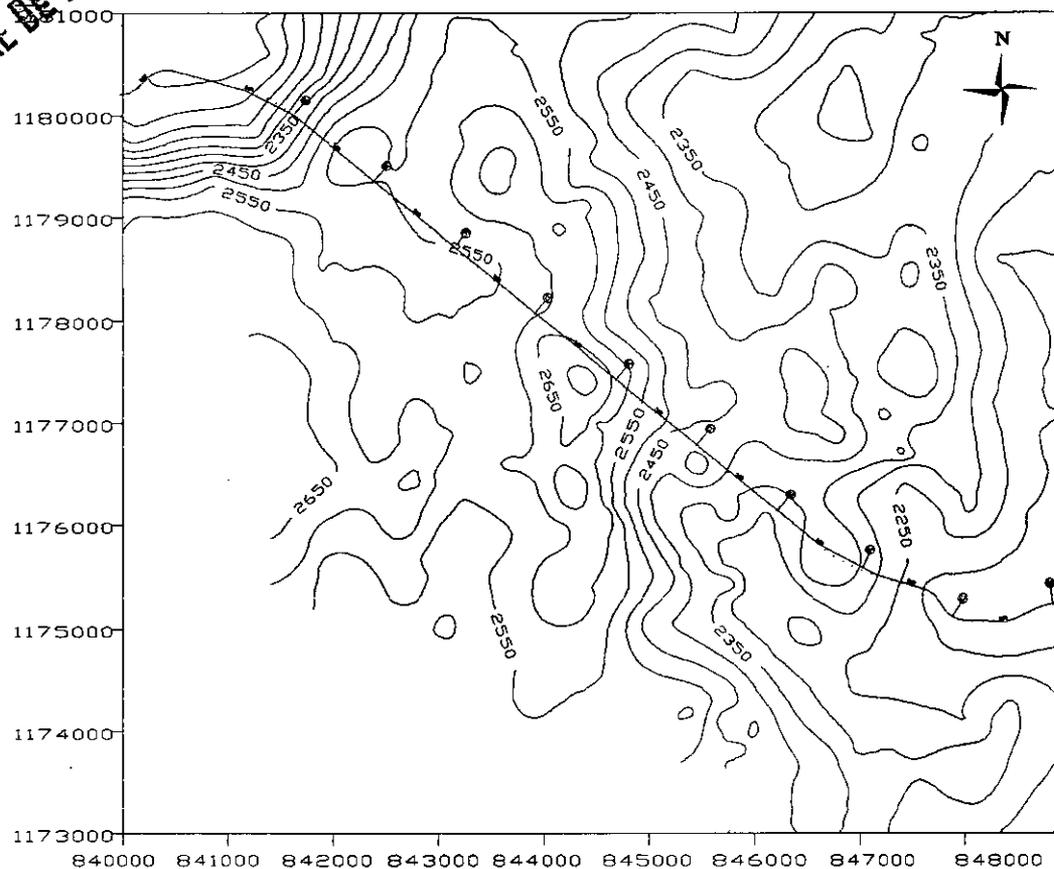


Figura 15. Mapa de isopiezas o equipotenciales del corredor del túnel.

- Las condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa, régimen de vientos y cobertura vegetal. Estas condiciones controlan, en conjunto, el proceso de evapotranspiración cuyo efecto neto consiste en la intercepción y evaporación, y transpiración a través de la vegetación, del agua tanto de la atmósfera como del suelo. Este proceso puede afectar hasta un varios metros del suelo, particularmente donde existe vegetación freatófita.
- Precipitación acumulada y duración e intensidad de cada evento de lluvia. En la evaluación de los sistemas hidrogeológicos no son los sistemas aislados los que determinan las variaciones de interés, sino la distribución de la precipitación acumulada durante períodos relativamente extensos y sobre áreas amplias

Las características y la posición de las unidades geomorfológicas mayores permiten postular que la recarga de la precipitación en este corredor ocurre en su totalidad en el *Planalto de Santa Elena*. La existencia de depresiones cerradas o

seudodolinas (Feininger, 1970) contribuye de manera significativa a la infiltración en este planalto, en tanto que la infiltración en las laderas de las montañas que lo bordean puede considerarse prácticamente nula.

Investigaciones previas a ésta (Hoyos y Arnason, 1998, Hoyos et al, 1998) muestran cómo la composición isotópica del agua de los manantiales y las corrientes de agua superficiales presentan una variación mínima entre el planalto de Santa Elena y el fondo del Valle de Aburrá en tanto que la composición isotópica del agua lluvia presenta una variación significativa en función de la altitud. La variación mínima de la composición isotópica del agua subterránea en los manantiales y corrientes superficiales de agua puede ser interpretada en el sentido de que la mayor parte de la infiltración y de la recarga regional de los acuíferos en el corredor del túnel tiene lugar en el Planalto de Santa Elena.

El contenido de isótopos estables de hidrógeno y oxígeno en el agua lluvia en las laderas del Valle de Aburrá se ajustan a las regresiones siguientes en las que la cota, H, está dada en metros y el contenido de Deuterio y Oxígeno 18 esta dado en tantos por mil:

$$\delta D = -0.036H + 3.28 \quad (n=30 \quad r^2=0.84)$$

$$\delta^{18}O = -0.005H - 0.45 \quad (n=30 \quad r^2=0.84)$$

El contenido de isótopos estables de hidrógeno y oxígeno en el agua de los manantiales y de las corrientes superficiales en las laderas del Valle de Aburrá se ajustan a las regresiones siguientes:

$$\delta D = -0.007 H - 62.6 \quad (n=8 \quad r^2=0.25)$$

$$\delta^{18}O = -0.0007H - 9.03 \quad (n=8 \quad r^2=0.16).$$

De las expresiones anteriores puede destacarse la diferencia significativa en los coeficientes del término H, y el valor alto del coeficiente de regresión para la primera pareja de ecuaciones en contraste con el bajo valor del mismo coeficiente en la segunda pareja de valores. Si se observa la figura 3 se aprecia inmediatamente que los valores de los coeficientes del término H no son más que los gradientes orográficos que para el agua lluvia tienen valores de 3.6  $\delta D/100m$  y 0.5  $\delta^{18}O/100m$ , en tanto que para el agua subterránea el gradiente es sumamente bajo, de sólo 0.7  $\delta D/100m$  y 0.07  $\delta^{18}O/100m$ . El valor extremadamente bajo del coeficiente de correlación no indica otra cosa que el hecho de que la variación del contenido de isótopos estables no presenta una variación significativa con la altura y que para cualquier valor de la altitud el contenido isotópico del agua subterránea es prácticamente el mismo.

Las correlaciones y regresiones presentadas en el párrafo anterior permiten proponer una interesante interpretación: las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá proceden en su mayor parte del planalto vecino, lo que, a su vez significa que la infiltración efectiva en las laderas es muy baja y que existe una conexión hidráulica entre el planalto y el valle a través del macizo rocoso a lo largo de las fracturas de la roca.

La parte de la recarga regional que corresponde al *Planalto de Santa Elena* alimenta los acuíferos en rocas fracturadas en el planalto, en las laderas de la vertiente sur del Valle de Aburrá y en las laderas de la transición hacia el Altiplano de Rionegro y parcialmente los acuíferos en aluviones de la parte norte del Altiplano de Rionegro, así como parte de los acuíferos en aluviones del Valle de Aburrá.

#### *Evaluación de la recarga*

Para evaluar la recarga en los acuíferos se deben tener en cuenta una serie de consideraciones teóricas; en primer lugar se debe establecer la cantidad de agua que puede recibir el acuífero a partir de la cual se llena y las cantidades adicionales de agua deben salir como escorrentía; también se debe considerar la capacidad que tiene la zona vadosa o zona no saturada del subsuelo para transmitir agua; la magnitud de la recarga real se obtiene de un balance hídrico en la cuenca de acuerdo a estos planteamientos. El balance hídrico es la aplicación del principio de conservación de la masa a un volumen de control (en este caso la cuenca de las corrientes que se encuentran en el corredor del túnel y, en particular de la Quebrada Santa Elena; en un período de tiempo dado se establece que la diferencia entre las entradas y salidas del sistema debe ser igual al cambio en la cantidad de agua almacenada. En promedios de largo plazo se puede suponer que el cambio en el almacenamiento es insignificante y la ecuación de balance contiene las siguientes variables:

$$P - Q - ETR \pm T = I$$

- P: Precipitación promedio multianual (mm)
- Q: Escorrentía directa promedio multianual (mm)
- ETR: Evapotranspiración total promedio multianual
- I: Infiltración total
- T: Transferencias desde o hacia otras cuencas

En la evaluación de la recarga relevante para el túnel consideraremos sólo la que tiene lugar en el *Planalto de Santa Elena* debido a las condiciones topográficas de

esta cuenca respecto a las cuencas inmediatamente vecinas y de todas ellas respecto al alineamiento del túnel. Para efectos de la verificación de la validez del modelo propuesto confrontaremos los resultados con el balance hídrico de la quebrada Santa Elena.

### *Precipitación*

Para el corredor del túnel se tomó como valor de precipitación promedio multianual el correspondiente a la estación Vasconia localizada en el centro del corredor del túnel: 2200 mm.

### *Escorrentía*

El procedimiento utilizado para determinar la escorrentía promedio multianual consiste en descontar al caudal medio multianual el caudal base supuesto como el caudal mínimo promedio multianual. En la evaluación de la escorrentía en el *Planalto de Santa Elena* se utilizó los resultados de la evaluación de caudales medios y mínimos presentados en un aparte anterior de este informe dada la falta de información instrumental sobre esta cuenca. Por vía de comparación presentamos en la Tabla 3 la escorrentía calculada con el mismo procedimiento para la cuenca de la quebrada Santa Elena y tres cuencas aledañas.

**Tabla 3. Escorrentía calculada para cuatro cuencas en el corredor del Túnel Aburrá - Oriente**

<i>VARIABLE</i>	<i>Santa Elena</i>	<i>Yarumal</i>	<i>Sajonia</i>	<i>Puente Real</i>
<i>Caudal medio Multianual (m<sup>3</sup>/seg)</i>	0.600	0.308	0.153	7.4
<i>Volumen (Hm<sup>3</sup>)</i>	18.9	9.7	4.8	233.4
<i>Area (km<sup>2</sup>)</i>	11.5	6.9	3.1	194
<i>Caudal base (m<sup>3</sup>/seg)</i>	0.170	0.082	0.042	3.02
<i>Lámina base (mm)</i>	465	375	430	490
<i>Lámina total (mm)</i>	1645	1410	1560	1200
<i>Lámina escorrentía directa (mm)</i>	1180	1035	1130	710

### *Evaporación*

Para estimar la evaporación puede aplicarse las metodologías de Turc y Coutagne (Universidad Nacional, 1999), que se basan en datos meteorológicos sencillos de medir, y el método de tanque evaporímetro con un coeficiente de uso consecutivo de agua en las plantas  $K= 0.7$  aplicado a los datos de la estación La Selva ubicada en Llanogrande.

### *Ecuación de Turc*

Se utiliza para estimar la evaporación real basándose en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos simples como son la temperatura y la precipitación de la cuenca, aplicadas a medidas de largo plazo.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{para } (P / L) > 0.316$$

$$ETR = P \quad \text{para } (P / L) < 0.316$$

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

ETR es la evaporación real en mm/año, P es la precipitación anual en mm y T es la temperatura media anual en grados centígrados. (Remenieras, 1974).

### *Ecuación de Contagne.*

Esta ecuación se basa en las características meteorológicas de la cuenca y da una estimación de la evaporación real en función de la precipitación y la temperatura así, :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

ETR es la evaporación real en m / año, P es la precipitación en m, y

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} ,$$

T es la temperatura media anual en °C. Esta ecuación sólo es aplicable para P comprendido entre  $(8\lambda)^{-1}$  y  $(2\lambda)^{-1}$ , si las precipitaciones son inferiores a  $(8\lambda)^{-1}$  entonces  $ETR=P$ , Si  $P > (2\lambda)^{-1}$ , entonces  $ETP=(4\lambda)^{-1} = 0.20 + 0.035T$  (Remenieras, 1974).

### *Ecuación de Cenicafé*

Fue obtenida por el Centro Nacional de Estudios del Café a partir de una regresión a los valores obtenidos de aplicar el método de Penman a los datos de

las estaciones climáticas en Colombia (Jaramillo, 1989). Su cálculo es sencillo, ya que sólo depende de la altura sobre el nivel del mar

$$ETR = 4.658 \exp(-0.0002 h)$$

donde ETR es la evaporación potencial en mm/día y h es la cota sobre el nivel del mar en m.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de evaporación promedio anual obtenidos con los métodos mencionados en los altiplanos de Rionegro y La Unión descartando el método de Cenicafé que aparentemente la sobreestima.

**Tabla 4. Evaporación real anual (mm) estimada por diferentes métodos**

Método	Rionegro	Santa Elena	Corredor del Túnel
Turc	860	660	775
Contagne	775	460	705
Cenicafé	1095	1020	1040
Tanque K=0.7	840	-	-
Promedio	825	560	740

*Transferencias a otras cuencas.*

La posición topográfica del Planalto de Santa Elena da lugar a una importante transferencia de agua subterránea a la cuenca del Valle de Aburrá y a la cuenca de las quebradas Yarumal y la Honda. La estimación de la transferencia a otras cuencas puede hacerse con base en la relación de las áreas a través de las cuales ocurre la transferencia respecto al área de la cuenca y relación entre la diferencia de cotas entre la cuenca aportante y la recipiente y la distancia al centroide de la cuenca aportante. La infiltración total se puede dividir entre la infiltración efectiva a la cuenca propia y el aporte a otras cuencas. En este caso, dado que la evaluación de caudales medios y mínimos ha sido hecha con base en cotas por debajo de la zona de recarga estas transferencias han sido ya incluidas implícitamente en los caudales mínimos y no debe introducirse este término de la ecuación.

### *Infiltración efectiva estimada*

Con base en la información presentada en los apartes anteriores fue calculada la infiltración efectiva en la cuenca de la Quebrada Santa Elena con los resultados siguientes:

$$I_t = P - Q - ETR$$

$$I = 2200 \text{ mm} - 1180 \text{ mm} - 560 \text{ mm}$$

$$I = 460 \text{ mm}$$

+ fracción QURC

El valor calculado para la infiltración efectiva en el *Planalto de Santa Elena* es sensiblemente igual al valor del caudal base de la quebrada Santa Elena en la cota 2100,

Los valores de infiltración calculados de esta misma manera para las cuencas de las quebradas Sajonia y Yarumal son mayores que los valores del caudal base de dichas corrientes en 80 y 130 mm. Este resultado tiene una explicación lógica si se considera que la evaluación para estas cuencas fue hecha en la cota 2200, desde donde hay un importante flujo hacia el altiplano de Rionegro cuya cota media se encuentra 100 metros por debajo de la cota de evaluación de las cuencas mencionadas. Vale decir que las transferencias a otras cuencas representa una fracción entre 1/6 y 1/3 de la infiltración efectiva.

### *Acuíferos.*

Los acuíferos del corredor pueden clasificarse en cuatro grandes categorías:

- ✓ • Acuíferos libres en suelos residuales
- ✓ • Acuíferos libres en rocas fracturadas
- ✓ • Acuíferos confinados en rocas fracturadas

### *Acuíferos libres en suelos residuales.*

Puede considerarse que en la totalidad de la extensión del *Planalto de Santa Elena* existen acuíferos libres en los suelos residuales cuya recarga tiene lugar tanto por infiltración de la precipitación local. Es posible establecer algunas diferencias locales entre acuíferos propiamente dichos y acuitados dependiendo de la textura y permeabilidad de los diferentes horizontes. En los suelos residuales es posible encontrar acuíferos y fuentes saladas. La resistividad real

igual o inferior a  $10 \Omega m$  en estos suelos puede ser interpretada como indicador de la presencia de acuíferos salados.

#### *Acuíferos libres en rocas fracturadas.*

En el macizo rocoso entre las superficies de erosión SI y SII, y en el escarpe occidental de la zona del proyecto, donde el regolito es muy somero o inexistente, puede encontrarse acuíferos cuya ocurrencia depende principalmente de la intensidad y del patrón de fracturación de la roca. El área de recarga de estos acuíferos se encuentra entre las cotas 2550 – 2650 en el *Planalto de Santa Elena*. La combinación de intensidad de fracturamiento de la roca y la abertura media de las discontinuidades permiten estimar la permeabilidad media de este macizo en  $3 \cdot 10^{-4}$  cm/s en su parte superior y del orden de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s al nivel del eje del túnel. En las zonas de falla este valor puede ser mayor, pero debe ser verificado previamente así como el volumen en el que se utilizaría dichos valores.

#### *Acuíferos confinados en rocas fracturadas.*

Cuando la variación de resistividad en la parte superior del basamento permitan interpretarla como roca fracturada con agua en las diaclasas, hemos tomado éste como un acuífero confinado cuyo acuífero corresponde al sello de limo en las fracturas de la roca. Estos acuíferos pueden ser de agua dulce en intervalos de resistividad del orden de  $1000 \Omega m$ , y de agua salada en intervalos de resistividad inferiores a  $100 \Omega m$ .

Los acuíferos confinados en el basamento se encuentran distribuidos en varios niveles y áreas bien definidos entre las cotas 1900 y 2300, que serán presentados en un próximo informe.

#### *Acuíferos salobres.*

Un rasgo frecuente en los registros geoelectrónicos en amplias zonas del Oriente Antioqueño, es la ocurrencia de zonas de muy baja resistividad que, en ocasiones, disminuye a valores menores que  $10 \Omega m$  en el regolito y que  $100 \Omega m$  en el basamento geoelectrónico. Estos valores mínimos pueden ser interpretados como indicadores de la existencia de acuíferos salobres. La existencia de fuentes saladas en la región, algunas de las cuales fueron objeto de explotación industrial hasta bien entrado el siglo XX. Si bien es cierto que los valores inferiores a  $10 \Omega m$  en el regolito puede ser interpretado como indicadores de la existencia de

arcillas saturadas, la interpretación de estos valores como indicadores de la existencia de acuíferos salobres es más plausible dada la escasez de arcillas en los regolitos tropicales, la existencia de manifestaciones de aguas saladas en superficie (Vélez & Restrepo, 1997) y topónimos que coinciden espacialmente con los registros geoelectricos que han sido interpretados de esta manera.

Los acuíferos salobres pueden ser comunes en esta zona y existen numerosas manifestaciones de ellos en el área de Piedras Blancas. Existen al menos 5 topónimos en el corredor del túnel o en su vecindad que llevan el término *salado* y que bien pueden indicar la existencia de fuentes saladas y, por lo tanto, la existencia de uno o más acuíferos salobres que deben ser tenidos en cuenta en la programación de la construcción.

#### *Efectos de la Construcción del Túnel sobre el Sistema Hidrogeológico*

La construcción de un túnel modifica las condiciones locales de circulación del agua subterránea por efecto del cambio de presiones en el interior del macizo rocoso. En este caso el cambio puede ser significativo dado el espesor de la cubierta y la posición del nivel freático previa a la construcción del túnel. Para la evaluación del efecto de la construcción del túnel se considerará varias condiciones hipotéticas: el túnel construido sin ninguna protección o revestimiento, el túnel parcialmente construido sin revestimiento, y el túnel en proceso de construcción y parcialmente revestido.

El caudal medio drenado por el túnel puede ser estimado a partir de la expresión propuesta por Goodman et al (1965)

$$Q_0 = 2\pi kH_0 / \ln(2H_0/r)$$

En esta expresión **H** corresponde a la altura del macizo rocoso sobre el túnel, y **r** al radio del túnel. En este caso corresponde al radio hidráulico correspondiente al perímetro del túnel excluido el invert.

La condición más crítica es la que corresponde al túnel construido totalmente, sin revestimiento de modo que funciona como una galería de drenaje en toda su extensión. En estas condiciones el caudal que puede captar dicha galería de drenaje es del orden de  $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , si se considera una permeabilidad de  $3 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$  y un gradiente hidráulico igual a 1, con un área de drenaje de  $24 \text{ m}^2/\text{m}$ , correspondiente al perímetro de la sección del túnel, excluido el invert. Este caudal puede dar lugar al abatimiento medio del nivel freático en el corredor del túnel en el sector del *Planalto de Santa Elena* del orden de 0.5 m. La distribución espacial del abatimiento hará este efecto más serio a lo largo del eje

del túnel, donde puede alcanzar hasta 1.2 m, e inapreciable a distancias variables entre 0.5 km y 2 km.

El abatimiento del nivel freático tendrá como efecto inmediato el desplazamiento de los manantiales y la desaparición de la mayor parte de los humedales en un corredor de 1 kilómetro de ancho definido por el eje del túnel. Una vez construido el túnel, los manantiales aflorarán unos pocos metros por debajo de su actual posición y las zonas que hoy se encuentran inutilizadas por estar ocupadas por humedales, en su mayor parte descubiertos, serán recuperadas.

El efecto del túnel sobre el sistema hidrogeológico será menos intenso entre el portal occidental y la abscisa K11+000, y entre la abscisa K15+000 y el portal oriental, dadas las condiciones topográficas que limitan severamente la infiltración en estas zonas del corredor. Por el contrario, si el túnel queda descubierto, las infiltraciones serán mayores donde cruce zonas de falla. En estos sectores se combina la necesidad de revestimiento por consideraciones de estabilidad y de control de las infiltraciones. Entre las abscisas K11+000 y K15+000 es posible controlar eficazmente la acción drenante del túnel mediante un adecuado diseño y construcción del revestimiento y ajustando cuidadosamente el programa de construcción. El diseño del sistema de revestimiento y el programa de construcción que minimice el efecto drenante del túnel serán presentados en un próximo informe.

## REFERENCIAS

- Angel, E., Mesa, O. & Rubiano, C., 1988, Estimación de caudales máximos y mínimos en 162 cuencas del Oriente Antioqueño, 69 p, Facultad de Minas, Medellín.
- Bolaños, H., 1995, Regionalización de caudales mínimos en el Departamento de Antioquia, Trabajo dirigido de grado, 150 p, Facultad de Minas, Medellín.
- Botero, G., 1963, Contribución al conocimiento de la Geología de la Zona Central de Antioquia, Anales de la Facultad de Minas, 57, 101 p, Medellín.
- Carrillo, J., 1973, Propiedades físicas de los suelos derivados del Batolito Antioqueño, Trabajo de grado, 52 p. Facultad de Minas, Medellín.

Consultoría Colombiana, 1984, Estudios de comunicación Medellín - Aeropuerto José María Córdoba. Informe Final.

Custodio E. & Llamas, M. R., 1976, Hidrología subterránea, 2v, Omega, Barcelona.

Durango, J., 1975, Erosión y formación de terrazas fluviales en climas tropicales, terrazas del Rionegro y de sus afluentes, Trabajo de grado, 56 p, Facultad de Minas, Medellín.

Empresas Públicas de Medellín, 1991, Boletín Hidrometeorológico, 178 p, EPM, Medellín.

Empresas Públicas de Medellín, 1994, Boletín Hidrometeorológico, 136 p, EPM, Medellín.

Feininger, T., 1969, Pseudokarst on quartzdiorite, Colombia, Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge Band 13, Heft 3, pp 287 -296, Stuttgart.

Feininger, T. & Botero, G., 1982, The Antioquia Batholith, Publicación Especial, 12, 50 p, Ingeominas, Bogotá.

Goodman, R.E, Moye, D.G., Van Schalkwyk, & Havandel, I., 1965, Groundwater inflows during tunnel driving, Engineering Geology, 1, 2, pp 39 - 56.

Guymon, G.L., 1994, Unsaturated zone hydrology, Prentice Hall, 21p, Englewoods Cliffs, New Jersey.

Hermelin, M., 1978, Excursión Zona Central de Antioquia (Valle de Aburrá y sus alrededores), Hoja de Ruta, II Congreso Colombiano de Geología, Bogotá.

Hermelin, M., 1980, Cenizas volcánicas cuaternarias en el Oriente Antioqueño, Guía de Excursión Rionegro - Santa Fe de Antioquia, Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia. Bogotá.

Hermelin, M., 1992, Los suelos del oriente antioqueño un recurso no renovable, Bulletin d'Institut Francais d'Etudes Andines, 21(1), 25-36.

Hoek, E. & Brown, J.W., 1981, Rock slope engineering, Institution of Mining and Metallurgy, 358 p, London.

Hoyos, F., 1990, Efecto de infiltraciones distantes en la inestabilidad de laderas de alta pendiente, Boletín de Vías, XVII, 71, pp 97 – 128, Universidad Nacional, Manizales

Hoyos, F., Hermelin M. & Toro G., 1984, Régimen de aguas subterráneas en suelos residuales profundos derivados de rocas ígneas y metamórficas en la Cordillera Central de Colombia, Congreso Colombiano de Hidráulica.

Hoyos, F. & Arnason, B., 1998, El caso del gradiente cero: isótopos estables en la hidrogeología de la Zona Central de Antioquia, XII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Memorias, pp 195 –206., Bogotá.

Hoyos, F., Arnason, B & Salazar, B., 1998, Del altiplano al valle: una conexión hidráulica inferida a partir de información isotópica, XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Memorias, pp 379 –389, Guayaquil.

Hoyos, F. & Vélez; M.V., 1998, Recarga de acuíferos en la Cordillera Central de Colombia determinada mediante isótopos ambientales, XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Memorias, Montevideo.

Jaramillo, A., 1989, Relación entre la Evaporación y los elementos Climáticos. (Nota Técnica). Cenicafé, Vol. 40, N° 3.

Lima, W.P., 1986, Principios de hidrología florestal, Universidade de Sao Paulo, 242 p, Piracicaba.

Louis, C., 1967, 1967, A study of groundwater flow in jointed rock and its influence on the stability of rock masses. Doctorate thesis, University of Karlsruhe, traducción al inglés Imperial College Rock Mechanics Research Report N.º 10, 1969, 90 p, London.

Page, W.D., 1980, Guía de excursión Rionegro – Santa Fe de Antioquia, Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia.

Page, W.D. & James, M., 1981, The antiquity of the erosion surfaces and Late Cenozoic Deposits, Memoria del Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia, Revista CIAF, 6, 1-3, pp 421 453, Bogotá.

Remenieras, G., 1974, Tratado de Hidrología Aplicada. Técnicos Asociados S.A. Segunda edición. Barcelona.

Restrepo, J.J. & Toussaint, J. F., 1987, El Grupo Ayurá Montebello ¿tiene todavía validez estratigráfica? Seminario Gerardo Botero Arango, pp 167- 173, Medellín.

Universidad Nacional de Colombia, 1997, Evaluación hidrogeológica preliminar para los municipios de El Retiro, Rionegro, La Ceja, El Carmen de Viboral, Guarne y Marinilla, Medellín.

Universidad Nacional de Colombia, 1999, Balances Hidrológicos de Colombia, Medellín.

Universidad Nacional de Colombia, 2000, Investigación de aguas subterráneas en la región Valles de San Nicolás, Medellín.

Vélez, M.V., Smith R., Hoyos, F. & Montoya , R.D., 1998, Evaluación hidrogeológica preliminar de cinco municipios del Oriente Antioqueño, Boletín de Ciencias de La Tierra, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín.

Vélez N. & Restrepo J.C., 1997, Inventario y caracterización de los ojos de agusal en el centro de Antioquia, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 32 p, Medellín.

Villegas, F., 1981, Construcción de presas de tierra en condiciones climáticas difíciles e implicaciones para su estabilidad en caso de sismo, Tercer Seminario Internacional sobre Ingeniería Sísmica, Bogotá.

# ANEXO 1

**Base de Cerro Verde**

	<b>Referencia</b>	<b>Azimut buz</b>	<b>Buzamiento</b>		<b>Referencia</b>	<b>Azimut buz</b>	<b>Buzamiento</b>
1		321	82	39		196	66
2		10	78	40		137	80
3		260	75	41		192	63
4		198	73	42		316	78
5		286	45	43		129	90
6		308	82	44		165	72
7		195	84	45		139	54
8		356	84	46		257	75
9		270	35	47		162	72
10		5	72	48		71	77
11		255	72	49		252	82
12		320	78	50		290	40
13		333	79	51		210	69
14		78	69	52		65	80
15		331	77	53		320	79
16		6	34	54		143	72
17		322	87	55		149	90
18		268	11	56		340	74
19		177	75	57		73	82
20		182	28	58		83	83
21		220	59	59		57	64
22		316	48	60		85	80
23		70	74	61		150	76
24		75	65	62		330	73
25		303	36	63		60	64
26		320	67	64		57	72
27		329	83	65		46	50
28		249	72	66		115	38
29		277	65	67		47	90
30		322	60	68		44	60
31		155	28	69		40	33
32		249	17	70		330	90
33		195	70	71		50	62
34		322	73	72		66	73
35		322	87	73		110	38
36		319	72	74		145	61
37		319	90	75		321	76
38		190	63	76		307	90

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
77	322	90
78	355	90
79	0	28
80	336	79
81	338	90
82	350	78
83	265	56
84	260	42
85	259	43
86	153	90
87	169	90
88	84	41
89	118	53
90	114	40
91	10	55
92	151	90
93	338	71
94	338	80
95	107	48
96	351	74
97	332	22
98	143	74
99	185	90
100	216	90
101	248	76
102	211	76
103	135	82
104	254	79
105	309	23
106	350	90
107	106	15
108	178	90
109	11	55
110	72	85
111	69	87
112	105	77
113	100	33
114	183	84
115	150	76

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
116	347	67
117	320	80
118	345	62
119	164	89
120	106	55
121	110	13
122	84	27
123	67	32
124	332	82
125	336	77
126	69	81
127	140	74
128	218	71
129	71	83
130	319	80
131	250	86
132	255	74
133	70	50
134	203	64
135	120	49
136	103	55
137	315	77
138	104	59
139	322	55
140	257	74
141	144	90
142	64	76
143	110	21
144	329	77
145	339	85
146	100	78
147	197	71
148	75	85
149	70	90
150	78	85
151	350	90
152	174	82
153	208	37
154	96	90

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
155	140	40
156	95	64
157	180	70
158	248	80
159	342	42
160	13	50
161	87	65
162	297	25
163	263	63
164	254	84
165	71	78
166	210	77
167	198	47
168	210	55
169	239	82
170	70	73
171	210	64
172	260	80
173	221	63
174	210	63
175	141	90
176	316	47
177	330	77
178	149	90
179	152	28
180	70	74
181	358	24
182	328	33
183	131	31
184	346	52
185	130	49
186	356	67
187	215	43
188	61	87
189	84	80
190	107	82
191	75	75
192	0	68
193	248	85

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
194	357	65
195	71	66
196	308	66
197	180	76
198	260	70
199	135	31
200	157	35
201	87	80
202	55	58
203	133	90
204	337	81
205	329	80
206	329	78
207	138	85
208	357	81
209	90	68
210	85	46
211	115	30
212	95	47
213	96	44

**Cerro Verde Sur****Referencia****Azimut buz****Buzamiento**

214	315	72
215	285	88
216	320	63
217	356	76
218	83	67
219	96	84
220	291	77
221	237	45
222	102	59
223	111	61
224	116	60
225	214	85
226	223	81
227	4	85
228	38	50
229	144	48
230	209	16
231	350	76
232	217	88
233	255	85
234	177	84
235	225	4
236	313	69
237	102	68
238	301	5
239	98	61
240	19	62
241	261	65
242	305	63
243	33	74
244	228	27
245	20	84

## Yarumal

Referencia

Azimut buz

Buzamiento

246	150	83
247	147	90
248	215	47
249	105	38
250	114	38
251	115	37
252	356	77
253	150	80
254	190	70
255	216	27
256	135	30
257	0	75
258	130	32
259	176	3
260	136	90
261	115	58
262	325	54
263	112	45
264	31	50
265	13	60
266	103	35
267	30	30
268	180	90
269	135	48
270	142	60
271	165	90
272	142	36
273	130	53
274	220	60
275	133	32
276	135	48
277	178	45
278	185	39
279	101	48
280	80	80
281	130	62
282	192	50
283	99	25

Referencia

Azimut buz

Buzamiento

284	190	90
285	94	43
286	336	65
287	117	40
288	12	73
289	145	90
290	134	20
291	154	85
292	155	90
293	135	50
294	109	20
295	305	46
296	123	28
297	203	58
298	120	42
299	122	31
300	170	90
301	172	90
302	202	45
303	125	35
304	203	67
305	190	85
306	103	51
307	188	85
308	142	90
309	128	31
310	147	36
311	130	51
312	122	54
313	139	47
314	0	80
315	157	83
316	272	80
317	5	53
318	254	85
319	242	90
320	13	61
321	238	67

Referencia Azimut buz Buzamiento

322	2	55
323	282	76
324	187	69
325	0	80
326	303	58
327	300	55
328	249	85
329	157	59
330	244	85
331	283	80
332	248	32
333	234	68
334	147	63
335	262	88
336	358	66
337	140	58
338	267	90
339	357	75
340	155	15
341	393	72
342	267	85
343	244	37
344	230	12
345	254	75
346	321	56
347	328	62
348	309	77
349	178	28
350	189	86
351	184	70
352	275	90
353	192	21
354	5	89
355	359	76
356	296	60
357	320	58
358	251	84
359	262	75
360	301	63

Referencia Azimut buz Buzamiento

361	261	76
362	6	60
363	262	80
364	359	73
365	13	45
366	256	29
367	245	78
368	212	22
369	151	21
370	306	69
371	162	20
372	261	74
373	164	25
374	57	80
375	245	85
376	184	68
377	182	55
378	190	82
379	13	66
380	199	9
381	15	3
382	213	7
383	202	15
384	163	27
385	297	76
386	255	62
387	261	86
388	252	65
389	315	72
390	285	88
391	303	60
392	306	62
393	199	68
394	135	65
395	161	72
396	339	67
397	149	48
398	251	44
399	21	78

Referencia Azimut buz Buzamiento

400	270	75
401	290	53
402	230	69
403	234	34
404	322	63
405	278	43
406	229	65
407	270	1
408	248	71
409	0	64
410	309	85
411	5	67
412	296	65
413	128	30
414	299	40
415	13	86
416	320	75
417	292	70
418	321	83
419	353	40
420	316	75
421	114	45
422	254	46
423	30	73
424	1	84
425	343	77
426	221	47
427	251	45
428	125	57
429	320	78
430	252	57
431	245	48
432	248	40
433	87	83
434	260	48
435	124	30
436	143	18
437	355	56
438	316	76

Referencia Azimut buz Buzamiento

439	246	34
440	294	60
441	151	31
442	245	84
443	127	53
444	336	40
445	236	73
446	328	60
447	354	42
448	153	55
449	357	48
450	308	70
451	203	80
452	154	54
453	175	45
454	168	59
455	144	8
456	206	64
457	145	28
458	197	4
459	215	57
460	185	5
461	194	81
462	177	82
463	125	80
464	206	51
465	127	82
466	122	68
467	161	58
468	290	5
469	180	74
470	170	70
471	154	81
472	129	60
473	90	84
474	198	75
475	137	42
476	187	87
477	171	75

Referencia Azimut buz Buzamiento

478	130	40
479	147	82
480	166	47
481	178	71
482	152	32
483	156	85
484	113	4
485	164	88
486	141	83
487	157	84
488	229	80
489	162	60
490	173	61
491	190	48
492	158	80
493	253	89
494	195	60
495	203	34
496	209	61
497	7	69
498	77	88
499	99	44
500	133	72
501	182	69
502	322	73
503	325	57
504	219	86
505	0	64
506	144	47
507	310	84
508	184	55
509	242	85
510	225	70
511	259	84
512	213	76
513	204	72
514	211	53
515	146	65
516	226	79

Referencia Azimut buz Buzamiento

517	254	85
518	181	29
519	223	88
520	22	80
521	296	72
522	178	78
523	316	54
524	268	88
525	254	80
526	220	85
527	217	72
528	174	84
529	141	63
530	143	64
531	0	70
532	226	40
533	8	61
534	271	81
535	266	89
536	271	89
537	321	64
538	248	19
539	183	86
540	304	60
541	283	85
542	227	69
543	139	35
544	129	80
545	209	81
546	273	89
547	347	58
548	155	43
549	260	79
550	129	58
551	0	79
552	154	82
553	141	32
554	280	85
555	134	32

Referencia Azimut buz Buzamiento

556	260	72
557	94	61
558	146	68
559	162	55
560	232	89
561	199	76
562	96	65
563	110	64
564	306	85
565	256	89
566	13	72
567	255	40
568	0	68
569	359	65
570	258	6
571	179	65
572	251	82
573	260	75
574	273	88
575	203	74
576	269	88
577	311	65
578	187	12
579	330	62
580	179	68
581	158	61
582	4	61
583	168	90
584	288	69
585	13	55
586	307	72
587	156	50
588	306	70
589	135	58
590	291	77
591	228	59
592	0	68
593	258	67
594	274	83

Referencia Azimut buz Buzamiento

595	285	82
596	214	11
597	185	19
598	285	79
599	198	13
600	272	84
601	200	46
602	293	65
603	255	70
604	328	63
605	249	77
606	263	86
607	303	55
608	151	30
609	316	51
610	254	84
611	312	56
612	328	51
613	260	88
614	337	56
615	1	65
616	206	75
617	209	72
618	296	57
619	288	24
620	287	60
621	219	78
622	208	76
623	334	45
624	187	53
625	207	74
626	206	78
627	247	90
628	251	90
629	225	50
630	182	90
631	256	85
632	172	86
633	15	26

Referencia Azimut buz Buzamiento

634	153	65
635	190	73
636	174	65
637	169	85
638	163	27
639	246	75
640	285	78
641	171	61
642	250	66
643	250	65
644	254	85
645	205	82
646	230	45
647	190	53
648	170	52
649	60	52
650	178	46
651	213	64
652	347	50
653	253	89
654	5	66
655	105	75
656	125	54
657	204	61
658	136	46
659	119	67
660	215	76
661	69	80
662	285	79
663	272	82
664	147	49
665	147	49

Referencia Azimut buz Buzamiento

**Portal Oriental**  
**Referencia**

**Azimut buz**

**Buzamiento**

**Referencia**

**Azimut buz**

**Buzamiento**

666	29	64	704	83	7
667	358	67	705	123	85
668	100	84	706	114	28
669	20	70	707	82	47
670	318	74	708	348	40
671	73	83	709	275	47
672	26	69	710	351	10
673	291	72	711	10	80
674	20	19	712	105	22
675	322	72	713	351	83
676	312	68	714	259	74
677	138	31	715	157	12
678	127	36	716	30	67
679	242	64	717	83	54
680	297	77	718	2	90
681	6	52	719	4	33
682	226	12	720	83	70
683	351	60	721	305	80
684	19	70	722	270	46
685	274	20	723	309	68
686	73	45	724	3	60
687	200	77	725	253	53
688	101	48	726	312	68
689	21	76	727	8	55
690	325	70	728	298	60
691	85	27	729	11	11
692	342	83	730	277	60
693	292	71	731	5	57
694	277	60	732	272	76
695	273	40	733	342	68
696	76	85	734	4	80
697	23	70	735	27	62
698	308	59	736	104	82
699	35	15	737	76	36
700	112	20	738	26	68
701	102	32	739	43	64
702	96	40	740	307	64
703	27	73	741	295	63

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
742	276	67
743	32	61
744	37	80
745	88	52
746	91	47
747	30	58
748	40	68
749	25	67
750	81	67
751	37	90
752	296	69
753	183	74
754	350	64
755	307	66
756	257	35
757	302	90
758	196	16
759	250	79
760	197	15
761	70	77
762	30	76
763	293	65
764	292	68
765	28	67
766	185	80

**Palmas - Aeropuerto**

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
766	151	85
767	153	83
768	270	80
769	169	85
770	150	88
771	322	87
772	203	87
773	270	80
774	358	70
775	274	67
776	248	75
777	247	79
778	75	8
779	92	22
780	354	84
781	270	85
782	259	72
783	285	78
784	265	82
785	253	73
786	250	63
787	255	67
788	355	51
789	265	80
790	254	52
791	2	81
792	264	86
793	341	80
794	160	9
795	261	76
796	349	44
797	268	90
798	353	65
799	267	85
800	18	72
801	271	79
802	270	79
803	188	58

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
804	7	59
805	313	65
806	293	94
807	336	56
808	276	90
809	31	65
810	265	78
811	335	79
812	265	75
813	253	90
814	180	84
815	75	85
816	180	90
817	268	79
818	348	76
819	7	45
820	153	68
821	355	51
822	270	76
823	337	75
824	30	57
825	356	25
826	273	90
827	350	57
828	10	11
829	272	80
830	40	15
831	346	72
832	343	83
833	7	9
834	265	79
835	265	79
836	169	50
837	263	72
838	341	70
839	357	64
840	304	19
841	22	72
842	180	25

km 11

Referencia

Azimut buz

Buzamiento

846	265	35
847	182	14
848	283	90
849	85	28
850	270	75
851	6	90
852	0	65
853	220	90
854	305	82
855	175	72
856	280	90
857	277	75
858	170	75
859	175	74
860	170	90
861	181	74
862	179	68
863	270	55
864	315	71
865	8	79
866	278	66
867	15	81
868	5	89
869	0	83
870	25	72
871	295	84
872	280	78
873	252	68
874	36	50
875	334	78
876	265	30
877	315	70
878	315	83
879	332	73
880	71	42
881	338	67
882	330	55
883	315	67

Referencia

Azimut buz

Buzamiento

884	316	79
885	280	48
886	285	58
887	287	45
888	256	44
889	255	38
890	298	75
891	41	90
892	305	67
893	275	45
894	285	40
895	270	35
896	8	90
897	325	60
898	335	71
899	185	87
900	145	80
901	290	85
902	155	86
903	260	85
904	325	621
905	330	70
906	10	90
907	330	69
908	322	80
909	322	68
910	332	87
911	11	90
912	315	90
913	20	90
914	302	67
915	15	90
916	317	65
917	316	89
918	18	89
919	270	80
920	9	86
921	296	74

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
843	197	45
844	270	80
845	345	78

El Concejal de Medellín **CARLOS ALBERTO BALLESTEROS BARÓN** y  
la Edil de Santa Elena, **BERTA NUBIA ALZATE**,  
le invitan a participar del debate sobre  
la problemática de **VIVIENDA** y de la **RESERVA FORESTAL** del Río Nare  
que afecta al Corregimiento **SANTA ELENA**

Concejo de Medellín miércoles 27 de julio  
Recinto de Sesiones  
Nueve de la mañana (9:00 AM)

**Escucha, aprende y aporta.**  
**Si te sientes parte del problema, sé parte de la solución.**  
**ASISTE Y PARTICIPA.**

Referencia	Azimut buz	Buzamiento
922	310	88
923	269	86
924	245	61
925	247	65
926	358	80
927	357	49
928	334	69
929	332	80
930	100	85
931	82	58
932	71	90
933	72	62
934	78	54
935	72	48
936	68	70
937	75	55
938	76	55
939	67	83
940	74	64
941	146	48
942	160	35
943	78	57
944	82	45
945	86	51
946	70	69
947	71	65
948	178	6
949	90	45
950	160	42
951	122	32
952	84	43

km 11+300

Referencia	Azimuth buz	Buzamiento	Referencia	Azimuth buz	Buzamiento
953	94	55	991	275	50
954	93	32	992	38	90
955	78	60	993	22	77
956	86	43	994	11	75
957	87	45	995	110	90
958	157	68	996	315	55
959	215	76	997	248	65
960	153	14	998	192	90
961	315	90	999	339	79
962	317	82	1000	345	70
963	319	90	1001	330	53
964	334	63	1002	326	59
965	328	67	1003	341	90
966	204	52	1004	177	90
967	275	51	1005	320	60
968	195	90	1006	326	53
969	257	45	1007	318	71
970	276	51	1008	60	80
971	357	55	1009	15	77
972	256	47	1010	307	69
973	260	44	1011	322	67
974	260	36	1012	305	75
975	325	29	1013	320	59
976	277	40	1014	319	68
977	272	44	1015	315	61
978	290	30	1016	298	75
979	365	45	1017	315	90
980	335	27	1018	345	70
981	270	42	1019	345	85
982	257	50	1020	310	72
983	315	26	1021	295	90
984	355	29	1022	231	50
985	257	42	1023	220	90
986	264	45	1024	218	70
987	261	54	1025	121	90
988	276	41	1026	113	90
989	274	45	1027	324	62
990	285	47	1028	337	55

Referencia	Azinut buz	Buzamiento
1029	314	63
1030	318	80
1031	324	60
1032	316	79
1033	318	90
1034	170	27
1035	318	90
1036	149	90
1037	320	65
1038	322	73
1039	315	84
1040	307	80
1041	125	77
1042	324	57
1043	320	75
1044	330	90
1045	344	55
1046	329	71
1047	240	90
1048	126	90
1049	171	90
1050	215	72
1051	131	90
1052	147	35

# ANEXO 2

Referencia	Norte	Este	Cota Descripción	Caudal
1	1180300	843479	2510 Pozo	
2	1180346	843538	2515 Pozo	
3	1180609	843673	2535 Manantial	0.5 l/s
4	1181097	842706	2510 Manantial	
5001	1180959	843097	2535 Manantial	
5002	1180956	843117	2535 Manantial	1l/s
5003	1182174	843120	2515 Manantial	
6	1179727	844219	2570 Manantial	4l/min
7	1179544	844213	2570 Humedal descubierto	
8	1179910	843893	2540 Manantial	
9	1179711	843778	2570 Humedal descubierto	1.1l/s
10	1179307	842753	2500 Cruce de quebrada	
11	1178777	842867	2515 Manantial	16 l/min
12	1178817	841698	2580 Humedal	1.2l/s
13	1178652	841358	2600 Humedal	0.8l/s
14	1178678	841336	2600 pseudodolina	
15	1178613	841424	2605 Manantial	0.8l/s
16	1178453	841226	2605 Manantial	2.5 l/s
17	1178110	841209	2615 Manantial	
18	1178041	841096	2640 quebrada Bizarro	
19	1177503	841452	2640 Manantial	08l/s
20	1177558	841543	2640 Humedal	
21	1177607	841113	2630 Humedal	
22	1177774	842872	2595 Manantial	1l/min
23	1177923	842430	2575 Humedal y manantial	8l/min
24	1178587	842131	2660 Humedal	
25	1178069	842784	2560 Manantial	3l/min
26	1178036	843002	2550 Humedal	
27	1179526	843515	2560 Manantial	0.5 l/s
28	1179526	843547	2565 Manantial	0.5 l/s
29	1179391	843640	2575 Humedal y manantial	2.5 l/s
30	1179418	843664	2575 Manantial	1l/s
31	1179277	843596	2590 Manantial	3.5 l/s
32	1179306	843583	2575 Manantial	0.5 l/s
33	1179441	843556	2565 Manantial	1.5 l/s
34	1179233	842754	2510 Manantial	2.5 l/s
35	1178902	842919	2530 Manantial	1l/s
36	1178945	842768	2520 Humedal y manantial	1l/s
37	1178657	841753	2580 Manantial	1l/s
38	1178531	841714	2600 Lago	
39	1178534	842793	2625 Humedal	
40	1178472	841972	2600 Manantial	3.5 l/m
41	1178538	841983	2575 Manantial	0.5 l/s
42	1178695	841688	2570 Humedal y Lago	1l/s
43	1178647	841682	2530 Humedal	
44	1177214	843408	2555 Humedal y manantial	1l/s
45	1177152	842470	2620 Manantial	2.5 l/s
46	1176973	843423	2630 Manantial	0.6 l/s
47	1176966	842436	2630 Manantial	0.5 l/s
48	1178531	842396	2640 Manantial	1.1l/s

Referencia	Norte	Este	Cota Descripción	Caudal
49	1178362	842414	2640 Manantial	1.5 l/s
50	1176520	842363	2660 manantial efímero	
51	1178545	844140	2580 humedal y manantiales	2, 0.5, 0.4, 0.3l/s
52	1178665	844103	2595seudodolina	
53	1178790	844063	2600 piping	0.5 l/s
54	1178797	843594	2610seudodolina	
55	1178969	844132	2610 Manantial	0.4l/s
56	1179050	844132	2615 Manantial	1l/min
57	1179124	844079	2630 Manantial	40l/min
58	1179146	844112	2635 Manantial	3l/min
59	1179085	844080	2625 Manantial	12l/min
60	1179069	844769	2605 Humedal y manantial	1.1l/s
61	1179087	844252	2605 Humedal y manantial	2l/s
62	1179308	844286	2595 Humedal y manantial	0.3l/s
63	1179339	844262	2600 Manantial	0.9l/s
64	1178449	844077	2560 Humedal, manantial y lago	
65	1175393	844705	2560 Manantial	0.3l/s
66	1175320	844249	2580 Manantial	0.2l/s
67	1175206	844343	2610 Manantial	0.4l/s
68	1175202	844306	2590 Manantial	0.5 l/s
69	1175327	844438	2600 Humedal y manantial	9l/min
70	1175369	844410	2600 Humedal y manantial	0.1l/s
71	1175408	844552	2600 Humedal y manantial	0.4l/s
72	1175547	842929	2590 Manantial	5 l/s
73	1175610	844258	2540 Manantial	0.6 l/s
74	1175778	844134	2540 Manantial	1 l/s
75	1175857	843976	2550 Manantial	2.5 l/s
76	1176032	844017	2540 Humedal	
77	1176405	843852	2580 Manantial	3.5 l/s
78	1176387	843891	2580 Manantial	2l/s
79	1176379	843887	2540 Manantial efímero	
80	1176950	843486	2630 Manantial	0.5 l/s
81	1174356	848443	2190 Humedal	
82	1174113	848313	2230 Manantial	0.5; 0.5 l/s
83	1173988	848128	2255 Manantial	15 l/s
84	1173642	847996	2280 Manantial	2.5 l/s
85	1173270	848097	2320 Humedal y manantial	0.8 l/s
86	1173196	848890	2350 Manantial	1.5 l/s
87	1173393	847643	2380 Manantial	2.5 l/s
88	1173598	847000	2390 Manantial	1.5 l/s
89	1173691	846794	2420 Humedal y manantial	1.5 l/s
90	1173728	846688	2420 Tres manantiales	6 l/s
91	1173995	846346	2450 Manantial	2l/s
92	1174064	846027	2470 Manantial	10l/s
93	1174289	845723	2520 Manantial	1.2l/s
94	1174203	845400	2555 Manantial	4l/s
95	1173950	845228	2575 Manantial	0.8l/s
96	1173942	845250	2575 Manantial	0.4l/s
97	1173849	844993	2555 Quebrada La Marta	
98	1173729	844384	2570 Manantial	5 l/s

Referencia	Norte	Este	Cota	Descripción	Caudal
99	1173871	844142	2570	Humedal y manantial	0.8l/s
100	1173912	844131	2565	Humedal y manantial	1l/s
101	1173973	844085	2565	Humedal y manantial	3.5 l/s
102	1174087	844685	2565	Manantial	1.1l/s
103	1174253	844073	2570	Manantial	0.4l/s
104	1174327	843989	2570	Humedal	0.4l/s
105	1174495	844685	2555	Dos ramales	>15 l/s
106	1174602	843873	2550	Dos ramales	>10 l/s
107	1174676	843654	2550	Humedal	
109	1176639	843493	2570	Manantial	0.3l/s
110	1176596	843533	2580	Manantial	0.2l/s
111	1176596	843522	2550	piping	0.2l/s
112	1176441	844359	2590	Manantial	0.3l/s
113	1176404	844339	2580	Manantial	0.3l/s
114	1176333	844734	2595	Manantial	0.3l/s
115	1176739	844513	2625	Manantial	0.4l/s
116	1176730	844543	2655	Manantial	0.3l/s
117	1176412	844690	2575	Humedal	0.3l/s
118	1177117	843996	2540	Humedal	0.3l/s
119	1177185	844026	2565	Humedal	0.2l/s
120	1177062	844559	2680	piping	0.3l/s
121	1177040	844488	2660	Manantial	0.6 l/s
122	1177142	844180	2615	Manantial	0.4l/s
123	1177552	844028	2595	Manantial	0.2l/s
124	1177597	844104	2600	Manantial	0.3l/s
125	1177651	844073	2605	Manantial	0.3l/s
126	1179995	844616	2440	Manantial	0.5 l/s
127	1179809	842555	2460	Manantial	1 l/s
128	1179659	842724	2465	Manantial	10 l/s
129	1175625	847466	2295	Manantial	3.3 l/s
130	1177737	844223	2600	Manantial	1.1 l/s
131	1177544	844822	2590	Manantial	1.2 l/s
132	1177586	844970	2585	Manantial	1 l/s
133	1177430	845251	2585	Manantial	4 l/s
134	1177408	845268	2580	Manantial	2 l/s
135	1176972	845123	2650	Manantial	2.5 l/s
136	1176993	845234	2630	Manantial	0.2 l/s
137	1177253	845436	2520	Manantial	0.2 l/s
138	1177107	845500	2520	Manantial	0.4 l/s
139	1177000	845479	2510	Manantial	0.7 l/s
140	1176960	845499	2500	Manantial	3 l/s
141	1176838	845975	2450	Manantial	1 l/s
142	1175190	846882	2400	Manantial	1.1 l/s
143	1179452	841976	2400	Manantial	0.2 l/s
145	1179449	841899	2390	Manantial y piping	0.3 l/s
146	1179514	841642	2250	Cruce de quebrada	50 l/s

DIGITALIZADO

