

# Modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile y su relación con la hidrogeología

Manuel Araneda C.\*  
María Soledad Avendaño R.\*  
Gerardo Díaz Del Río\*\*

## Abstract

A gravity model of the Santiago Basin in Chile, controlled with data from 2,100 gravity stations measured between 1974 and 1990, indicated an irregular basement morphology composed of depressions and topographic highs, including depressions with depths greater than 500m. The most important are those observed in the sectors of Rinconada Lo Aguirre, Pudahuel, Santiago Oriente, the area between Cerro Chena and Isla de Maipo. These depressions are bounded by basement ridges with depths reaching between 50 and 150m approximately. The most important of these are associated with the lineament Cerro Trincado – Cerro Limpangue – Cerro de Lo Castro – Cerro Renca – Cerro Manquehue in the northern sector and Cerro Puntilla del Viento – Cerro Chena – Cerro Negro – Cerro Cordón Los Ratones in the southern sector.

Data processed from 1,915 exploration and exploitation boreholes for ground water, together with the analysis of the basement morphology show that the underground confined water volume reaches 31,000 million m<sup>2</sup>, considering a conservative storage coefficient of  $S = 10\%$ . In addition to the static level and the morphology of the basement, the thickness of the saturated aquifer was calculated. The major saturated thicknesses are found in the areas of major basement depressions determined in this study.

Key words: *Gravity, Santiago Basin, Underground Morphology, Hidrogeology.*

## Resumen

El modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile, fue obtenido sobre la base del procesamiento de 2,100 estaciones de gravedad homogéneas, medidas durante

\* SEGMI, correo electrónico: [segmi@netexpress.cl](mailto:segmi@netexpress.cl)

\*\* INGEDIOS, correo electrónico: [ingedos@ingedos.cl](mailto:ingedos@ingedos.cl)

los años 1974 al 1990. La morfología subterránea del basamento es irregular, compuesta por depresiones y altos topográficos, incluyendo depresiones con profundidades mayores de 500 metros. Las más significativas son aquellas que se observan en los sectores de Rinconada Lo Aguirre, Pudahuel, Santiago Oriente, área entre el Cerro Lonquén y Cerro Chena e Isla de Maipo. Estas depresiones están limitadas por dorsales del basamento que alcanzan profundidades entre 50 y 150 metros aproximadamente. Las más importantes de éstas son aquellas que se encuentran en el lineamiento, Cerro Trincado - Cerro Lipangue - Cerro de Lo Castro - Cerro Renca - Cerro Manquehue en el sector norte y Cerro Puntilla del Viento - Cerro Chena - Cerro Negro - Cerro Cordón Los Ratones en el sector sur.

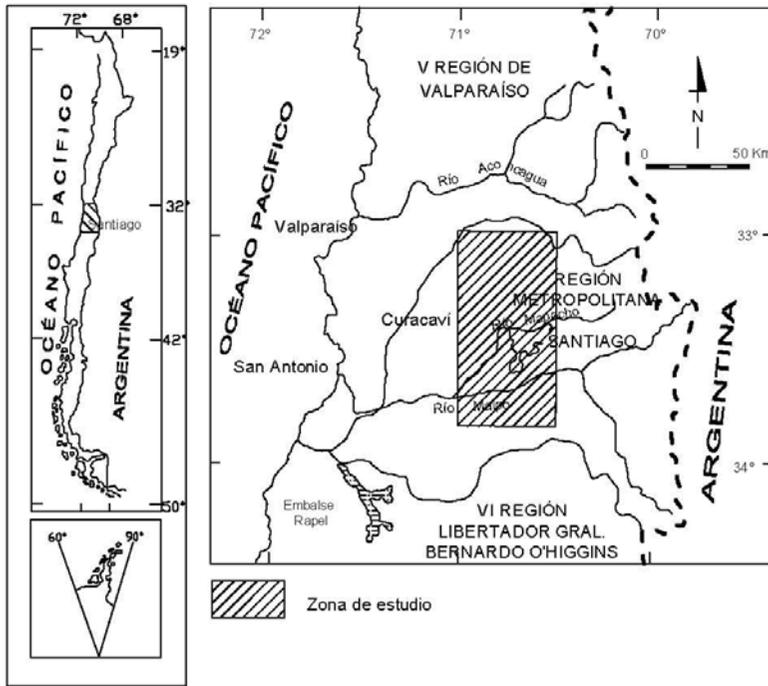
Sobre la base de 1,915 sondajes de exploración y explotación para aguas subterráneas y de la morfología encontrada en el basamento subterráneo, se calculó el volumen de aguas subterráneas embalsadas en 31,000 millones de m<sup>3</sup> aproximadamente. El coeficiente de almacenamiento utilizado de S=10%, puede considerarse como el más conservador. Adicionalmente con el nivel estático y la morfología del basamento se calculó el espesor del acuífero saturado. Las potencias mayores saturadas concuerdan con aquellas zonas de depresiones mayores determinadas en este estudio.

Palabras claves: *gravidad, cuenca de Santiago, morfología subterránea, hidrogeología.*

### **Marco geomorfológico y geológico**

La cuenca de Santiago se encuentra ubicada entre las latitudes 33°10'S - 33°51'S y longitudes 70°28'O - 71°05'O, Figura 1, ocupando parte de la Depresión Intermedia o Valle Central de Chile. La cuenca presenta un extenso depósito de sedimentos Cuaternarios con forma aproximadamente elíptica, cuyo eje mayor tiene orientación Norte-Sur con un área cercana a 2,440km<sup>2</sup>.

En ella se encuentran insertos cerros islas de carácter volcánico y granítico que ocupan un área aproximada de 110km<sup>2</sup>. Brügggen (1950) y Thiele (1980) indican que la cuenca corresponde a un graben limitado por fallas normales al Este y Oeste. Farias *et al.* (2006) postula que la Depresión Intermedia no puede ser atribuida solamente a procesos tectónicos, sino que gran parte fue generada por el desarrollo de un drenaje lateral. Fallas secundarias habrían originado varias rinconadas al interior de la cuenca principal, tales como La Dehesa, Conchalí, Lo Aguirre y otras. Resultados de investigaciones a cerca de la neotectónica de la Depresión Intermedia (Lavenu *et al.*, 1994) permiten evidenciar deformaciones del tipo compresivo en depósitos Pleistocenos cercanos a la ciudad de Santiago, en la parte superior del río Maipo.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la zona de estudio la cual cubre la parte central de la hoya hidrográfica del río Maipo, Región Metropolitana, Chile.

La cuenca de Santiago se ubica en la Hoya Hidrográfica del río Maipo que se extiende entre el límite con Argentina y el océano Pacífico. Esta Hoya Hidrográfica está compuesta por otras menores, tales como Maipo Superior, Mapocho, Colina, Lampa, Angostura, Maipo Inferior y Depresión Intermedia.

Las unidades geológicas expuestas de la cuenca de Santiago, Figura 2 y Figura 2a se pueden agrupar en tres zonas:

- a) Zona oriental, correspondiente por la Cordillera de los Andes, está constituida principalmente por rocas estratificadas de origen volcánico y sedimentario marino y continental del Mesozoico y Cenozoico las que se encuentran plegadas y falladas, preferentemente en sistemas de rumbo Norte-Sur. Estas rocas estratificadas están intruidas por plutones granodioríticos del Terciario Superior.
- b) Zona de la Depresión Intermedia constituida principalmente por sedimentos de edad Cuaternaria y cerros islas de composición volcánica y granítica de edad Terciaria. Los depósitos sedimentarios de la Depresión Intermedia incluyen se-

gún Varela (1993), Figura 2a: cenizas riolíticas, depósitos de abanico, aluviones, depósitos fluviales, depósitos coluviales, conos de deyección, depósitos lacustres y depósitos de remoción de masa. La secuencia del relleno sedimentario depositado en la cuenca de Santiago comprende: depósitos de sedimentos fluviales, laháricos, coluviales y lacustres que alcanzan potencias mayores de 500 metros en algunos sectores. Entre estos rellenos se distinguen depósitos de origen volcánico constituidos por cenizas vítreas de colores claros, que afloran actualmente en el sector oriental y en el margen occidental de la cuenca. Se asocian a eventos volcánicos relacionados a erupciones explosivas ácidas ocurridas durante el Cuaternario medio en la Cordillera de los Andes. Posteriormente ocurrió un periodo de erosión reduciendo los espesores de los depósitos, en especial los de composición cinerítica, hasta hacerlos desaparecer en algunos sectores. Después de esta fase erosiva se inició la depositación de la unidad sedimentaria superior que incluye los depósitos de los abanicos aluviales asociados a los ríos Maipo, Mapocho y a los esteros Colina, Lampa y Angostura, cuya edad corresponde al Cuaternario Medio o Superior al Holoceno, siendo el abanico aluvial del Maipo el más significativo, ya que cubre un 50% de la superficie de la cuenca y está conformado por sedimentos tipo gravas y gravas arenosas fluviales con intercalaciones de depósitos laháricos. Las potencias evidenciadas alcanzan 150 metros. (Emparan, 1966 y Varela, 1991). El abanico del río Mapocho está constituido por gravas y gravas arenosas fluviales.

El abanico del estero Angostura, por el sur, está constituido por sedimentos tipo gravas y arenas fluviales que engranan con los depósitos del abanico del Maipo.

El abanico del estero Lampa al norte de la cuenca está constituido por sedimentos provenientes de la erosión de la cordillera de la costa, lo que lo diferencia de los abanicos antes descritos. Su granulometría es tipo arenas medias a gruesas con algunos niveles de gravas en el sector apical, las que gradan a arenas medias en el sector distal.

En algunos sectores estos depósitos se encuentran sobreyaciendo a las pumicitas del sector occidental. El abanico del estero Colina también en la zona norte de la cuenca, está constituido por gravas y arenas gruesas de origen fluvial las que gradan a arenas medias a gruesas en los sectores más distales. Allí estos depósitos engranan con los provenientes del abanico del estero Lampa.

En el margen occidental de la cuenca afloran sedimentos de origen lacustre generados por lagunas desarrolladas durante el último periodo glacial. Estos depósitos corresponden a limos y arcillas con estratificación fina cubriendo los sectores de Batuco y Pudahuel. También, se encuentran en las rinconadas de Lampa, Lipangue, Lo Aguirre y Aculeo, donde alcanzan espesores cercanos a 40 metros.



DEPOSITO DE RELLENO		DEPOSITO DE RELLENO	
Qc	DEPOSITOS COLUVIALES Y CONOS DE DEYECCIÓN. Gravos mal seleccionados y diamictos.	QaA	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO LA ÑIPA. Gravos arenosos y arenas.
Qm	DEPOSITOS DE REMOCIÓN EN MASA: Diamictos y bloques de rocas removidos.	Qam	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO MAPOCHO. Gravos arenosos y arenas con intercalaciones de corrientes de barro.
Qt	DEPOSITOS FLUVIALES ACTUALES. Gravos arenosos y arenas de los cursos actuales de los ríos. En la zona litoral esta unidad incluye además depósitos fluviales subactuales (Qfs) y antiguos.	1	DEPOSITO DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO MAIPO. Sector 1: Gravos arenosos, avalanchas volcánicas y flujos piroclásticos. Sector 2: Gravos arenosos y arenas con flujo de barro y avalanchas volcánicas. Sector 3: Gravos arenosos con flujo de barro y avalanchas volcánicas.
Qts	DEPOSITOS FLUVIALES SUBACTUALES. Gravos arenosos y arenas de terrazas bajas laterales de los ríos.	Qam1 2 3	
Qfta	DEPOSITOS FLUVIALES ANTIGUOS. Gravos arenosos y arenas de terrazas medias y altas de los ríos.	QaCl	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO CLARILLO. Gravos arenosos-arcillosos y arenas.
Qi	DEPOSITOS LACUSTRES. Limos y arcillas laminadas a masivas en cuencas mal drenadas.	Qac	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ESCORIAL. Gravos arenosos y coluvios.
Qal	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO LAMPA. Arenas derivadas de macizas graníticas lavadas.	Qaab	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ABRANTES. Gravos arenosos y coluvios.
A	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO COLINA. Sector A: Gravos arenosos. Sector B: Arenas. Sector C: Limoarcillas.	Qaa	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ANGOSTURA. Gravos arenosos y arenas.
Qao B C		Qcp	DEPOSITOS DE GENZAS PUMIGITICAS. Genza ríjida con piedras pómez producida por flujo piroclástico (450 000 años Ap.).
ROCAS FUNDAMENTALES		ROCAS FUNDAMENTALES	
MT	ROCAS ESTRATIFICADAS VOLCÁNICAS Y SEDIMENTARIAS MESOZOICAS A TERCIARIAS. Lavas, tobas y brechas andesíticas o ríolíticas y lutitas, conglomeraos, areniscas y calizas.	Pg	CUERPOS INTRUSIVOS PALEOZOICOS. Tonalitas, adamantitas, granodioritas.
Kg	CUERPOS INTRUSIVOS PLUTONICOS MESOZOICOS A TERCIARIOS. Granodioritas, tonalitas y adamantitas, andesitas y piroxenos, anfíbolitas y pórfidos andesíticos y dacíticos.		

**Figura 2a.** Leyenda de mapa geológico de parte de la zona Metropolitana de Chile, el cual muestra principalmente la distribución del relleno sedimentario de acuerdo a su origen y en forma simplificada la distribución de las rocas fundamentales.

En el flanco oriental de la cuenca se desarrollaron, desde el Cuaternario superior al Holoceno, pequeños conos de deyección asociados a las quebradas de Lo Cañas, Macul, San Ramón, Apoquindo y Wall *et al.* (1999). La superposición de estos conos conforma una franja continua a lo largo de la falda de la Cordillera de los Andes. Su composición es muy heterogénea encontrando sedimentos tipo arcillas, limos, arenas y gravas en proporciones similares. En el mismo margen oriental existen algunos depósitos secundarios asociados a eventos de remoción en masa. Los más conocidos se ubican en el sector de la Loma Los Baños, Cerro Apoquindo y margen izquierdo de la quebrada de Macul.

- c) Zona Occidental corresponde a la cordillera de la costa, la cual está compuesta principalmente por rocas graníticas de edad Paleozoica superior y Mesozoica, con algunos afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias de edad Cretácica. Estas rocas han sido afectadas por fallas de rumbo nor-este. La interperización y meteorización han generado una cobertura detrítica sobre las rocas graníticas que alcanzan en algunos casos espesores significativos.

**Antecedentes hidrogeológicos**

La cuenca de Santiago forma parte de la cuenca hidrográfica del río Maipo. Esta posee sus nacientes en la Cordillera de los Andes, en la divisoria de aguas en el límite con Argentina y se extiende hacia el Oeste hasta evacuar sus aguas en el océano Pacífico, en el sector de Santo Domingo, V Región. Dado la gran extensión

que cubre, ésta se puede subdividir en tres tramos: Maipo Superior, Maipo Intermedio y Maipo Inferior. La cuenca de Santiago pertenece a la cuenca del Maipo Intermedio y, a su vez se puede subdividir en 5 subcuencas: río Mapocho, del estero Lampa, estero Angostura, estero Colina y la cuenca del Maipo propiamente tal.

Debido a su extensión y variado origen de los sedimentos la cuenca de Santiago presentan un sistema hidrogeológico complejo y heterogéneo, solamente 12 pozos alcanzaron la roca basal, siendo los más profundos aquellos ubicados en el sector de Pudahuel 6/381m, 2/349m y 1/377m; Falcon *et al.*, 1970.

El sistema hidrogeológico del sector alto del río Mapocho, entre Lo Barnechea y el Cerro San Cristóbal, está constituido por un acuífero freático superior formado por sedimentos tipo bolones, gravas y arenas inmersos en una matriz arcillo-limosa, cuya potencia es cercana a los 30 metros. Hacia la base los sedimentos gruesos disminuyen y aumenta los contenidos de arcillas. De este modo se tiene una alternancia de sedimentos permeables e impermeables cuya potencia es del orden de 150 metros. Las transmisividades (T) son del orden de  $500\text{m}^2/\text{día}$ . Al norte del río Mapocho, entre el Cerro San Cristóbal y el Cerro Renca ocurre un acuífero compuesto de gravas y arenas con escaso contenido de finos cuya potencia alcanza cerca de 200 metros aproximadamente y cuya transmisividad (T) es del orden de  $700\text{--}1,000\text{m}^2/\text{día}$  (IPLA, 1984). Hacia el sector de Huechuraba, la influencia del río Mapocho es menor ya que esta zona queda protegida de la influencia directa del río por el Cerro San Cristóbal, de modo que en esa zona aparecen niveles de material relativamente más finos, otorgándole al acuífero cualidades de semiconfinamiento a confinamiento. Avanzando por el río Mapocho, hacia el sector de Maipú, se detecta la presencia de algunos niveles de ceniza volcánica, que actúa como acuífero en forma local. Los acuíferos inferiores constituidos por gravas y arenas aparecen indistintamente confinados y libres a diferentes profundidades y con espesores variables. Entre la localidad de Maipú y Talagante, y aparece un acuífero donde predominan los materiales tipo gravas y arenas con escaso a nulo contenido de finos, de modo que conforma un excelente acuífero libre, cuya potencia alcanza los 200 metros. La transmisividad (T) máxima alcanzada es de  $15,000\text{m}^2/\text{día}$ , evidenciando el enorme potencial de este acuífero (IPLA, 1984).

El sector central de la cuenca de Santiago, incluye un acuífero de favorables cualidades, compuesto de gravas y arenas con escaso contenido de finos, que pueden alcanzar potencias de hasta 250 metros en el sector de San Bernardo. El sector oriente, en los faldeos de la cordillera, se ha detectado transmisividades (T) de  $1,000\text{m}^2/\text{día}$ . Entre el cerro Lonquén y la confluencia entre el río Mapocho y Maipo se encuentra un acuífero freático compuesto de gravas, arenas y en parte bolones. Hacia el río Mapocho se intercalan niveles arcillosos que hacen perder el carácter freático de las napas.

Hacia el norte de la cuenca, el estero Colina posee un sistema hidrogeológico constituido por alternancia de sedimentos finos y gruesos, generando varios niveles de acuíferos de carácter confinado ( $T=800\text{m}^2/\text{día}$ ). En el sector de Batuco predominan los sedimentos finos, con algunos lentes de material grueso, de modo que existe un grado importante de confinamiento ( $T=100\text{m}^2/\text{día}$ ). La potencia alcanza los 300 metros. El sector de confluencia entre el estero Lampa y el Río Mapocho, existe una sucesión de acuíferos intercalados entre niveles arcillosos; incluso se ha detectado pozos artesianos en el área.

Con respecto al coeficiente de almacenamiento se estima que en el sector alto del Mapocho es del orden de 0.05; en el sector norte del Mapocho es de 0.002, en el sector de confluencia entre Maipo y Mapocho puede alcanzar valores de 0.15 a 0.2, en el sector sur del río Mapocho, es decir Santiago, es de 0.1, el sector de Batuco 0.0005 a 0.001, en el sector de Aculeo 0.005 (IPLA, 1984). Con relación al comportamiento general de los niveles del sector norte de la cuenca, se aprecian fluctuaciones cíclicas en las que los ascensos de niveles ocurren en el periodo comprendido entre diciembre y mayo, adelantándose ocasionalmente por el efecto de crecidas de invierno y/o verano, que al recargar directamente la napa permiten una respuesta más rápida de los niveles.

En el sector sur del río Mapocho, los niveles son menos profundos, de modo que las fluctuaciones son de menor amplitud. En los sectores cercanos al río Maipo, hasta el Cerro Lonquén, las fluctuaciones son máximas y se evidencian claramente los periodos secos y húmedos. Desde allí hacia aguas abajo la superficie equipotencial tiende a aflorar, de modo que las fluctuaciones disminuyen. La recarga al acuífero ocurre principalmente por la infiltración de los cauces superficiales y por las zonas de depósitos coluviales en los márgenes oriente y poniente, que permiten la infiltración de las precipitaciones. La ciudad de Santiago y sus áreas urbanizadas (hormigón) actúan como capa impermeable que no permite la percolación de las aguas lluvias. Éstas escurren hasta ser evacuadas en los cauces naturales del río Mapocho y Maipo.

En el sector de Colina, Batuco y Lampa la recarga de los acuíferos profundos ocurre en las partes más altas, zona apical de los conos aluviales, donde la granulometría de los sedimentos es más bien gruesa y permite la infiltración. Las aguas que precipitan sobre estos sectores, no logran infiltrar debido a la presencia de estratos de material arcilloso impermeable.

El movimiento de las aguas subterráneas es predominantemente de Norte a Sur y de Este a Oeste, dirección establecida por las aguas superficiales.

### **Antecedentes geofísicos de la cuenca de Santiago**

Son muchos y variados los métodos geofísicos que han sido utilizados en forma parcial para definir la forma del basamento de la cuenca de Santiago. De ellos podemos citar los estudios gravimétricos realizados por Kausel (1959), Dragicevic (1982), Araneda y Avendaño (1988), Avendaño y Araneda (1994), Ayala y Cabrera

(1999), Araneda, Avendaño, Merlo (2000). Además estudios sísmicos realizados por Dragicevic y Meinardus (1962), Urzúa (1974) y estudios geoelectricos de Meinardus y Rivera (1967) y Sánchez (1975). Estudios adicionales de gravedad en la cuenca de Santiago han sido realizados desde 1992. De ellos se pueden citar: Bravo (1992), López (1992), Bluhm (1996), Toledo (1996) y Merlo (2003).

Para calibrar el modelo gravimétrico se ha considerado aquella información aportada por los sondeos para la exploración de aguas subterráneas e investigaciones del subsuelo de la cuenca (Ayala y Cabrera, 1999; Falcon, 1970; Emparam, 1966).

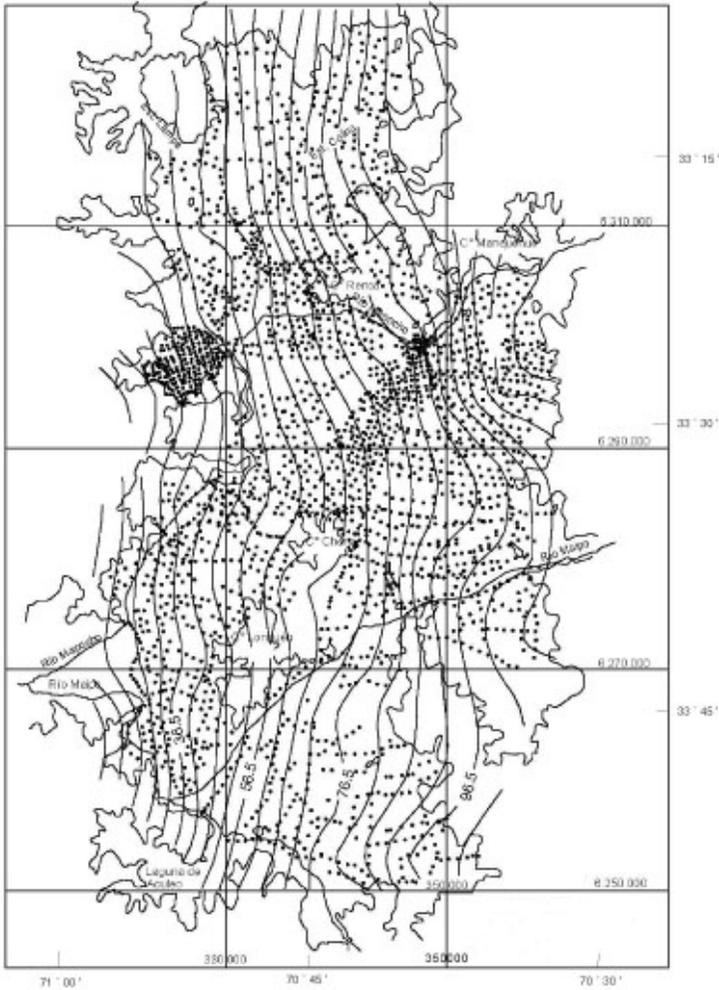
### **Metodología utilizada**

El método gravimétrico utilizado en esta investigación es ampliamente conocido por su capacidad de resolver problemas asociados a variaciones de la densidad de las formaciones geológicas y por su rapidez de ejecución. Es importante destacar que la información obtenida se puede considerar como una base homogénea de datos ya que fueron resultados obtenidos solamente a través de instrumentos La-Coste & Romberg, modelo G. Estos instrumentos tienen una baja deriva, 1mGal/mes, la cual fue considerada lineal. La base utilizada para el levantamiento corresponde a aquella ubicada en el Departamento de Geofísica (SCL GEOPH, Avendaño y Araneda, 1993), y que pertenece a la Red Nacional de Gravedad de Chile, ligada a la Red Internacional Estandarizada de Gravedad 1971 (IGSN 71). Los parámetros de la estación SCL GEOPH son latitud 33°27'10" S, longitud 70°39'50" O, elevación 523 metros (n.m.m.) y gravedad 979,414.70mGales.

La mayor parte de las estaciones de gravedad (Figura 3) fueron ubicadas a lo largo de caminos, cruces de calles o puntos singulares, como pilares de líneas de nivelación del Instituto Geográfico Militar (IGM). Las distancias entre las estaciones tienen un intervalo entre 500 a 1,000 metros, las cuales fueron controladas mediante el odómetro del vehículo y fueron replanteadas de acuerdo al avance de las campañas, en las cartas 1:50,000 y 1:25,000 del IGM. Posteriormente en la etapa final las estaciones fueron establecidas mediante el sistema GPS para las coordenadas horizontales.

La ubicación de las estaciones quedó determinada con una precisión aproximada de 25 metros en coordenadas horizontales. Para minimizar el error de cota, el tiempo de los circuitos con altímetro no fue superior a 3 horas. Las alturas fueron medidas mediante altímetros Wallace & Tiernan con un rango de alturas de 5,000 metros. Para el control de las alturas fueron considerados pilares de las líneas de nivelación del IGM, 14E, 15E, 16E, y 17E en la Región Metropolitana. Adicionalmente se consideraron pilares de nivelación de líneas 1E, 2E, 9E y puntos singulares que tuviesen alturas referidas al nivel medio del mar. Además se efectuaron correcciones por presión y temperatura obteniéndose una precisión de  $\pm 3$  metros en las cotas de las estaciones en algunos casos. La deriva instrumental no fue superior

a 0.07mGal. Usando la metodología descrita los autores estiman que el error total en la Anomalía de Bouguer sería de alrededor de 0.3mGal por estación.



**Figura 3.** Plano de la distribución de las estaciones (puntos negros) de gravedad en la región de estudio, anomalía de Bouguer cada 5mGal y contorno de la roca basal de la cuenca de Santiago.

Para obtener la Anomalía de Bouguer, Figura 3 se tomaron las siguientes consideraciones: densidad media de los sedimentos  $2.1\text{gr}/\text{cm}^3$  y densidad media de la roca  $2.6\text{gr}/\text{cm}^3$ .

Los valores de las reducciones fueron los siguientes: Latitud  $C_1=0.7476$  mGal/km, Altura  $C_h=0.3086$  mGal/m, Bouguer  $C_b=0.0210$ mGal/m y Topográfica  $C_T=2.6\text{gr/cm}^3$ , para este efecto se usó el programa DvGrav, Beta Version 0.7, May 2006 autor Sabine Schmidt de CAU Kiel.

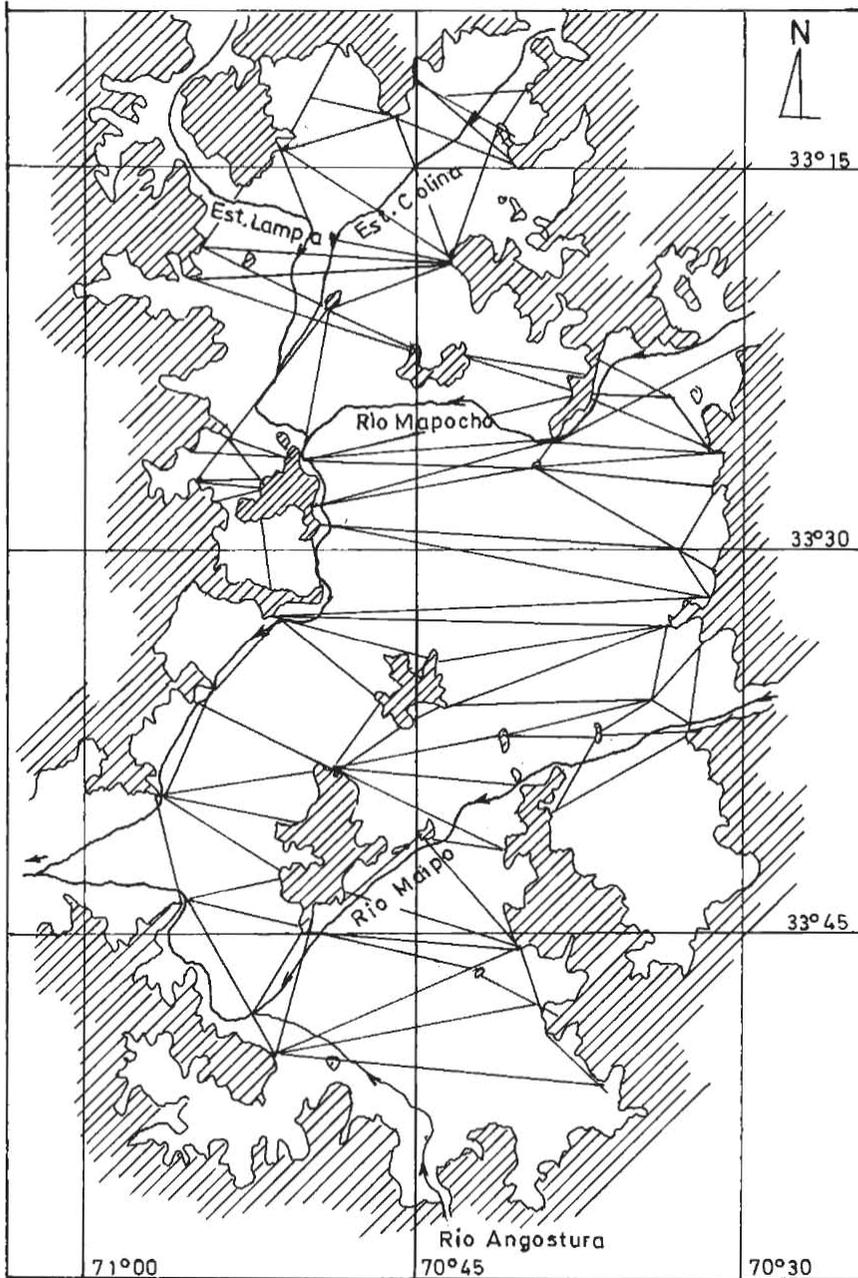
## Interpretación

Normalmente para obtener el regional se utilizan regionales analíticos de primer orden o más, en este caso no pudo ser cuantificado mediante el método descrito por la gran complejidad geológica que presenta la Cordillera de los Andes y de la costa. Debido a ello se utilizó el método bidimensional (Araneda, Avendaño, Merlo, 2000), el cual se basa en planos formados por triángulos definidos por gradientes regionales de primer orden cuyos vértices están ligados a afloramientos de rocas. Con este método se definieron 69 planos para obtener el regional de la cuenca de Santiago, Figura 4, el cual fue sustraído a la anomalía de Bouguer para finalmente obtener el residual correspondiente para la cuenca. En este proceso se usó un contraste de densidad uniforme entre la roca y los sedimentos cuyo valor fue  $0.5\text{gr/cm}^3$ .

El modelo isobático obtenido de la cuenca de Santiago, Figura 5 muestra que los rasgos morfológicos principales son dos dorsales cuyas direcciones aproximadas son NO-SE, la ubicada al Norte tiene como centro el C°Renca y la segunda ubicada al Sur tiene como centro el C° Chena. Se destaca así mismo pequeñas subcuencas con profundidades entre 350 y 500 metros en los sectores de Rinconada Lo Aguirre, Pudahuel, Santiago Oriente entre el C°Lonquen y C°Chena sector Isla de Maipo.

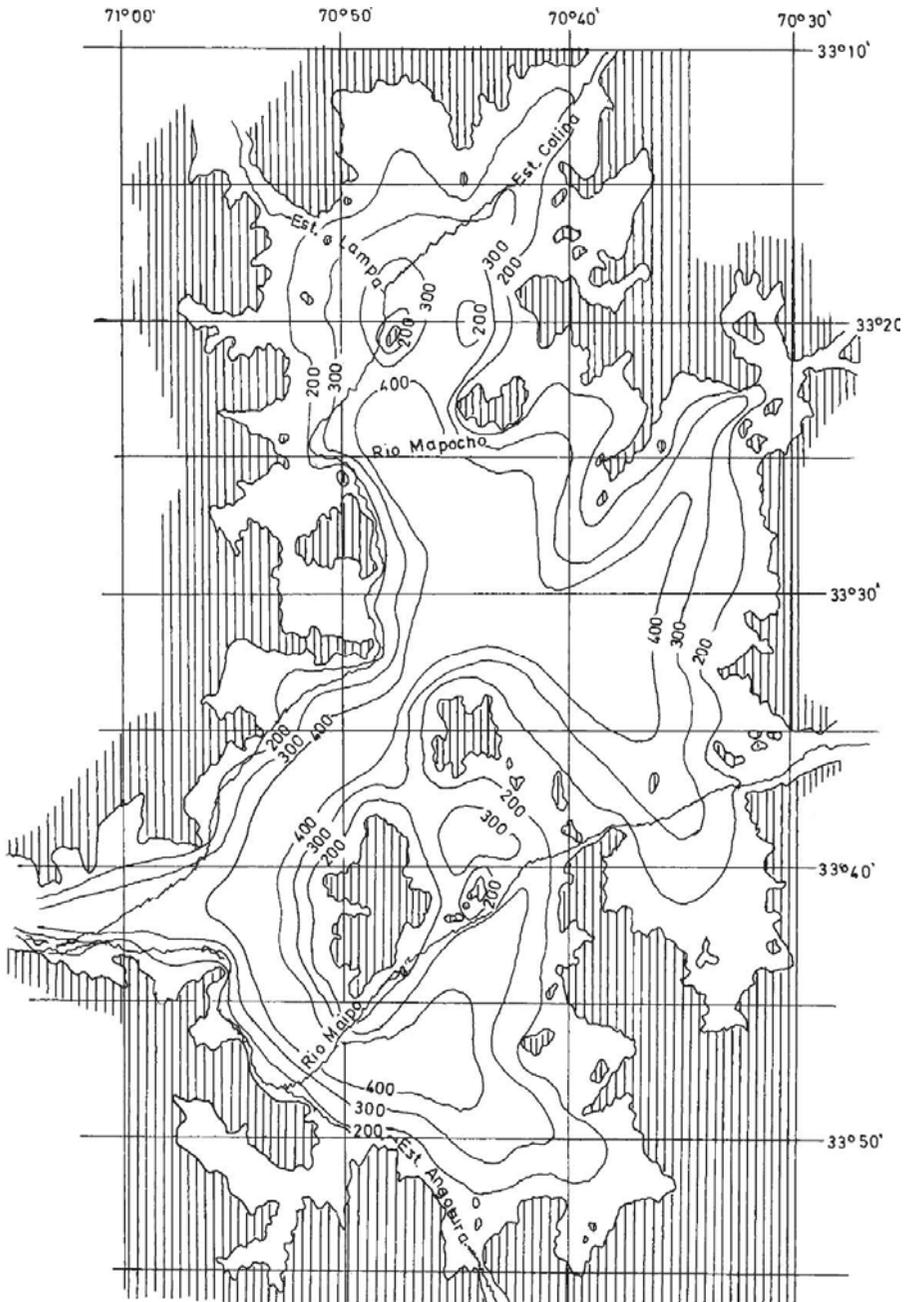
La morfología del basamento de la cuenca muestra una configuración compartimentalizada de subcuencas y altos topográficos relativos, estos incluyen dos lineamientos importantes asociados a altos en el basamento y cerros islas que emergen del relleno. Ellos son el Cerro Trincado, Cerro Lipangue, Cerro de Lo Castro, Cerro de Renca y Cerro Manquehue en la zona norte y Cerro Punta del Viento, Cerro Chena, Cerro Negro, Cerro Cordón Los Ratones, en la parte sur. Ambos lineamientos tienen orientación noroeste-sureste. La potencia sedimentaria sobre estos alcanza aproximadamente 180 metros. Adicionalmente existen otros altos en el basamento en que la potencia sedimentaria sobre ellos alcanza 150 metros como se observa entre el Cerro Lonquen - Cerro Tralcado y Cerro Lonquen - Cerro Lo Herrera y Cerros de cordón Los Ratones.

La morfología del basamento determinada en este estudio difiere de aquella propuesta por (Falcon *et al.*, 1970). Para tener una idea de las diferencias que presentan los modelos determinados, la Figura 6 muestra el modelo de Falcon *et al.*, 1970.



**Figura 4.** Planos considerados para determinar el regional en cada sector mediante planos triangulares.

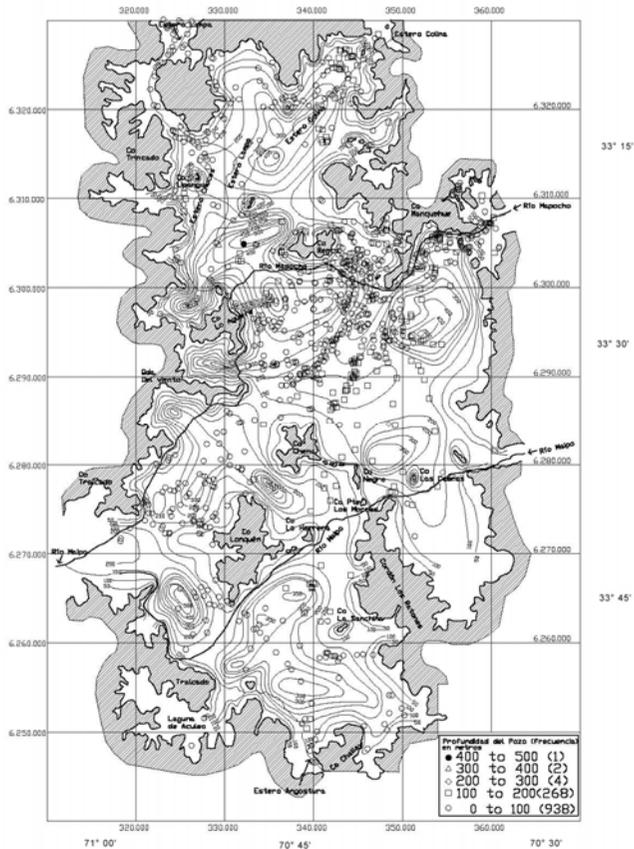




**Figura 6.** Modelo del basamento determinado por Falcon *et al.*, 1970, curvas de nivel cada 100 metros referidas a la superficie.

### Relaciones con la Hidrogeológica

En la modelación hidrogeológica simplificada se consideraron los ríos principales que atraviesan la cuenca de Santiago, Maipo y Mapocho así como sus afluentes principales los esteros Colina, Lampa y Angostura. Además fueron considerados 1915 pozos con sus niveles isostáticos. Ayala y Cabrera 1999, Figura 7. De la misma forma se analizaron los diferentes tipos de suelos en forma aproximada para determinar los coeficientes de escurrimiento. Con esta información se observó que el agua subterránea menos profunda se encuentra hacia el noreste. El acuífero ubicado en el centro-oriente de la cuenca posee niveles estáticos entre 128 a 256 metros de profundidad lo que coincide con los sedimentos asociados al abanico aluvial del Maipo. La Figura 8 muestra el nivel freático determinado.



**Figura 7.** Curvas isobáticas con la ubicación de los pozos con sus respectivos valores medios de profundidad respecto a la superficie.





A partir de la morfología del basamento de la cuenca, topografía superficial referida al medio del mar y el nivel estático, se determinó el espesor del acuífero saturado de la cuenca de Santiago cuyos resultados se muestran en la Figura 9. Se observa que los mayores espesores del acuífero saturado se encuentran en aquellas zonas en que el basamento impermeable es más profundo.

Para calcular el volumen de agua almacenada en el acuífero de la cuenca de Santiago, se ha supuesto que éste posee cualidades hidrogeológicas homogéneas. En el cálculo del volumen de agua almacenada en la cuenca de Santiago se utilizaron celdas unitarias de  $1\text{km}^2$ , con un coeficiente de almacenamiento de 0.1 (10%) (porosidad efectiva del material), cifra considerada bastante conservadora. El valor total del agua almacenada corresponde a 31,000 millones de  $\text{m}^3$ , cifra considerada muy significativa al depósito del agua subterránea almacenada en la cuenca de Santiago. Se puede analizar la sensibilidad del modelo planteado se ha variado el coeficiente de almacenamiento.

## Conclusiones

La morfología del basamento de la cuenca de Santiago está dominada por una topografía irregular caracterizada por una serie de altos topográficos que limitan una serie de subcuencas de diferentes tamaños y profundidades bajo la cubierta sedimentaria. Estas se habrían originado durante el Plioceno hasta épocas recientes del Cuaternario.

El conocimiento de la morfología del basamento y el relleno sedimentario de la cuenca de Santiago subyacente juegan un papel muy importante en la evaluación de los recursos hídricos subterráneos. Para efectuar una buena estimación de dichos recursos sería necesario evaluar en detalle la potencia los diferentes tipos de sedimentos con sus respectivas permeabilidades que la componen. A pesar de ello la mayor parte de la cuenca está compuesta por sedimentos granulares en su parte superior de alta permeabilidad; aportado por los ríos Maipo y Mapocho los cuales poseen un buen potencial de almacenamiento de aguas subterráneas. Un cálculo conservador permite estimar un volumen embalsado de 31,000 millones de  $\text{m}^3$ .

Los resultados obtenidos presentan una buena aproximación a los objetivos planteados, aún cuando se consideró una densidad uniforme para el relleno sedimentario y rocas adyacentes. También haría sido deseable tener una distribución más regular de estaciones gravimétricas, esto no fue posible ya que grandes áreas son recintos particulares que no permitieron su ingreso.

## Agradecimientos

Queremos expresar nuestros sinceros agradecimientos a los señores Constantino Mpodozis y Rolando Barozzi por sus valiosas críticas y comentarios así como algunos referís del Servicio Nacional de Geología y Minería cuyos comentarios no siempre favorables, pero que de alguna forma aprovechamos aquellos que nos parecieron interesantes por el aporte al texto del artículo.

## Referencias

- Avendaño, M.S., Araneda, M., 1988 “Gravimetría de la cuenca de Santiago Parte I sector Padre Hurtado-Talagante”, V Congreso Geológico Chileno, vol. II, pp. F153-170.
- , 1994 “Gravimetría de la cuenca de Santiago Parte II sector sur y centro”, VII Congreso Geológico Chileno, vol. I, pp. 574-575.
- , 1984 “Perfil gravimétrico del C° Chena-C° Vizcachas”, Informe inédito, Departamento Geofísica, Universidad de Chile.
- Araneda, M., Avendaño, M. S., Merlo, C., 2000 “Modelo gravimétrico de la cuenca de Santiago, etapa final III”, IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, vol. 2, pp. 404-408.
- Ayala, L. y Cabrera, G., 1999 “Modelo de simulación hidrológica operacional, cuenca de los ríos Maipú y Mapocho”, Informe inédito de la Dirección General de Aguas.
- Bluhm, A., 1996 “Estudio de propagación y amplificación de ondas sísmicas en la cuenca de Santiago oriente con referencia al terremoto de Marzo de 1985”, Memoria de título de Ingeniero Civil Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile, 105 pp.
- Bravo, R., 1992 “Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica del área urbana de Santiago norte”, Memoria de título de Ingeniero Civil, Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Brüggen, J., 1950 *Fundamentos de la geología de Chile*, Instituto Geográfico Militar, 365 pp., Santiago.
- Corvalán, J.; Charrier, R., 1986 *Geología en el sismo de Marzo 1985*, Acero Comercial S. A., Empresa del grupo CAP, Publicación especial.
- Dragicevic, M., 1982 “Nota sobre medidas de gravedad en el sector oeste de la cuenca de Santiago, *Revista Tralka*, vol. 2, pp. 207 -221.
- Dragicevic, M., Meinardus, H., 1962 “Perfil sísmico de refracción (Pudahuel)”, inédito Instituto de Geofísica, Universidad de Chile.
- Emparán, C., 1966 “Informe geológico del pozo núm. 1 Pudahuel”, Memoria de prueba para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

- Falcon, E., Castillo, O., Valenzuela, M., 1970 *Hidrogeología de la cuenca de Santiago*, Publicación especial núm. 3, Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Farias, M.; Charrier, R.; Carretier, S.; Martinod, J.; Comte, D., 2006 “Erosión versus tectónica en el origen de la Depresión Central de Chile Central”, XI Congreso Geológico Chileno, Acta I, pp. 205-208.
- IPLA Ingenieros Consultores, 1984 Proyecto Maipo, “Estudio Hidrológico e Hidrogeológico”, Comisión Nacional de Riego.
- Kausel, E., 1959 “Estudio gravimétrico de la cuenca de Santiago”, Memoria de título Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile, 104 pp.
- Lavenu, A., Thiele, R., Cembrano, J., 1994 “Neotectónica compresiva Pliocuaternaria en la depresión central de Chile”, VII Congreso Geológico Chileno, vol. I, pp. 324-328.
- López, L., 1992 “Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica del sector sur de la cuenca de Santiago”, Memoria de título de Ingeniero Civil, Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Meinardus, H., Rivera, 1967 “Perfiles de resistividad eléctrica realizados en Las Condes”, (inédito) en Falcon *et al.*, 1970.
- Merlo, C., 2003 “Determinación de la potencia sedimentaria de la cuenca de Santiago y su posible relación con las intensidades registradas del sismo de marzo de 1985, Memoria de título de Ingeniero Civil, Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Sánchez, A., 1975 “Estudio geoeléctrico de Santiago norte, provincia de Santiago”, Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales.
- Thiele, R., 1980 *Carta geológica de Chile, Hoja Santiago*, Instituto de Investigaciones Geológicas, núm. 39, 51 pp.
- Toledo, M., 1996 “Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica y amplificación en el sector de Lo Aguirre”, Memoria de título de Ingeniero Civil. Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Tricart, J.; Michel, M., 1963 “Informe sobre la morfología de la cuenca de Santiago y sus relaciones con las aguas subterráneas” (inédito), Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- Urzúa, A., 1974 “Determinación del periodo fundamental de vibración del suelo”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Fac. de Cs. Fís. y Mat., Universidad de Chile.
- Varela, J., 1991 “Geología del Cuaternario de la depresión central de Chile en la zona de la cuenca de Santiago. Región Metropolitana, Chile”, VI Congreso Geológico Chileno, vol. 1, pp. 593-596.
- , *Ingeniería Sísmica*, Rodrigo Flores, 1993 El caso del sismo del 3 de marzo de 1985.
- Wall, R.; Sellés, D.; Gana, P., 1999 “Mapa geológico del área Til Til Santiago, Región Metropolitana”, Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, núm. 11, mapa 1:100,000.