
**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES POTENCIOMÉTRICOS EN
EL ACUÍFERO DE CALI**

Myriam C. López C.

Hendrik Vokler

ABSTRACT

The purpose of this study is to process the potentiometric level data taken by the CVC and DAGMA, in the city of Cali – Colombia, in order to identify the movement sense of subterranean water and looking for the factors that affect that ones.

The directions of the flow lines along the time lead to infer relations with the streams and water bodies that now are buried by the urban center, with geological structures that seems to have an influence in the aluvial fans and could have incidence in the anomalies founded in the potentiometric surface.

Herein, there are some hypotesis related with the geological structures that could affect the flow systems of subterranean waters in Cali, Colombia.

RESUMEN

El propósito del estudio es procesar los datos pootenciométricos, tomados por al C.V.C. y el DAGMA en la ciudad de Cali – Colombia, para identificar el sentido del movimiento de las aguas subterráneas y buscar las causas que lo gobiernan.

La constante en la líneas de flujo a lo largo del período observado, permite inferir relaciones con drenajes y cuerpos de aguas que han sido sepultados por la malla urbana de la ciudad, con estructuras geológicas (alineamientos en fotografías aéreas) que al parecer afectan los abanicos aluviales e inciden en la anomalías encontradas en la superficie potenciométrica.

aquí se dan algunas hipótesis relacionadas con las estructuras geológicas que podrían afectar los sistemas de flujo de las aguas subterráneas en Cali, Colombia.

EVALUACION DE LOS NIVELES POTENCIOMÉTRICOS EN EL ACUÍFERO LIBRE DE CALI

1. Introducción:

El nivel potenciométrico es el término utilizado para referirse a la altura de la superficie del agua subterránea sobre el nivel del mar (Hölting, 1996). Anteriormente se denominaba nivel piezométrico y a las isocurvas generadas isopiezas, puesto que se les asimila con curvas de igual presión (Castany, 1975).

En los acuíferos libres, la capa acuífera está limitada en el techo por la superficie potenciométrica, la cual es un dato dimensional importante para el cálculo de las reservas y de sus variaciones o de los recursos explotables (Castany, 1975).

La morfología de la superficie potenciométrica de los acuíferos libres permite determinar, a escala regional, las características del movimiento de las aguas subterráneas. Dado que éste depende de las estructuras geológicas e hidrológicas de la capa acuífera, el método de análisis utilizado es directo (Castany, 1975).

La ciudad de Cali está localizada en el piedemonte de la Cordillera Occidental sobre conos aluviales y sobre la llanura aluvial del río Cauca, cauce que marca su límite oriental. Los cursos de los principales ríos y afluentes que atraviezan la ciudad han sufrido modificaciones importantes. Los ríos Cali, Meléndez y Pance disectan los abanicos aluviales en el norte y sur de la ciudad y el río Cañaveralejo y la quebrada Puente Palma, son dos corrientes de importancia que drenaban el centro del área urbana (Figura 1).

El propósito de éste trabajo es procesar los registros de los niveles potenciométricos en el acuífero libre de Cali, tomados por la CVC desde 1947, para determinar el sentido del movimiento de las aguas subterráneas y buscar sus relaciones con la circulación de las aguas superficiales (Mapa 1), con la morfología de los conos aluviales (Mapa 2) y con expresiones fotogeológicas de fallamiento.

El análisis sólo cubrió la porción urbana del Municipio, con una densidad aceptable de mediciones en los conos aluviales y en la llanura aluvial del Río Cauca, pero con ausencia de datos en la zona montañosa, información que sería indispensable para determinar zonas de recarga.

La participación de Hendrick V., estudiante de Geología de la Universidad Técnica de Berlín, constituyó su práctica académica en el campo de la hidrogeología, una de las actividades desarrolladas durante su estadía en el OSSO.

2. Hidrogeología.

Bajo la superficie de los conos aluviales y de la llanura aluvial, existen sistemas de acuíferos que conforman el acuífero libre¹, el acuífero semiconfinado y el acuífero confinado² (SAF y Tenjo S., 1998).

La Unidad A que comprende capas de sedimentos hasta una profundidad promedio de 150 m conforma un acuífero múltiple, heterogéneo, de gravas y arenas o mezcla de ambos, intercalados con arcillas y/o limos; esta unidad fué definida por Alvarez y Tenjo S., (1971), a partir del análisis de columnas litológicas y de los resultados de pruebas de bombeo.

De la Unidad A, SAF y Tenjo S. (1998) separan la unidad donde se presenta el acuífero libre, como una "Unidad Superior que constituye el Acuífero más Superficial (UAS), el cual se extiende por toda el área estudiada con una profundidad promedio de 30 m en las zonas de los conos aluviales de los ríos procedentes de la cordillera y de 40 m en la zona del cauce del río Cauca. El espesor real del acuífero o acuíferos sumados de esta Unidad Superior está entre 2 y 5 m, distribuidos en esa profundidad y algunas veces muy cerca a la superficie, pero en la mayor parte de su extensión tiene una cubierta o substrato de arcillas y limos intercalados o de limos arcillosos de cuyo espesor y características litológicas depende la profundidad del nivel freático y la vulnerabilidad de los acuíferos".

La Unidad C, separada de la A, por otra unidad, la B de carácter arcilloso en un 80%, se refiere a un sistema acuífero, por debajo de los 180 m de profundidad y de espesor desconocido, también múltiple, de capas de arenas gruesas y de gravas o mezcla de ellas, con intercalaciones potentes de arcillas y limos arcillosos. Se presenta principalmente en la zona del cauce aluvial del río Cauca. El acuífero semiconfinado es común en la Unidad A y en la UAS; el acuífero confinado se presenta en los sistemas acuíferos de las unidades A y C.

3. Geomorfología

Dentro de las formas deposicionales existentes en el área, Alvarez A. y Tenjo S. (1971) hacen una descripción de acuerdo con la clasificación de Thornbury W.D., (1955), donde resalta las geformas de una llanura aluvial y denomina a los principales abanicos aluviales como "Conos de Cali, Meléndez, Líli, Cañaveralejo y Pance".

¹ Acuífero libre: Está limitado en su base por el substrato impermeable y en su parte superior por el nivel piezométrico (Castany, 1975).

² Acuífero confinado: Limitado en su parte superior por la base del techo impermeable. En el Valle del Río Cauca está limitado por encima y por debajo por capas arcillosas impermeables de gran espesor (Alvarez y Tenjo, S. 1971).

En este trabajo se presenta la delimitación de los abanicos aluviales³ a partir de la identificación de gradaciones en el relieve desde los sitios de deyección y en la forma de radiación cónica de los depósitos aluviales (Miall, A.D., 1996) (Mapa 1), junto con la reconstrucción de la red de drenaje y cuerpos de agua (Mapa 2), reconstrucciones hechas mediante interpretación de fotografías aéreas IGAC de los años 1943 y 1957.

El límite de los abanicos aluviales define el inicio de la llanura aluvial del río Cauca, donde resaltan los depósitos de la llanura de inundación relictas con cinturón de meandros abandonados, los albardones, las lagunas o ciénagas y la actual llanura de inundación.

4. Geología Estructural.

Aquí se incluye una descripción resumida de las principales estructuras geológicas, tanto documentadas como propuestas a partir de la fotointerpretación de rasgos morfológicos (alineamientos, desviación de cauces de drenajes, lagunas, silletas, facetas triangulares), que en principio corresponderían a segmentos de falla cuya traza "principal" se observa en la zona montañosa afectando las unidades litológicas del Terciario y del Cretácico (sistemas de fallas de Cali y Cauca).

Estas estructuras o "segmentos de falla" fallas de Cali y/o Cauca, podrían tener incidencia no solo en las zonas de alimentación y drenaje del acuífero libre sino también en la alimentación del acuífero confinado.

La Falla del Cauca: Es una de las estructuras más grandes en Colombia. Se extiende en sentido N – E a lo largo del límite Oriental de la Cordillera Occidental, con una longitud aproximada de 800 Kms, al NE de Cali se localiza probablemente en el borde más oriental de los sedimentos que rellenan la margen Occidental del Río Cauca (Woodward–Clyde 1983).

Bermúdez et al. (1985), en el estudio gravimétrico del Valle del río Cauca concluyen que esta falla es una estructura con gran desplazamiento vertical cuyo rumbo no coincide con el borde oriental de la Cordillera Occidental y puesto que no tiene expresión topográfica superficial en los sedimentos del valle, es una falla inactiva.

Woodward–Clyde Consultants (1983), reportan posible actividad reciente (2.2 m.a.) en un segmento al Sur entre los valles del Cauca y el Patía, cerca al Tambo, donde al parecer corta depósitos fluviovolcánicos.

Falla de Cali: Es el principal rasgo estructural del borde Este de la Cordillera Occidental. Posiblemente se trata de una falla de cabalgamiento cuyo plano buza al Oeste. Una parte de

³Abanico aluvial: se refiere a una forma de depositación fluvial distinguible con base en características geomorfológicas más que por un estilo fluvial característico (Miall, A.D., 1996).

su traza está cubierta por sedimentos de la Formación Popayán. Esta estructura ha afectado tanto sedimentos Terciarios como Cretácicos (Alvarez, A. y Tenjo, S. 1971).

De manera general las observaciones realizadas en fotografía aérea son las siguientes:

En los conos aluviales, una vez los drenajes descienden de la cordillera, se observa deflexión hacia el NE del curso de los ríos Lili, Meléndez, Cañaveralejo y Cali y de quebradas menores como la Quebrada Puente Palma. La deflexión de estos drenajes también se observa hacia la parte distal de los conos aluviales y en el límite con la antigua madreveja del Río Cauca. Estas deflexiones, algunos relictos de lagunas y el desplazamiento hacia el SW del cinturón de meandros abandonados, indican desplazamientos sinestrales del sistema NE observado aquí.

Al sur del ápice del Cono de Cali se observa una dislocación al parecer por una estructura de dirección NW que levanta el bloque norte; su traza controla el curso de la antigua (sepultada) Quebrada La Sardinera y continúa hacia la zona montañosa, donde puede correlacionarse con la Falla Los Limones reportada en DAPM (1998) como una estructura que controla el cauce del Río El Chocho y la Quebrada Los Limones en una longitud de 3.2 Km.

Este sistema NW tiene expresiones al sur cartografiadas por Aspdén J.A. (1984) en el mapa de Ingeominas como la Falla del Río Meléndez, estructura de rumbo aproximado N60W y desplazamiento dextral.

Aparentemente en el Zanjón Cascajal, una estructura del Río Cauca de rumbo dextral marca el límite occidental del cinturón de meandros abandonados. Este sistema NS es muy claro hacia el sur del Río Pance.

5. Metodología

El tratamiento de los registros de niveles potenciométricos, incluyó los siguientes pasos:

- Obtención de los mapas de la superficie potenciométrica
 - ✓ Manejo de los datos o registros de niveles de la superficie potenciométrica en una base de datos Excell.
 - ✓ Asociación de la base de datos con el Sistema de Información Geográfica, PCI.
 - ✓ Generación de mapas de isocurvas de la superficie potenciométrica mediante el módulo de interpolación VDEMINT del programa PCI con una equidistancia definida de cinco metros.

- Interpretación de los mapas de isopiezas
 - ✓ Fluctuaciones históricas de los niveles potenciométricos.
 - ✓ Morfología de las curvas, determinación de las líneas de flujo y anomalías.

- Identificación de las relaciones del movimiento de las aguas subterráneas con los drenajes superficiales, cuerpos de agua (lagunas o ciénagas) antiguos o sepultados y estructuras geológicas superficiales.
- Identificación de las relaciones del movimiento de las aguas subterráneas con la morfología de los abanicos aluviales y/o hipótesis para las anomalías encontradas.

6. Datos

6.1 Niveles Potenciométricos:

La División de Aguas Subterráneas de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (C.V.C.), suministró, en formato digital, los registros del nivel piezométrico⁴, tomados en pozos del área urbana del Municipio Santiago de Cali desde 1969 (Tabla 1).

La División de Control Urbano del Departamento Administrativo de gestión del Medio Ambiente (DAGMA) aportó dos registros del nivel piezométrico realizados en el año de 1999 en 51 pozos del área urbana del Municipio de Cali (Tabla 1).

Los registros suministrados por ambas entidades se encuentran referidos al sistema de alturas de la C.V.C., el cual está 5,935 metros más alto que el sistema de alturas empleado por la oficina de Catastro Municipal (SAF - Tenjo, S., 1998).

6.2 Análisis y selección de datos.

Para este trabajo se seleccionaron aquellos períodos de observación en años con la mejor densidad y distribución de los datos (Tabla 1); los registros seleccionados fueron: Enero de 1969 (20 registros), Abril de 1983 (47 registros), Octubre de 1983 (64 registros) (Mapa 3), Mayo de 1984 (61 registros) (Mapa 4), Agosto de 1990 (32 registros), Agosto de 1999 (45 registros) (Mapa 5) y Junio de 1999 (51 registros) (Mapa 6).

Tabla 1. Resumen de los registros de niveles potenciométricos (C.V.C., 2000)

Año de muestreo	Mes de muestreo	No de registros	Año de muestreo	Mes de muestreo	No de registros	Año de muestreo	Mes de muestreo	No de registros
1947	Julio	1		Febrero	2		Octubre	2
1948	Mayo	1		Marzo	1		Nov.	3
1955	Julio	1		Abril	28		Diciembre	1
1966	Agosto	1	1982	Julio	1			
	Diciembre	1		Octubre	35	1991	Enero	3
1967	Enero	1	1983	Febrero	1		Mayo	3
1968	Enero	1		Abril	47		Julio	

⁴ Registros del nivel piezométrico, medidos por C.V.C. como la altura de la superficie del agua sobre el nivel del mar, referida al sistema de C.V.C., cuando el pozo no está en funcionamiento.

Año de muestreo	Mes de muestreo	No de registros	Año de muestreo	Mes de muestreo	No de registros	Año de muestreo	Mes de muestreo	No de registros
	Nov.	1		Junio	1		Agosto	1
1969	Enero	20		Octubre	64		Sept.	2
	Junio	24		Diciembre	2		Octubre	1
	Sept.	22	1984	Mayo	61		Diciembre	2
	Diciembre	21		Agosto	1	1992	Febrero	1
1970	Enero	1		Octubre	58		Junio	1
	Sept.	12		Nov	63		Sept.	1
1971	Enero	14		Diciembre	1		Diciembre	1
	Julio	20	1985	Mayo	2	1993	Marzo	1
	Sept.	23		Octubre	2		Junio	1
1972	Julio	17	1986	Abril	2		Julio	1
	Sept.	14		Mayo	1		Agosto	1
1973	Abril	20		Sept.	1		Sept.	3
	Nov.	1		Nov.	1		Octubre	3
	Diciembre	1	1987	Mayo	25		Diciembre	1
1974	Febrero	14		Julio	1	1994	Enero	1
	Sept.	20		Sept.	2		Febrero	2
1975	Octubre	13		Octubre	49		Marzo	2
1976	Junio	9	1988	Febrero	4		Abril	1
	Octubre	16		Abril	1		Mayo	1
	Nov.	1		Julio	34		Agosto	3
1977	Mayo	19		Agosto	1		Sept.	1
1978	Febrero	1		Octubre	43	1995	Febrero	1
	Marzo	1	1989	Abril	2		Marzo	1
	Abril	17		Mayo	2		Junio	1
	Mayo	21		Junio	1		Julio	4
	Octubre	1		Agosto	1		Agosto	2
	Nov.	13		Sept.	1		Sept.	2
1979	Mayo	21		Octubre	2		Nov.	1
	Diciembre	16		Nov.	1	1996	Enero	2
1981	Marzo	1	1990	Febrero	1		Febrero	1
	Junio	31		Mayo	3		Junio	5
	Noviembre	2		Junio	1	1997	Febrero	2
	Diciembre	35		Julio	2	*1999	Junio	51
1982	Enero	8		Agosto	32		Agosto	45
				Sept.	5			

*1999: Registros aportados por el DAGMA

1981 : Involucrados en el análisis

1982 : Para la generación de los mapas presentados

7. Morfología de la superficie potenciométrica.

7.1 Variación histórica de los niveles potenciométricos.

Con base en la información seleccionada se produjeron los mapas de superficies potenciométricas, que permitieron deducir lo siguiente.

- En Enero de 1969 la superficie potenciométrica en el Cono de Cali estaba mas baja que en 1984 y 1999; son variaciones de 10 metros aproximadamente que muestran una relación directa con un período de mayor sequía en enero de 1969, cuando se tomó el dato.
 - En Enero de 1969 la precipitación media mensual en la estación de la Universidad del Valle (localizada al sur, cerca al río Meléndez) fué de 78 mm y en Abril de 1983

fué de 222 mm; en la estación del colegio San Luis (Norte cerca al río Cali) fué de 34 mm, en 1969 (Ver [Tabla 2](#)).

- Para el pozo Vc-103 ubicado entre los ríos Lili y Pance, en 1999 la superficie potenciométrica está mas baja que en mayo de 1984, lo cual tiene coherencia con precipitaciones mas altas en 1984 ([Figuras 4 y 7](#)).
- En Mayo de 1984 los niveles potenciométricos en el cono de Cali, son mas altos que en Octubre de 1983 ([Figuras 3 y 4](#)), ésto coincide con las precipitaciones más altas medidas en 1984.
 - En el pozo Vc-125 localizado sobre el Cono de Cali, se registraron niveles mas altos en Octubre de 1983 que en Mayo de 1984. Esto no coincide con las precipitaciones mas altas registradas en Mayo de 1984.
- Al comparar Junio y Agosto de 1999, se observa que en junio la superficie potenciométrica está mas alta, coincidiendo con las abundantes lluvias registradas.

La comparación con las precipitaciones es muy aproximada pues las estaciones mencionadas se encuentran dentro de la ciudad, donde por razones obvias el acuífero no se alimenta directamente de la infiltración de aguas lluvias ([Tabla 1](#)).

Tabla 2. Precipitaciones medias mensuales para los períodos analizados

Estación	Precipitación Media mensual							
	Cuenca	1969 Enero	1983 Abril	1983 Oct.	1984 May.	1984 Nov.	1999 Jun.	1999 Agos.
Univalle	Cali	78	222	166	230	170		
Las Brisas	Río Cañaveralejo	100	381	125	291	367	208	84
Cañaveralejo	Cañaveralejo		173	170				
Ladrillera	Lili		214	153	177	238	150	119?
La Fonda	Meléndez		308	152				
San Luis	Cali	34		72	146		165	61
Aguacatal				130	175		132	113

Niveles potenciométricos máximos y mínimos.

Octubre de 1983

Máximo : Vc 103: 1053.545, Vc 95: 1009.03 en el Abanico Aluvial del Río Pance.

Mínimo: Vc-75: 920.693, Vc-61: 927.728 en el Abanico Aluvial de Cali.

Mayo de 1984

Máximo Vc-103: 1054.406 - Abanico Aluvial del Río Pance.

Mínimo Vc-119: 914.699 - Abanico Aluvial de Río Cali.

Vc- 75: 922.693 - Abanico Aluvial del Río Cali.

Junio de 1999

Máximo Vc-103: 1052.53 - Abanico Aluvial del Río Pance.

Mínimo Vc-191: 943.94 – Abanico Aluvial del Río Meléndez.

Vc-632: 945.444 Abanico Aluvial del Río Cali.

Agosto de 1999

Máximo Vc-103 - Abanico Aluvial del Río Pance.

Mínimo Vc-191 - Abanico Aluvial del Río Meléndez.

Vc-638 945.059 - Abanico Aluvial del Río Cali.

Los niveles mínimos se presentan a lo largo del tiempo en el Cono de Cali y los máximos en el Cono de Pance; lo que en primera aproximación está relacionado con las precipitaciones mas altas características de las cuencas del sur.

7.2 Movimiento de las aguas subterráneas.

Los resultados mas importantes que pueden obtenerse de los mapas de la superficie potenciométrica a escala de las estructuras hidrogeológicas, son las modalidades y características del movimiento de aguas subterráneas (Castany, 1975).

La morfología de las curvas muestra una coherencia a lo largo del tiempo (Mapas 3 a 6):

- Divergencia de las líneas de flujo y mayor gradiente hidráulico en el abanico aluvial del río Pance, con zona de recarga o alimentación al Oriente del río Pance. Las líneas de flujo en sentido W-E y SE siguen hacia el Basin del Río Cauca y en dirección NE a través del río Lili hacia el antiguo cauce del Río Meléndez. La continuidad hacia el Río Lili sugiere interdigitación de abanicos y la disminución brusca del gradiente coincide con el sitio de fuga en el antiguo cauce del río Meléndez (Mapa 3 a 6).
- Convergencia de las líneas de flujo en el centro de la ciudad con un fuerte drenaje hacia el río Cañaveralejo y la Quebrada Puente Palma indicado por el bajo gradiente de la superficie potenciométrica.
 - En el norte del Río Meléndez las líneas de flujo siguen una dirección NNE coincidiendo con la alineación de lagunas o pantanos en los sectores Mayapán y Portales, con la gradación en el relieve del abanico de Meléndez hacia la Quebrada Puente Palma su límite Norte.
 - Entre el Río Meléndez y el Río Cañaveralejo las líneas convergen hacia la Quebrada Puente Palma; también existe coincidencia con la gradación en el relieve que muestra la superficie de los depósitos del Río Cañaveralejo.
- La divergencia de las líneas en el norte de la ciudad, abanico aluvial del Río Cali, se da desde la Quebrada La Sardinera, en sentido NW hacia lagunas o pantanos alineados en

sentido NE (antiguo cauce del río Cañaveralejo) y en sentido WE y NE con disminución brusca del gradiente desde un antiguo cauce en hacia el sitio de fuga o anomalía.

7.3 Anomalías.

- Zona 1. Alimentación o recarga del acuífero al sur del Río Pance, debido a los aportes de un antiguo cauce de desborde del río Pance. Al parecer en esta zona se encuentra la divisoria de aguas subterráneas o límite de la cuenca hidrogeológica del acuífero libre (Mapas 3 y 6).
- Zona 2. Una depresión en el Abanico del Río Meléndez, indica drenaje hacia un antiguo cauce del río Meléndez (Mapas 3 y 6).
- Zona 3. Al sur del Río Cali, se forma una depresión de las curvas que podría deberse a:
1) Sobreexplotación del acuífero por la densidad de pozos existentes, aunque esto no es claro puesto que los niveles fueron registrados cuando los pozos no estaban en funcionamiento, por lo tanto no había abatimiento y porque en 1969, cuando existía menor cantidad de pozos también se registraron niveles bajos. 2) Alta permeabilidad de los materiales en ese sector, aspecto que deberá ser evaluado en la estratigrafía de los pozos. 3) fuga de aguas a través de un antiguo cauce de desborde del río Cali (Mapa 6).

En este mismo sitio hay que resaltar que en 1983 y 1984 los registros de la superficie potenciométrica son muy bajos, unos 20 metros con relación a 1999, a pesar de que las precipitaciones son menores, ya hay captación de aguas negras mediante el canal marginal del río Cali construido en 1996, y se espera una mayor explotación.

8. Hipótesis

- La dirección NS de las líneas de flujo en el Cono de Meléndez, coincide con un alineamiento y posibles desplazamientos sinestrales de los ríos Meléndez, la quebrada Puente Palma y el Río Cañaveralejo.
- La delimitación de la zona de convergencia y menor gradiente de la superficie potenciométrica, está limitada al Norte por un alineamiento de dirección NW en el curso de la Quebrada La Sardinera que se prolonga en el occidente hacia el río Chocho, con rasgos estructurales visibles en fotografías aéreas. Esta quebrada más que el límite deposicional del Suroccidente del abanico de Cali, parece ser un límite estructural.
- La disminución del gradiente de la superficie potenciométrica en el Sur del abanico aluvial del río Cali coincide con un alineamiento de dirección NE en el curso del río Cañaveralejo y la Quebrada Puente Palma, que se prolonga hacia el SW. Al parecer es

una estructura de rumbo sinistral que desplazó el cinturón de meandros y el cauce antiguo del río Cauca hacia el Occidente y además cortó el límite Sur del Cono de Cali.

- La comunicación al Sur entre los acuíferos del Cono de Pance y de la llanura aluvial del río Cali, parece estar afectada por una estructura de dirección NS, el cambio brusco del gradiente no solamente parece estar relacionada con la gradación en el relieve de los conos sino con los alineamientos en sentido NE en el Zanjón Cascajal, los ríos Lili y Meléndez.

9. Recomendaciones:

- A pesar de existir una migración o pérdida de aguas en el cono aluvial del río Cali, no existen reportes de pérdidas de agua en el sector, según EMCALI, única entidad que ha realizado aforos de manera sistemática en el río Cali (comunicación verbal de los ingenieros de la gerencia de Acuecucto y Alcantarillado).

Es necesario verificar cuál es la causa real de la fuga en el Cono de Cali, para lo cual se deben aforar caudales antes y después de este sector y realizar balances. Se recomienda hacer varias medidas durante el año, principalmente en invierno si se tiene en cuenta que la planta San Antonio capta más del 50% del caudal del río.

- Aún cuando en las fluctuaciones del nivel potenciométrico tienen gran incidencia las precipitaciones, la permeabilidad, etc. es importante realizar monitoreo de aguas en sitios específicos donde existe sospecha de anomalías y donde el acuífero sea más vulnerable a la introducción de agentes contaminantes, detectados de acuerdo con las líneas de flujo.
- Un estudio comparado de variaciones de pluviometría con niveles de agua de los ríos y niveles piezométricos de los pozos, permitirá determinar con mayor certeza las fugas y anomalías detectadas.
- Con las curvas de nivel del plano digital de Cali (espaciadas cada metro), las cotas de los pozos y la altura de la superficie potenciométrica se podrían determinar las Isóbatas o potencia de la zona de aireación. Los mapas morfológicos que representen la profundidad o posición de la capa acuífera serán útiles para fijar la profundidad de las obras completas de captaciones.
- Las entidades encargadas de la administración de las aguas subterráneas deben involucrar dentro del programa de control, actividades tendientes a la recolección de variables adicionales que permitan un mayor acercamiento al conocimiento de los patrones de circulación de aguas.

- Mediciones periódicas de niveles potenciométricos en sitios cercanos a las anomalías encontradas en las zonas 1, 2 y 3 señaladas en el Mapa 6 y aforos a lo largo de los ríos.
- Instalación de piezómetros en las zonas altas de las laderas. Realizar mediciones cada mes durante un año, con una adecuada programación de mediciones en los pozos existentes, en ausencia de abatimiento por extracción de aguas.
- La ejecución de nuevos pozos debe incluir observaciones detalladas de los tipos de materiales, geología de sitio, estratigrafía y de técnicas de análisis geofísicos y geoquímicos. Esta información será de gran utilidad para la administración y manejo de las aguas subterráneas como una fuente que cada vez será más necesaria para la ciudad.

Agradecimientos

Agradecemos muy especialmente a los Profesores Hansjürgen Meyer y Andrés Velásquez del OSSO por su apoyo y orientación para llevar a cabo el trabajo.

A la C.V.C. y el DAGMA entidades que proporcionaron los datos potenciométricos.

A Sebastián Pedroza, quien digitalizó los mapas de drenaje y conos aluviales.

A Viviana Aguilar, por asistir la generación de los mapas de isocurvas y la ortocorrección de fotografías aéreas.

A Jorge Mendoza por concluir la edición e impresión de los mapas.

Hendrik Vokler agradece al Observatorio Sismológico del SurOccidente – OSSO – de la Universidad del Valle, por recibirlo para realizar su práctica como estudiante de Ingeniería Geológica de la Universidad Técnica de Berlín.

Referencias Bibliográficas

- ACODAL (1998) para DAGMA. Estudio y Diseño de los Procesos para la Regulación y Uso de las Aguas Subterráneas en el Municipio de Cali. Inédito.
- Alvarez, A. y Tenjo S. (1971). Hidrogeología del Valle del Río Cauca entre Santander de Quilichao y El Río Sonso. Informe C.V.C. No. 71-4; Informe INGEOMINAS No. 1568. Cali.
- Aspden J.A. (1984). The Geology of the Western Cordillera and Pacific Coastal Plain in the Department of Valle del Cauca (sheets 261, 278, 279, 280 and 299). Informe No. 1959. Ingeominas. Bogotá.
- Auteco – Ingeominas . Misión Belga. (1963). Cauca Valley Coal Survey, p. 693.
- Bermúdez, A., Garzón, M., Evans, R. Aucott, J., (1985). Estudio Gravimétrico del Valle del Río Cauca, Departamento del Valle. Ingeominas Informe No. 1944. Bogotá.
- Castany. G. (1975). Prospección y Explotación de Aguas Subterráneas. Ed. Omega, S.A., Barcelona.
- DAPM (1998). Zonificación de Amenazas Naturales e Identificación de Alternativas para la Reducción del Riesgo en la Porción Nororiental de la Comuna 1 y en 7 Corregimientos Occidentales del Municipio Santiago de Cali. Consultor: SAYA Ltda. Inédito.
- Höltling B. (1996). Hydrogeologie. Enke Verlag. Stuttgart. Germany.
- Miall A.D. (1996), The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer, Berlin Heidelberg. Italy.
- OSSO (1996) para Alcaldía de Santiago de Cali. Plan para la Mitigación de Riesgos en Cali –(A. Velasquez – OSSO, editor). Feriva. Cali.
- SAF - Tenjo, S. (1999) para DAGMA. Control Ambiental y Uso del Agua Subterránea y Acuíferos del Área urbana del Municipio de Cali. Inédito.
- Tenjo, S. (1988). Aprovechamiento del Agua Subterránea en el Valle Geográfico del Alto Cauca y su Manejo -1973 - 1988. III Simposio Colombiano de Hidrogeología. Bogotá-Diciembre 5 al 7 de 1988.
- Woodward – Clyde Consultants. Seismic Hazard Evaluation, Calima III Project Colombia. Cali. 1983.

Tabla de Contenido

1. Introducción:	1
2. Hidrogeología:	1
3. Geomorfología:	2
4. Geología Estructural:	3
5. Metodología:	4
6. Datos:	4
6.1 Niveles Potenciométricos:	4
6.2 Análisis y selección de datos:	5
7. Morfología de la superficie potenciométrica:	6
7.1 Variación histórica de los niveles potenciométricos.....	6
7.2 Movimiento de las aguas subterráneas.....	7
7.3 Anomalías.....	8
8. Hipótesis:	8
9. Recomendaciones:	9
Agradecimientos:	10
Referencias Bibliográficas:	11
Tabla de Contenido:	12

Lista de Figuras

Figura 1. Localización

Mapa 1. Drenajes y cuerpos de agua existentes en 1943 y 1957.

Mapa 2. Conos aluviales y llanura de inundación del río Cauca.

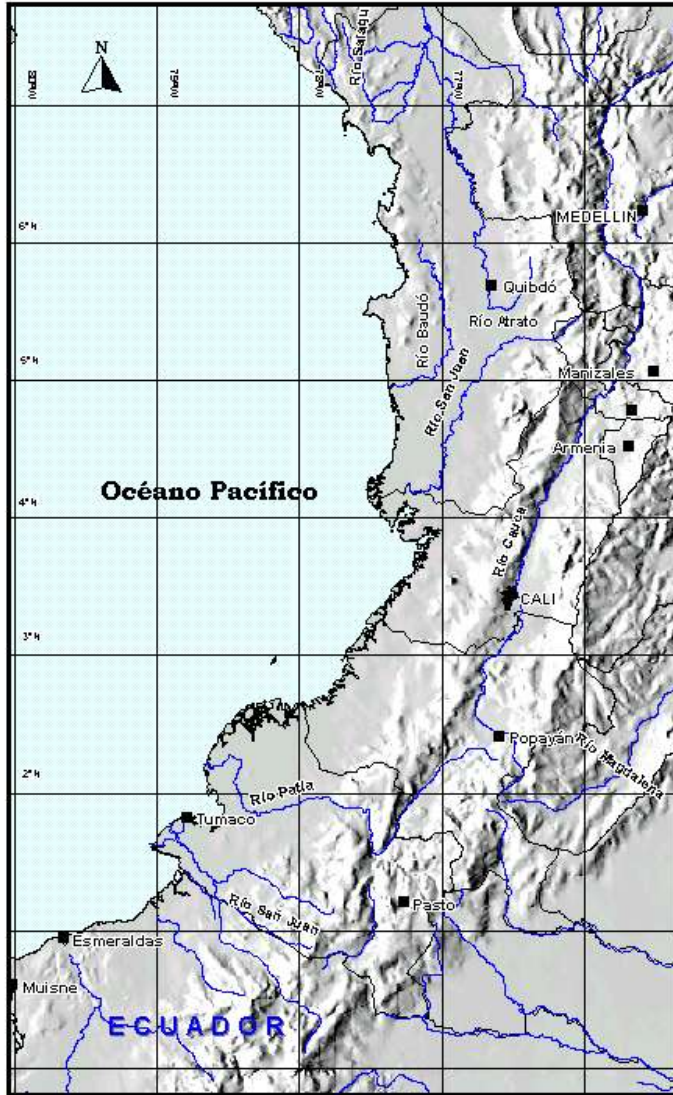
Mapa 3. Superficie potenciométrica y líneas de flujo, Octubre de 1983.

Mapa 4. Superficie potenciométrica y líneas de flujo, Mayo de 1984.

Mapa 5. Superficie potenciométrica y líneas de flujo, Agosto de 1999.

Mapa 6. Superficie potenciométrica y líneas de flujo, Junio de 1999.

**EVALUACIÓN DE LOS REGISTROS POTENCIOMÉTRICOS
DEL ACUÍFERO EN CALI - COLOMBIA -**



Escala 1:5.000.000

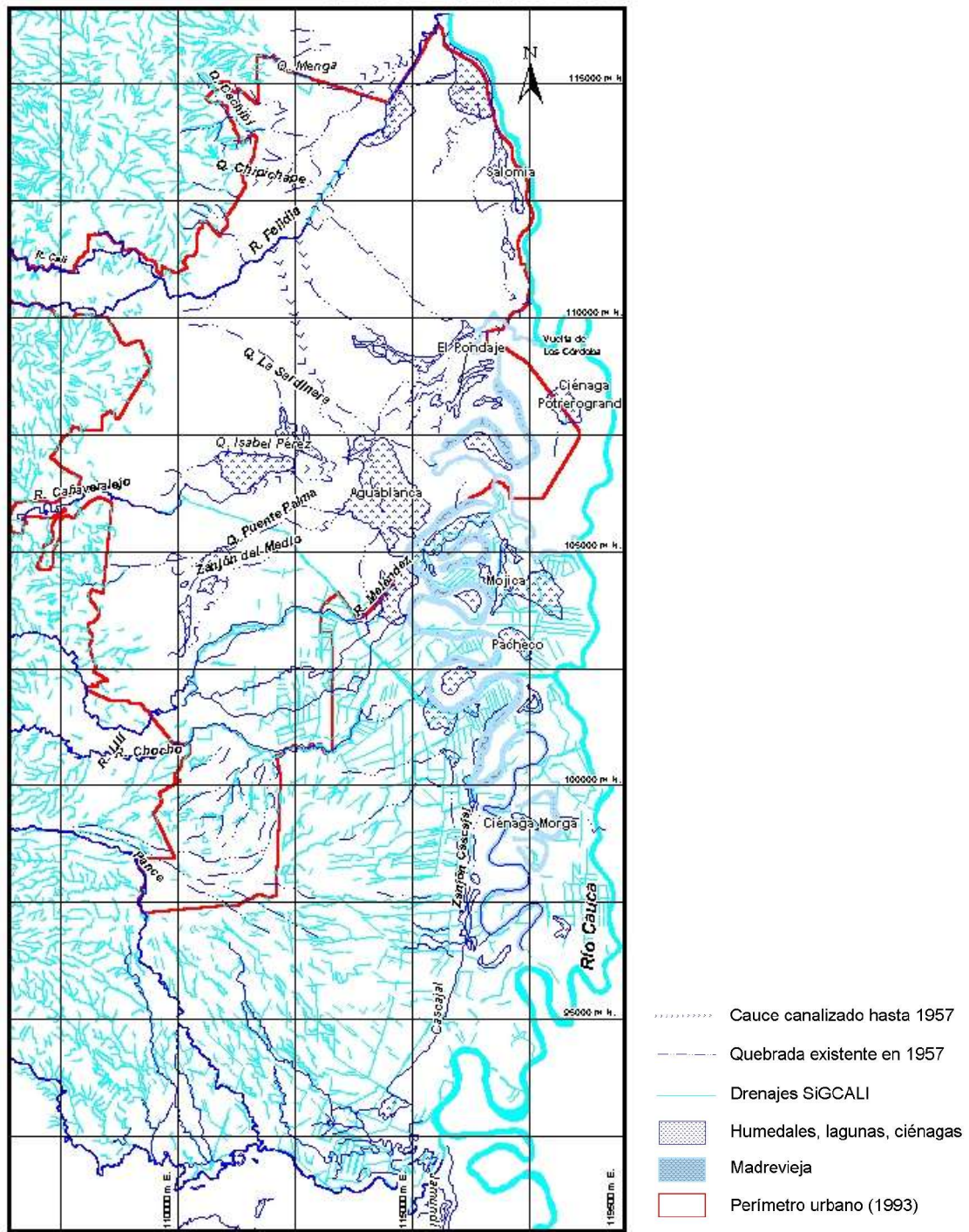
Figura 1. Localización

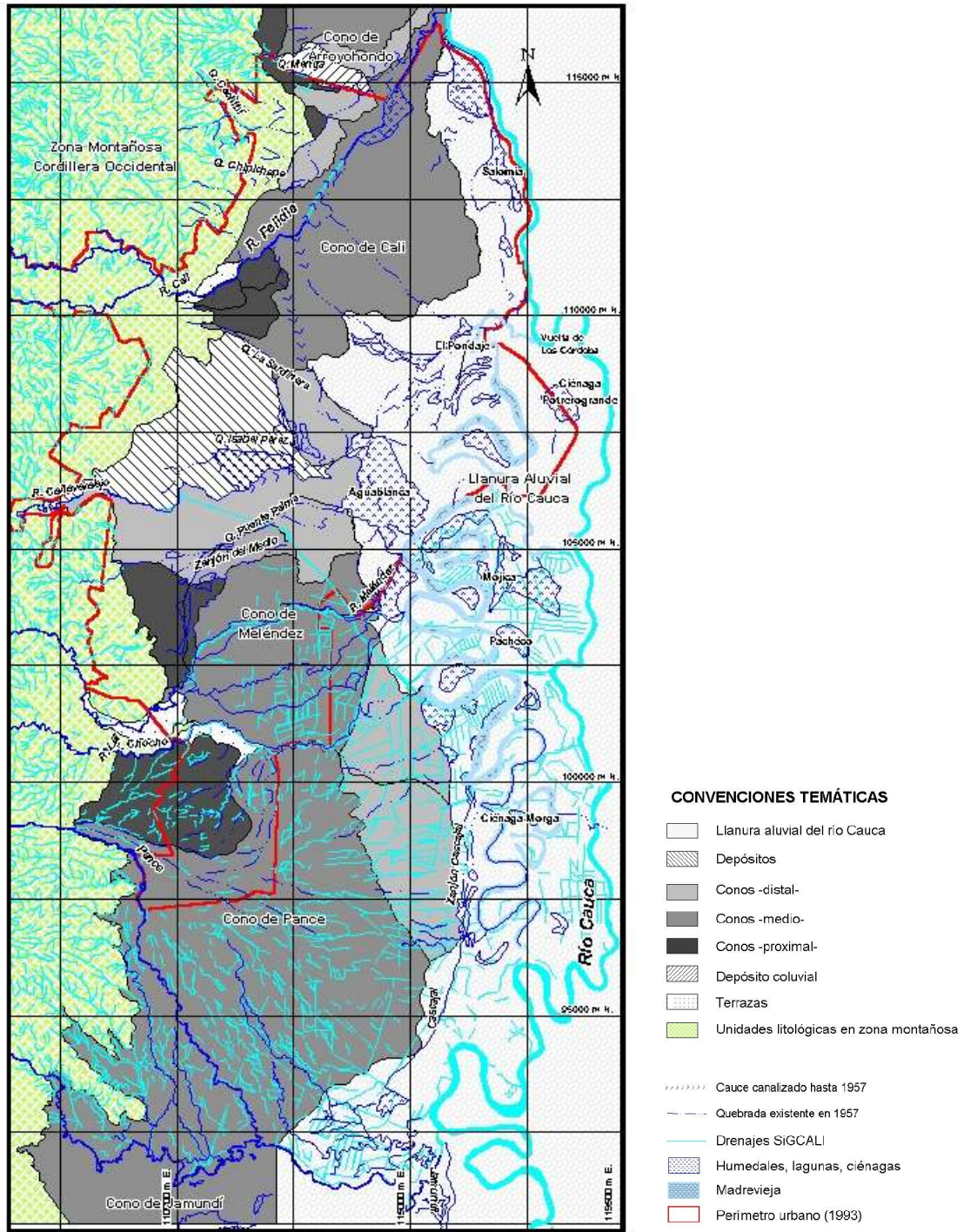
Observatorio Sismológico
del Suroccidente - OSSO



Technische Universität Berlin

Cali, Junio de 2000





Mapa 2. Conos aluviales y llanura de inundación del río Cauca