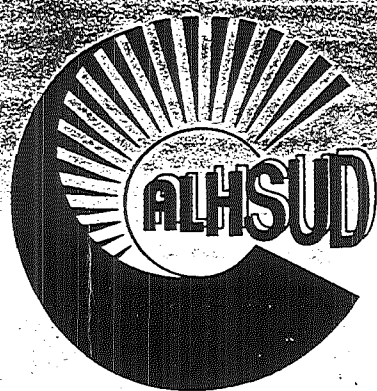


(426)

322



# 4º CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA



## Montevideo - Uruguay 16 al 20 de noviembre de 1998

*Se terminó de imprimir en los talleres gráficos de Gega srl,  
Imprenta Editorial, en el mes de noviembre de 1998.  
Montevideo, Uruguay.*

*Al amparo del Art. 79 de la Ley 13.349 - Comisión del papel  
Depósito Legal N° 305.224 -*

VOLUMEN **1**

# MEMORIAS

## HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN CHUY (REGIÓN SUDESTE DEL URUGUAY)

### 1. Modelo conceptual

Almagro L.<sup>(1)(5)</sup>, E. Custodio<sup>(1)(4)</sup>, L. Rocha<sup>(2)</sup> y D. Abelenda<sup>(3)(5)</sup>

- (1) Dpto. de Ingeniería del Terreno, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.
- (2) Obras Sanitarias del Estado. Montevideo, Uruguay.
- (3) Geoconsultora Uruguaya.
- (4) Actualmente en el Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- (5) Anteriormente en Obras Sanitarias del Estado. Montevideo, Uruguay.

### RESUMEN

Al sureste del Uruguay, en el límite fronterizo con Brasil, se desarrolla una región que ha basado su economía en la actividad turística, en la práctica de la ganadería extensiva y en el cultivo del arroz. El recurso hídrico del cual se supe el consumo humano en ambos países es un acuífero superficial del cual se desconocen sus características básicas, tales como su extensión, su potencial, su vulnerabilidad a la contaminación superficial y la intensidad y consecuencias de la explotación.

Actualmente se lleva a cabo un estudio hidrogeológico global de dicho acuífero, del cual se presentan dos avances preliminares en este IV Congreso. Se realiza en el Departamento de Ingeniería del Terreno de la Universidad Politécnica de Cataluña conjuntamente con Obras Sanitarias del Estado de Uruguay. Uno de ellos (el presente artículo) hace referencia al modelo conceptual, abordándose su caracterización geológica e hidrogeológica. El segundo avance presentado es relativo a la elaboración de una herramienta numérica de simulación del flujo de agua tal que permita evaluar la coherencia del modelo conceptual y determinar el grado de incertidumbre de los datos utilizados.

### ABSTRACT

In the southeast of Uruguay, the frontier area close to Brazil, develops as a region which has based its economy on tourism, extensive cattle breeding, rice growing.

The hydric source which supplies of water to both countries is a superficial aquifer with its basic features as extension, potential, vulnerability to pollution, intensity and consequences of exploration remaining unknown.

At this moment a global hydrogeologic study of this aquifer is being carried out, and two preliminary advances of such study are presented at this IV Congress.

The study is being performed by the Soil Engineering Department Polytechnic University of Catalonia, in association with Uruguayan Public Utility for Water Supply (O.S.E). The present article makes reference to the conceptual model, taking into account its geologic and hydrogeologic features. The second article remains to the creation of a numeric tool simulating water flow which enables to assess the conceptual model coherence and the uncertainty degree of used data as well.

## 1. INTRODUCCION

El motivo de la presente comunicación es el de realizar un aporte al conocimiento geológico, hidráulico e hidroquímico del estrato permeable superior de la Formación Chuy, en el Departamento de Rocha, en el sudeste del Uruguay. Se ha considerado un área de 600 km<sup>2</sup>, en la que están comprendidas la ciudad del Chuy, los balnearios La Coronilla y la Barra del Chuy, y la zona de bañados San Miguel y Las Maravillas (ver Figura 1).

Desde principios de este siglo se han realizado diversos estudios de hidrología superficial motivados por la necesidad de controlar el drenaje de la cuenca para conseguir la desecación de campos y para la práctica del riego del arroz, produciéndose un gran desfase entre el grado de conocimiento de los recursos hídricos superficiales y los recursos subterráneos. En las últimas décadas, conjuntamente con el paulatino aumento de la población ha tomado importancia el uso del agua subterránea, con la cual se atiende el 100% del abastecimiento humano, tanto en el ámbito urbano como rural.

Por su característica de buena calidad físico-química y de bajo costo de extracción (ya que su explotación se realiza mediante pozos someros, con caudales específicos medios de 5 m<sup>3</sup>/h/m) constituye un recurso esencial en el desarrollo económico de la región. No obstante no se ha realizado hasta el momento ningún estudio que considere el funcionamiento hidrogeológico general del acuífero, contando la región tan sólo con una carta geológica a escala 1:500.000 y algunos antiguos estudios de disciplinas afines aunque no específicas.

La necesidad de un estudio global que integre el conocimiento de los parámetros propios del acuífero con los diversos factores externos que intervienen en su dinámica se justifica por diversas causas, entre las que cabe destacar:

- El agua subterránea constituye la única fuente viable de abastecimiento en la zona rural y en la zona turística costera, registrándose en esta última indicios de intrusión marina en los pozos cercanos a la costa.
- Tanto en Uruguay como en Brasil (a través de los servicios de OSE y de CORSAN respectivamente) se realiza el total del abastecimiento público de agua del Chuy y de la Barra del Chuy mediante extracciones del acuífero superior, con pozos intensamente explotados y próximos entre sí.
- La escasa profundidad del techo del acuífero y de su nivel estático y el somero estrato que lo recubre justifican que se evalúe el grado de vulnerabilidad que presenta frente a los agentes superficiales, tales como la infiltración de aguas residuales y de riego.

## 2. METODOLOGIA

Para la determinación de la geometría del acuífero se ha realizado la cartografía geológica de la zona de estudio a escala 1:50.000, con el apoyo de 14 sondeos de estudio y el análisis de más de 55 perfiles de perforaciones existentes.

La caracterización sedimentológica y estratigráfica se ha apoyado en el análisis de seis muestras de arcillas mediante difracción de rayos X, de trozos de arenas y gránulos de perforaciones, en la datación de conchillos mediante el método de radiocarbono.

(Cátedra de Geología de la Facultad de Agronomía, Montevideo) y en la descripción paleontológica de los fósiles existentes en algunas de las muestras (Departamento de Paleontología de la Facultad de Ciencias, Montevideo).

El conocimiento del tamaño de las arenas del acuífero se basa en 26 ensayos granulométricos realizados en Obras Sanitarias del Estado (OSE). La determinación de los parámetros hidráulicos se ha realizado mediante el análisis de más de 30 ensayos de bombeo y de sucesivas campañas de medición de niveles realizadas a partir del año 1994.

En la estimación de la recarga se consideraron datos meteorológicos del año 1984 a la fecha, proporcionados por la Dirección Nacional de Meteorología (Uruguay). La caracterización hidroquímica se ha realizado a partir de 119 análisis físico-químicos realizados en OSE. La coherencia del modelo hidrogeológico propuesto se ha verificado mediante una simulación numérica de flujo que es motivo del segundo artículo presentado en este congreso (Almagro et al, 1998).

### 3. MARCO GEOGRÁFICO

El área considerada se ubica entre las coordenadas planas  $X= 674000, 725000$  e  $Y=6242000, 6272000$  (con  $X_0$  a 500 km al oeste del Meridiano  $62^{\circ} 00'$  e  $Y_0$  coincidente con el Polo Sur). La caminería está formada por la Ruta Nacional n° 9, que une a La Coronilla con la Ciudad del Chuy, por la Ruta secundaria n° 14 que bordea el límite sur y oeste de la región, por la Ruta que comunica la Barrá del Chuy con la Ruta n° 9 y por diversos caminos y senderos internos que permiten el acceso a los bañados y a la costa oceánica.

El paisaje del área de estudio se conforma por una extensa planicie limitada por sierras y lomadas. La vegetación de los bañados está formada (Céspedes, 1992) por malezas de porte alto (*Zizaniopsis*, *Scirpus*), en la zona de turberas profundas por camalotes (*Salvinia*, *Eichornia*) y juncos y totora (*Typha dominguensis*) y zonas con vegetación de porte bajo como grama o pasto flotante. Además se desarrollan áreas con palmares, con vegetación halófila (juncos acutus asociados a los suelos salinos), con vegetación psamófila en la zona de dunas, monte ribereño que se desarrolla en las vías de drenaje y montes artificiales de eucaliptos y pinos.

El clima de la región es mesotérmico superhúmedo del tipo templado (Nimer, 1989), con temperaturas medias mensuales que oscilan entre los 20 grados en el período estival y los 11 grados en invierno, o sea una oscilación anual inferior a 10 grados. La pluviometría anual oscila en el entorno de los 1000 mm/año, con una tendencia a ser julio el mes más lluvioso y diciembre el mes más seco. Según la Dirección Nacional de Meteorología la evapotranspiración potencial climática oscila en el entorno de los 900 mm/año (cálculo realizado por el método de Penman con datos del año 1995). La máxima ocurre entre los meses de diciembre y marzo (con valores en el entorno de los 150 mm/mes), mientras que la mínima se presenta entre los meses de junio a agosto oscilando en 50 mm/mes. Los vientos preferenciales pertenecen al sector NE a ENE (Bidegain, et al 1990).

La red hidrográfica esta formada por cursos de agua mayoritariamente difusos, intermitentes, de los cuales se destacan el Aº de la Barra del Chuy (curso perenne), el Aº Averías, el Aº Cañada Grande, el Aº Sarandí de la Horqueta y el Aº San Luis. Al oeste de la Ruta Nacional nº 9 y con sentido norte-sur se localiza una divisoria de aguas que controla el escurrimiento superficial hacia el este de la Cuchilla de la Angostura y hacia el Arroyo San Miguel. En la zona de bañados el drenaje natural es hacia el norte escurriendo las aguas superficiales hacia los Arroyos Cañada Grande y San Miguel. Al noroeste de La Coronilla la cota topográfica seis actúa de divisoria de aguas, escurriendo el agua hacia el Canal Andreoni.

#### 4. MODELO GEOLOGICO

La zona de estudio se emplaza en el extremo sureste de la Fosa que geológicamente se designa como la Laguna Merín, la cual se asocia a una fuerte tectónica de bloques. Esta fosa, que se enmarca en rocas Predevonianas del Ciclo Orogénico Moderno, está limitada al sur por los granitos de Santa Teresa. Se desarrolla en profundidad hacia el norte, con una profundidad superior a los 130 m en la Ciudad del Chuy. Su continuo hundimiento hacia el norte presenta una discontinuidad a una distancia de 13 km al sur de la Ciudad del Chuy, donde se observan afloramientos de rocas graníticas que interrumpen la continua extensión de los depósitos sedimentarios que rellenan la fosa.

La secuencia estratigráfica de los sedimentos que rellenan la fosa ha sido determinada por diversos autores (entre los que cabe destacar Eochard, 1970 y Sprechmann, 1978) en función de dos perforaciones ubicadas en la Ciudad del Chuy y que superan los 130m de profundidad. El análisis de los testigos del final de la perforación profunda de OSE indica que no se llegó a perforar el basamento cristalino, correspondiendo dichos detritos a la formación basáltica sobreyacente (Bossi y Navarro, 1998). Se presentan dos cortes geológicos (ver su disposición espacial en la Figura 2), uno de ellos regional (Figura 3), de dirección norte-sur (La Coronilla – Ciudad del Chuy) y el otro destacando las características del subsuelo en la Ciudad del Chuy con dirección E – W (Figura 4).

A continuación se describen sucintamente las formaciones que conforman el perfil estratigráfico de la zona de estudio:

##### 4.1 Formaciones subyacentes al acuífero considerado.

###### Formación Arequita (Mesozoico)

Esta formación esta representada en la región por rocas magmáticas (micropegmatitas y riolitas), de edad comprendida entre 120 y 130 Ma, producidas al final del ciclo pericratónico (Bossi y Navarro, 1988). Corresponde a la Sierra de San Miguel (que constituye el límite N-NW del acuífero), la Sierra de Los Ajos (que representa el límite oeste) y una sucesión de cerros que forman una serie de afloramientos alternados de 13 km de extensión que limitan el acuífero hacia el NW.

###### Formación Camacho (Mioceno)

Su origen es marino, correspondiente a un período transgresivo. Se compone en la zona de estudio por arenas gruesas cuarzosas que evolucionan a arenas finas y

limos arenosos hacia el techo, con abundancia de fauna malacológica que según Sprechmann (1978) corresponde al Mioceno. Su potencia es del orden de los 20.0m. Se han registrado estos depósitos en dos perforaciones realizadas en la Ciudad del Chuy, que alcanzaron el contacto con los depósitos magmáticos que cubren el basamento cristalino. Constituye una alternativa de explotación de agua subterránea a ser estudiada. No obstante, los datos previos obtenidos por OSE indicarían un alto contenido en sales, que inhabilitaría su uso para consumo humano.

#### Formación Raigón (Plioceno)

Francis y Mones (1975) le asignan a la Formación una edad correspondiente al Plioceno superior, de origen continental fluvio deltaico, en régimen torrencial. Los sedimentos ubicados entre los 66 m y 113 m de profundidad del sondeo del Chuy se han identificado como depósitos continentales de la Formación Raigón (Eochard, 1970). Corresponde a arena gruesa con gravillas, cantos rodados y restos fósiles de moluscos en el techo de la formación, disminuyendo la granulometría hacia la base. Dicha formación también debería ser considerada como una alternativa de explotación de agua subterránea.

### **4.2 Características geológicas del acuífero considerado**

El estrato permeable aquí considerado pertenece a la Formación Chuy, la cual abarca el Pleistoceno y parte del Holoceno y representa en la región el inicio de la deposición de sedimentos cuaternarios. Su sedimentación responde a fenómenos de ingresión y regresión marina asociada a las diversas glaciaciones e interglaciaciones del cuaternario y a los respectivos ascensos y descensos del nivel del mar.

La fuerte subsidencia ocurrida desde el Terciario ha impedido una sedimentación continental neta, produciéndose una alternancia de depósitos continentales litorales y marinos litorales, en la que los sedimentos arenosos se concentran hacia la costa, mientras que los arcillosos lo hacen hacia el continente.

La Formación se extiende sobre una planicie costera que se desarrolla desde el balneario La Coronilla hasta la ciudad de Torres, del Estado de Río Grande do Sul, en Brasil. En el territorio uruguayo la formación esta constituida por una sucesión de estratos arenosos y estratos arcillosos continuos, con estructura horizontal a subhorizontal. Su potencia máxima determinada en la región no supera los 70 m.

La descripción realizada en el trabajo realizado por Eochard (1970) del antiguo sondeo del Chuy relativa a las profundidades entre 0 a 66 m, las cuales se han asociado a esta formación, es la siguiente:

0 – 1 m Arena fina a limo arenoso, con buena selección y de color blanco. Este nivel fue asignado en su momento a la Formación Coronilla.

1 – 7 m Arcilla arenosa con materia orgánica, de color marrón claro, definida como posible paleosuelo.

7 – 27 m Arena media a fina, suelta, bien seleccionada, de color gris claro a amarillento, cuarzo-feldespática, con minerales pesados hacia la base.

27 – 50 m Arcilla gris clara verdosa, con manchas de óxido de hierro en la parte superior y gravillas angulosas dispersas de cuarzo y micaesquistos en la parte inferior.

50 – 55 m Arena arcillosa gris oscura, con escasas gravillas redondeadas de cuarzo y concreciones de hierro-manganeso.

55 – 66 m Arcilla arenosa gris oscura con restos abundantes de moluscos (Corbula Patagónica, Erodona Mactroides).

Eochard (1970) ha deducido cambios climáticos bruscos y rápidos que se reflejan en la sucesión estratigráfica. Dicho autor correlaciona el nivel de la base de esta formación (de 50 a 66 m) con la transgresión Chuy II. El estrato de arcillas presentes entre los 27 y los 50 m lo relaciona con el retroceso del mar de la citada transgresión y lo asocia a un régimen de laguna y de bañado en ambiente reductor. Se presenta a una cota aproximada de -15 m respecto al actual nivel del mar, con una disposición continua y horizontal a subhorizontal, constituyendo una base de baja permeabilidad del acuífero aquí considerado y que le aísla hidráulicamente de los estratos permeables inferiores. Hacia el este presenta una marcada elevación hasta cotas de -5 m. Hacia el oeste (zona de bañados) nuevamente se eleva el techo de este estrato, acuñando al estrato acuífero hacia el centro del Bañado San Miguel.

Al estrato de arena existente entre los 7 y los 27 m Eochard (1970) lo asocia a la transgresión Chuy III y al Platense Argentino. Se va a realizar un especial énfasis en su descripción por constituir este estrato el acuífero considerado en esta comunicación. Su génesis se asocia a depósitos litorales de origen eólico. Su extensión espacial se expondrá en el ítem de geometría del acuífero.

Un análisis de frotis de diversas muestras de este estrato, realizado por Alejandro Spichileov en Facultad de Agronomía de Montevideo, da como resultado que se trata de arenas finas (entre 0.1 y 0.3 mm), constituidas por un 65% a un 85% de cuarzo, entre un 12% y un 35% de feldespato alcalino y plagioclásico y presencia de opacos.

Por su parte Delaney (1965) determina que la fracción arenosa es casi exclusivamente fina, con apenas un 1% - 2% de arena media; la fracción limo varía entre el 4% - 12% y la fracción arcilla en torno al 25%. Los granos de superficie opaca corresponden a un 20% en los de tamaño de 200 a 300 micras y superior al 40% en los granos 250 a 125 micras. La presencia de similar porcentaje de granos de superficie pulida indicaría la existencia de playas de carácter transgresivo, bordeadas por dunas que aportarían sedimentos del tipo eólico.

Sobreyace al estrato arenoso un nivel continuo de sedimentos arcillo-arenosos y areno-limosos que han sido asociados a depósitos continentales holocénicos y a los cuales antiguamente se les denominó Formación Coronilla, no existiendo en el presente una postura en su clasificación como tal. Su potencia varía entorno a los 7m y constituye el techo de la formación acuífera estudiada. Su porcentaje de arcillas aumenta de este a oeste. Es un estrato de particular importancia en la hidrogeología de la región pues puede condicionar la recarga por la lluvia que se produce en el acuífero.

#### **4.3 Formaciones sobreyacentes al acuífero considerado.**

##### Formación Dolores (Pleistoceno)

Esta formación compuesta en la región por arcillas constituye un techo de muy baja permeabilidad para el estrato permeable. Se le localiza al oeste, en las terrazas altas



del área de bañados. Para su caracterización se han realizado análisis de rayos X, con glicol y calentamiento a 350° y 550° en diversas muestras. De estos ensayos se interpreta que podría tratarse de cloritas y montmorillonitas.

#### Formación Villa Soriano (Holoceno)

Montaña (comunicación personal, 1997) correlaciona los depósitos arcillosos depositados en las terrazas bajas (cotas inferiores a los 5 m s.n.m) de los bañados del oeste a esta formación, y al igual que la Formación Dolores constituye un techo de muy baja permeabilidad para el acuífero.

#### Dunas y Depósitos costeros (actual)

Corresponden a arenas finas con escasa arena media, retrabajadas, de la Formación Chuy. El porcentaje de finos apenas corresponde al 1% y es el típico polvo existente en las formaciones eólicas. La costa ha variado su morfología en los últimos años, observándose una alta erosión de las escarpas cercanas a la Barra del Chuy, que se registraron en las fotos aéreas tomadas en 1966.

## 5. MODELO HIDROGEOLOGICO

### 5.1 Geometría del acuífero

El acuífero estudiado está constituido por un estrato de arena fina que presenta su máxima expresión hacia el centro de la Ciudad del Chuy, con una potencia que no supera los 30 m. Los límites naturales del acuífero lo constituyen, al este el Océano Atlántico, al sur, sudoeste y oeste los afloramientos graníticos y basálticos de las sierras, y al norte y noroeste la Sierra de San Miguel, continuándose al noreste hasta la ciudad de Torres (Río Grande do Sul).

Su base, que presenta muy baja permeabilidad, la constituye un estrato continuo y subhorizontal de arcillas que supera los cuarenta metros de espesor y que le aísla hidráulicamente de los estratos permeables inferiores. Su techo es un estrato cuyo espesor varía entre los 3 m y los 13 m de potencia y que pasa gradualmente de ser netamente arcilloso al oeste a arenoso al este de la región. La continuidad del estrato permeable se interrumpe entre Buena Vista y Palmares de La Coronilla por el afloramiento del basamento cristalino, continuándose luego hasta el sur de La Coronilla donde se extingue en el contacto con las sierras graníticas del sur. En la Figura 3 se ha representado un corte geológico con dirección E-W.

Al sur la cuenca sedimentaria disminuye paulatinamente su espesor hasta su límite con los granitos post-orogénicos de Sta Teresa. En Paso del Indio se ha registrado un espesor de sedimentos de 10 m, de los cuales tan solo 2 m corresponden al estrato de arenas, encontrándose su base impermeable a cota +1.27 s.n.m.

Hacia el centro del Bañado San Miguel, a la altura del Aº Averías, el estrato permeable desaparece entre las arcillas de la base y de su techo, lo que produce una barrera al flujo de agua subterránea proveniente de Cañada Grande a través del Pº del los Sauces. Hacia el sudeste, en el centro de la Cuchilla de la Angostura (en el Estero del Escudero) los afloramientos del Basamento Cristalino indican una discontinuidad del estrato permeable, que se continúa al sur luego de Palmares de la Coronilla.



En La Coronilla la base del estrato de arenas finas asociado a la Formación Chuy se encuentra a cota  $-8$  m, aumentando su espesor desde 6 m a 16 m de oeste a este.

## 5.2 Parámetros hidráulicos

La determinación de los parámetros hidráulicos se ha realizado en función del análisis de 30 ensayos de bombeo, obteniéndose un rango de permeabilidades que presenta un máximo en la Ciudad del Chuy, con valores de hasta 40 m/día, y que en general en el resto de la Cuchilla de la Angostura oscilan en torno a los 10 m/día. En la Barra del Chuy los resultados indican permeabilidades promedio de 5 m/día. Las perforaciones de la Ciudad del Chuy producen caudales que varían entre los 10 y los 20 m<sup>3</sup>/h, con caudales específicos que superan los 4 m<sup>2</sup>/día. Las transmisividades en el entorno del centro de la Ciudad del Chuy oscilan en torno a 500 m<sup>2</sup>/día. Las perforaciones de La Coronilla no explotan el acuífero estudiado por lo que no ha sido posible caracterizar este parámetro en dicha zona.

## 5.3 Recarga

El análisis de la piezometría indica que la infiltración de la lluvia hacia el acuífero es la única fuente de recarga del sistema.

Para su cuantificación el área de estudio se ha zonificado en cuatro subregiones con características similares al área de estudio, correspondientes al área de bañados de Las Maravillas y San Miguel, al de la Cuchilla de La Angostura, al del bañado de La Barrita y a la franja costera. Cada una de ellas presenta propiedades similares de permeabilidad y de pendiente de la cobertura del acuífero, que condiciona la infiltración de agua en el suelo.

La precipitación anual en la región oscila entre los 1000 y los 1200 mm/año y la evapotranspiración potencial es del orden de los 900 mm/año.

Se ha considerado la capacidad de infiltración vertical del agua en el suelo, utilizándose los resultados de ensayos de campo (Zunini y Lagos, 1986) en los que se obtuvieron valores de este parámetro de 1.96 mm/día en los planosles (suelos de la franja costera y de la Cuchilla de la Angostura) y 1.20 mm/día en los gleysoles (suelos pertenecientes a la zona de bañados).

Se han asignado valores de recarga anual que varían desde el 0.1% (zona de bañados) hasta el 9% de la precipitación anual (zona de dunas y arenales de la franja costera).

Los valores obtenidos de recarga se consideran de carácter primario y orientativo, los cuales serán objeto de un estudio específico de detalle. En la cuantificación del parámetro se ha considerado la calibración realizada en la simulación numérica (Almagro et al, 1988) y un balance estimativo de cloruros con el agua de lluvia.

Las descargas del acuífero se realizan hacia el mar, hacia los bañados y hacia los Arroyos Chuy, San Miguel y de la Cañada de la Barrita.

## 5.4 Piezometría

Las campañas regionales de toma de niveles se han realizado a partir del año 1994, contándose con datos aislados desde el año 1981.

La superficie piezométrica presenta una clara relación con la topografía, estando las mayores cargas hidráulicas asociadas a las cotas 20-25m. En general se observa una notable coherencia espacial entre los datos de niveles.

El acuífero presenta un comportamiento libre en casi toda la extensión de la Cuchilla de la Angostura y de la franja costera, mientras que en la zona de bañados del oeste y de la Barrita su comportamiento es claramente confinado. En la Figura 5 se presenta la carta piezométrica correspondiente a los niveles medidos en diciembre de 1995.

La superficie piezométrica en la región presenta un suave gradiente hidráulico. Se debe destacar la existencia de excepciones a este comportamiento, que deberán ser analizadas en detalle en los cuales se registran fuertes gradientes (superiores al 0,4%), tales como la zona costera, la zona de contacto entre el Bañado de las Maravillas y la Cuchilla de la Angostura y la zona de contacto entre el Bañado de la Barrita y la zona costera. La posible influencia del canal de riego, de sentido norte-sur, que bordea el oeste de la cuchilla se deberá dilucidar en función de una campaña de nivelación de detalle.

Para la determinación del comportamiento hidráulico del acuífero se realizó una campaña de construcción de 14 piezómetros distribuidos en el área de estudio, los que se sumaron a la red de observación ya existente, obteniéndose casi 40 puntos de control.

El comportamiento general de los arroyos es efluente con respecto al acuífero, habiéndose incluido la medición del espejo de agua de los cursos en las campañas de registro de niveles. La irregularidad temporal y el espaciamiento entre las fechas de toma de datos no permite determinar una correlación entre la precipitación y las oscilaciones de la superficie piezométrica, que presenta en general variaciones inferiores a los 0,5 m.

En función de la piezometría se ha determinado la distribución espacial del espesor saturado del acuífero. En la Figura 6 se han representado las isopacas del mismo.

En el centro de la Ciudad del Chuy se observa que el nivel piezométrico de explotación en los pozos de bombeo oscila alrededor de los -3 m (s.n.m). No obstante en los piezómetros de la localidad se registran valores por encima de los +6 m. En la Ciudad del Chuy se extrae por bombeo un caudal aproximado de 1 hm<sup>3</sup>/año, mientras que en La Coronilla esta cifra no supera 0.08 hm<sup>3</sup>/año y en la Barra del Chuy 0.03 hm<sup>3</sup>/año.

## 6. HIDROQUÍMICA

La caracterización hidroquímica del acuífero se realizó en función de 3 campañas generales de toma de muestras de agua (con 47 puntos de control), efectuadas en enero y mayo de 1994 y en mayo de 1995, considerándose además análisis aislados de diversas muestras tomadas desde 1982 a la fecha.

En función de la campaña de 1995 se ha determinado que al este de la Cuchilla de la Angostura (La Barrita, Barra del Chuy y franja costera) el agua es bicarbonatada sódica, mientras que en la Ciudad del Chuy es clorurada sódica. No obstante ambos tipos se localizan sobre el límite de la clasificación por lo que su diferencia no es notable. Regionalmente el agua subterránea de este acuífero presenta una composición homogénea, con concentración de cloruro en torno a los 120 mg/L, valores medios del pH de 6.5 y alcalinidad media de 130 mg/L en CO<sub>3</sub>Ca.

En la región de la Barra del Chuy las perforaciones próximas a la costa y al A° Chuy presentan indicios de intrusión marina con valores de pH de hasta 7.5 y concentraciones de cloruros en el entorno de los 700 mg/L.

No se registran problemas de contaminación por nitratos en la región, siendo la concentración media menor a 10 mg/L, salvo dos perforaciones de OSE en la Ciudad del Chuy que presentan valores próximos a 40 mg/L y que podrían corresponder a infiltraciones locales de aguas residuales.

El estudio hidroquímico de detalle está en elaboración, así como el del aporte salino por la precipitación. Considerando un aporte salino entre 3 y 6 mg/m<sup>2</sup>/año<sup>-1</sup>, para el contenido medio de cloruros antes indicado la recarga media cabe estimarla entre 20 y 40 mg/año (2 a 4% de la precipitación media).

## CONCLUSIONES

Se ha presentado en este artículo un avance del estudio hidrogeológico del acuífero de la Formación Chuy. Se compone de un estrato continuo de arenas finas que alcanza un espesor saturado máximo de 25 m en el centro de la Cuchilla de la Angostura y que desaparece al oeste, en el centro del Bañado de San Miguel.

Su comportamiento hidráulico en general es libre, salvo en las zonas de bañados donde presenta características de acuífero confinado.

Su permeabilidad varía entre los 40 y los 5 m/día, presentándose al centro de la Ciudad del Chuy los mayores valores. La recarga de agua al acuífero proviene de la lluvia. Los bañados, tanto del oeste como el de La Barrita, se comportan como salidas del sistema al igual que la totalidad de los arroyos de la región.

Anualmente se extrae 1 hm<sup>3</sup> de agua, correspondiendo a la Ciudad del Chuy el 90% de dicho volumen. Las perforaciones que explotan este acuífero presentan un bajo costo de extracción, con caudales específicos que superan los 4m<sup>2</sup>/h, descensos del espejo de agua en régimen de bombeo continuo que no superan los 25 m, y una

buena calidad química del agua extraída. Esto convierte al agua subterránea en un recurso esencial para el desarrollo económico de la región.

## AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este artículo ha sido posible gracias al apoyo de la División Aguas Subterráneas de OSE, del Instituto Tecnológico Geominero de España, del Departamento de Ingeniería del Terreno de la UPC, de la Cátedra de Geología de la Facultad de Agronomía del Uruguay y a los Departamentos de Paleontología y Epigénesis de la Facultad de Ciencias de Uruguay.

## BIBLIOGRAFIA

Almagro, L., Vives, L., Custodio, E., Rocha, L. (1998). "Hidrogeología del acuífero superior de la Formación Chuy (región sudeste del Uruguay). 2. Modelo numérico" IV Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Montevideo – Uruguay.

Bidegain, M., Pedrosa, M., Jablko, A. (1990). "Consecuencias/señal de la brisa marítima en el clima de la región atlántica del Uruguay. Informe preliminar". Montevideo. Departamento de Meteorología. Facultad de Ciencias.

Bossi, J., Navarro, R. (1998). "Geología del Uruguay". Universidad de la República. Montevideo – Uruguay.

Céspedes, C. (1992). "Gestión ambiental de los humedales de la Laguna Merín. (2. Metodología para la diagnóstico de los aspectos biofísicos el área de RAMSAR-URUGUAY)" CIEDUR.

Delaney, P. (1965) "Fisiografía e geología da superfície da Planície Costeira do RGS, Brasil". Esc. Geol. P. Alegre Public. esp. (6) 1-105.

Eochard, M. (1970). "Informe geomorfológico sobre el relevamiento detallado de las hojas Santa Teresa y Los Indios (Dpto. de Rocha)". Dirección de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de Agricultura y Pesca. Uruguay.

Francis, J., Mones (1975). "Esquema bioestratigráfico de la R.O. del Uruguay"; Actas del I Congreso Argentino Paleontológico. 2 539-568. Tucumán Argentina.

Nimer, E (1989). "Climatología do Brasil". Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. Brasil.

Sprechmann, P. (1978). "The paleoecology and paleogeography of the uruguayan coastal area during the Neogene and Quaternary". Zitteliana (4) Munich, Alemania.

Zunini, L. Y Lagos J. (1986). "Estudio de las necesidades hídricas en el cultivo del arroz". Facultad de Agronomía. Montevideo Uruguay. Tesina de Carrera de Facultad de Agronomía.

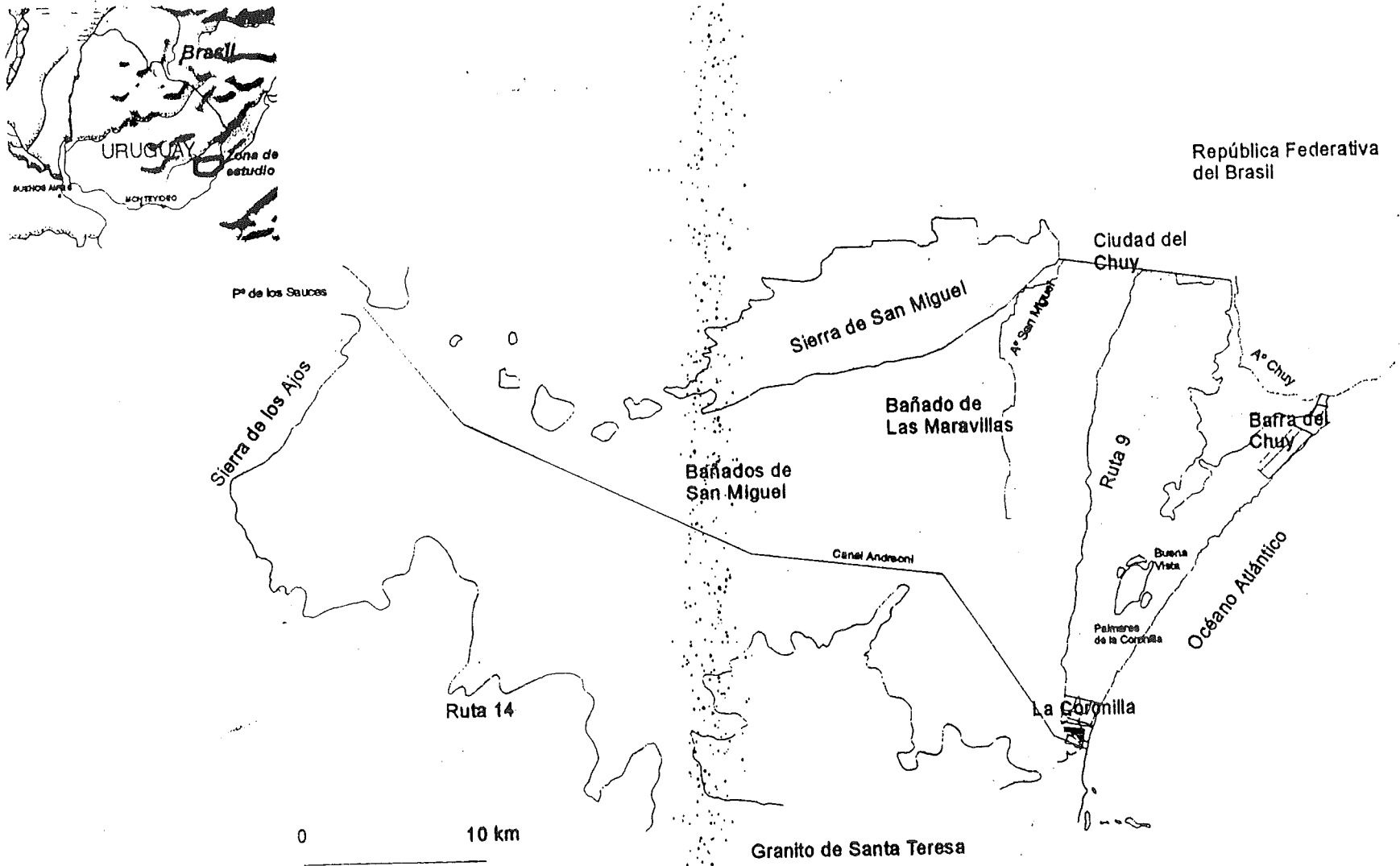


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

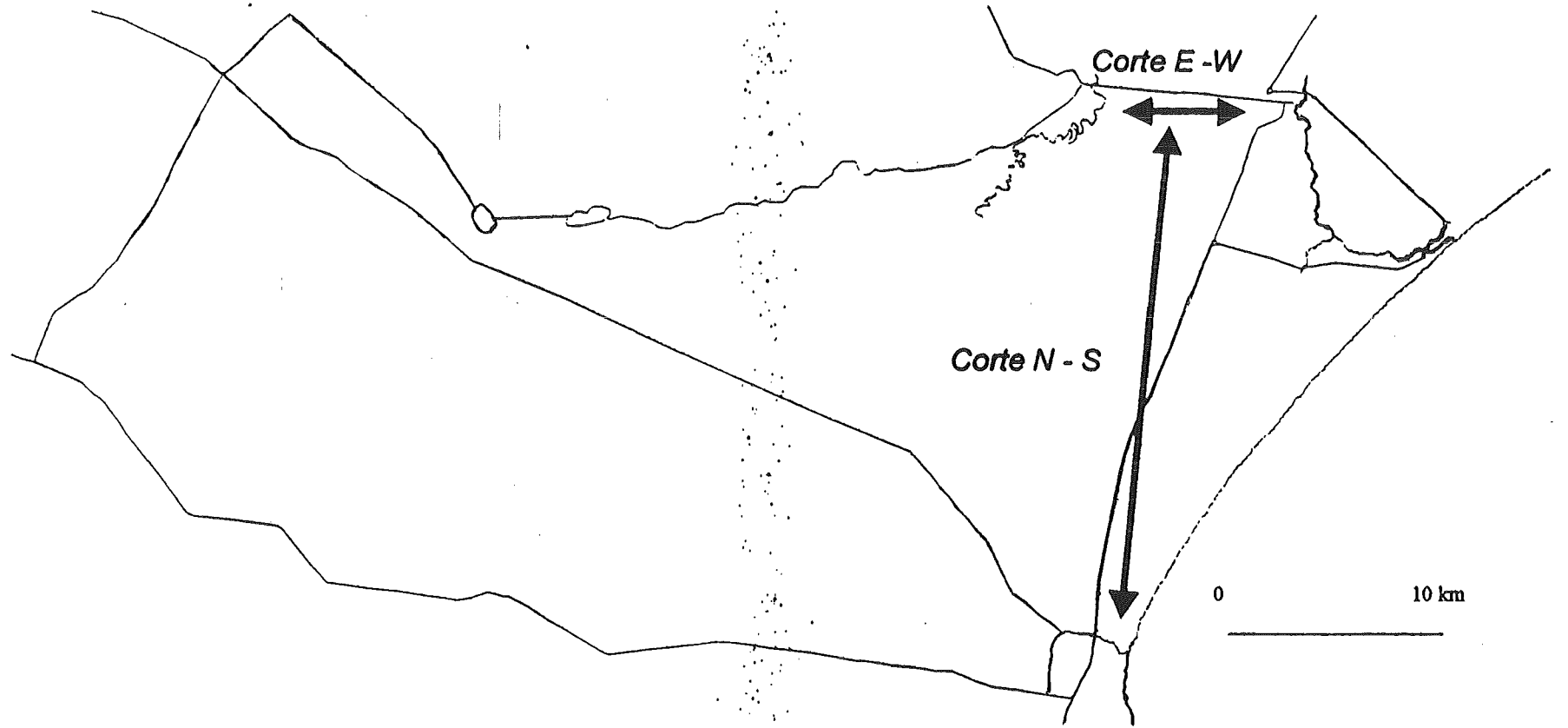


Figura 2. Disposición del los cortes geológicos.

### Corte geológico N - S (La Coronilla - Ciudad del Chuy)

387

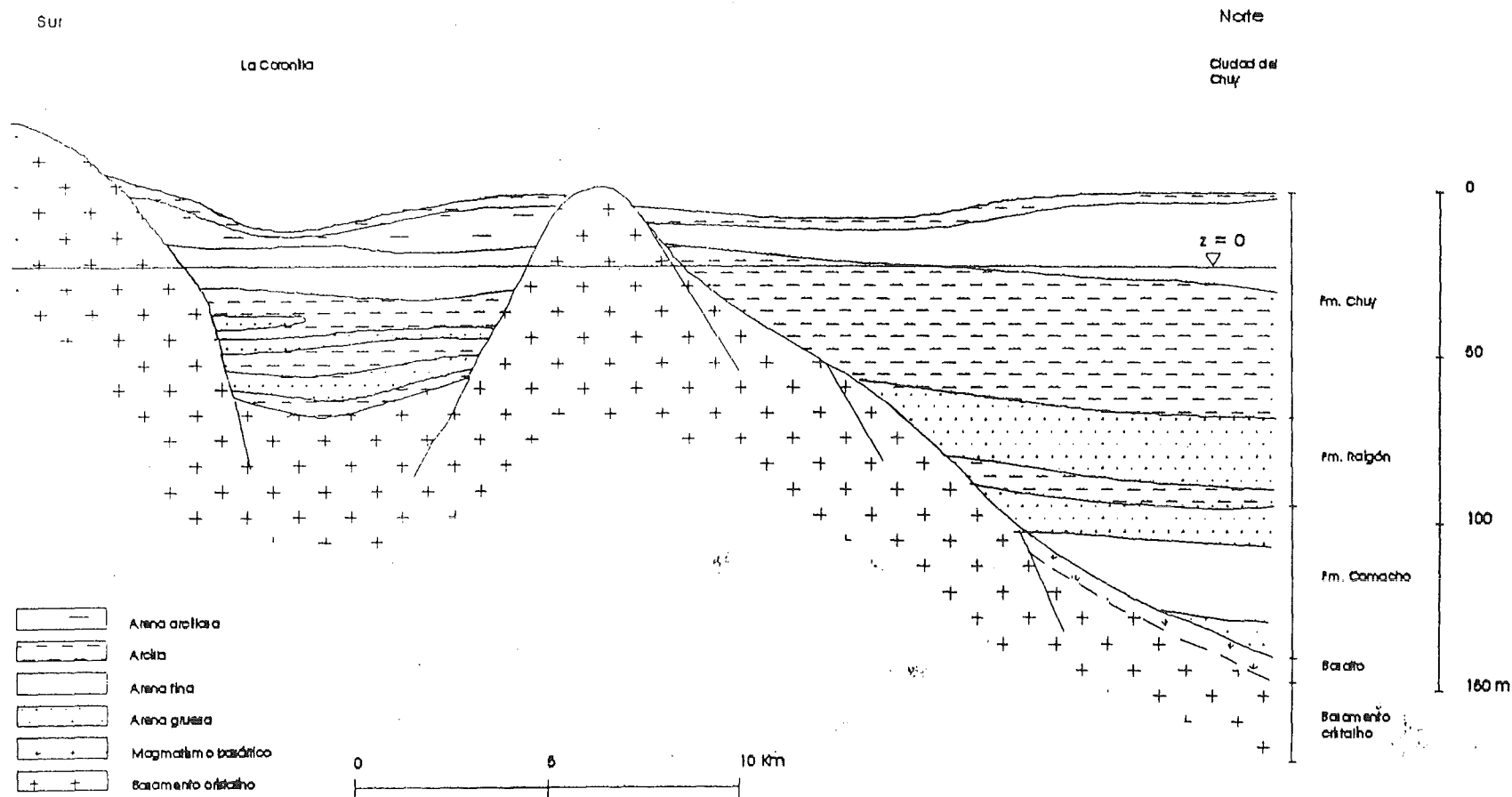
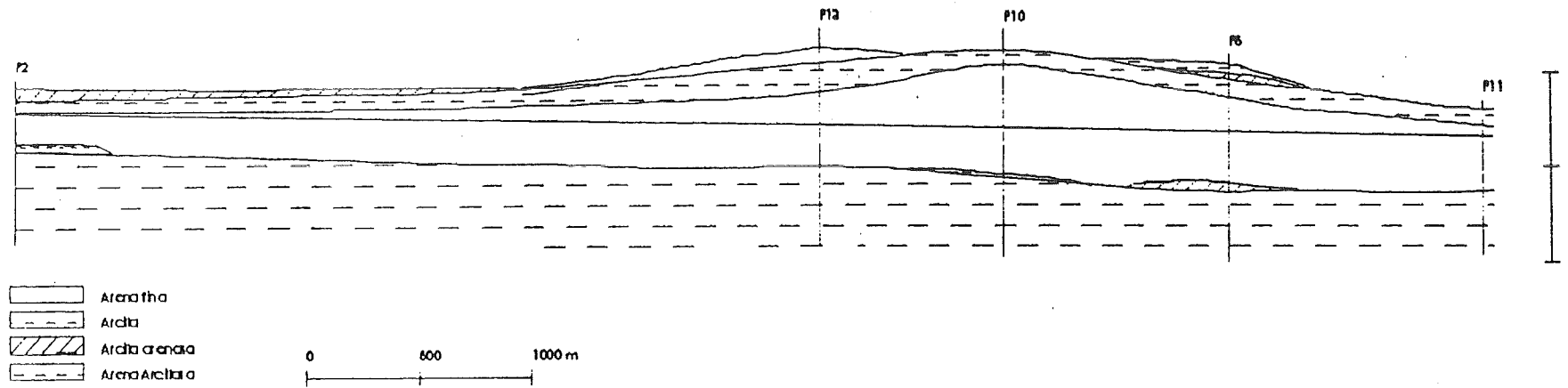


Figura 3. Corte geológico N-S (La Coronilla - Ciudad del Chuy)



Corte geológico E - W (al norte de la Ciudad del Chuy)



388

Figura 4. Corte geológico este - oeste (norte de la Ciudad del Chuy).

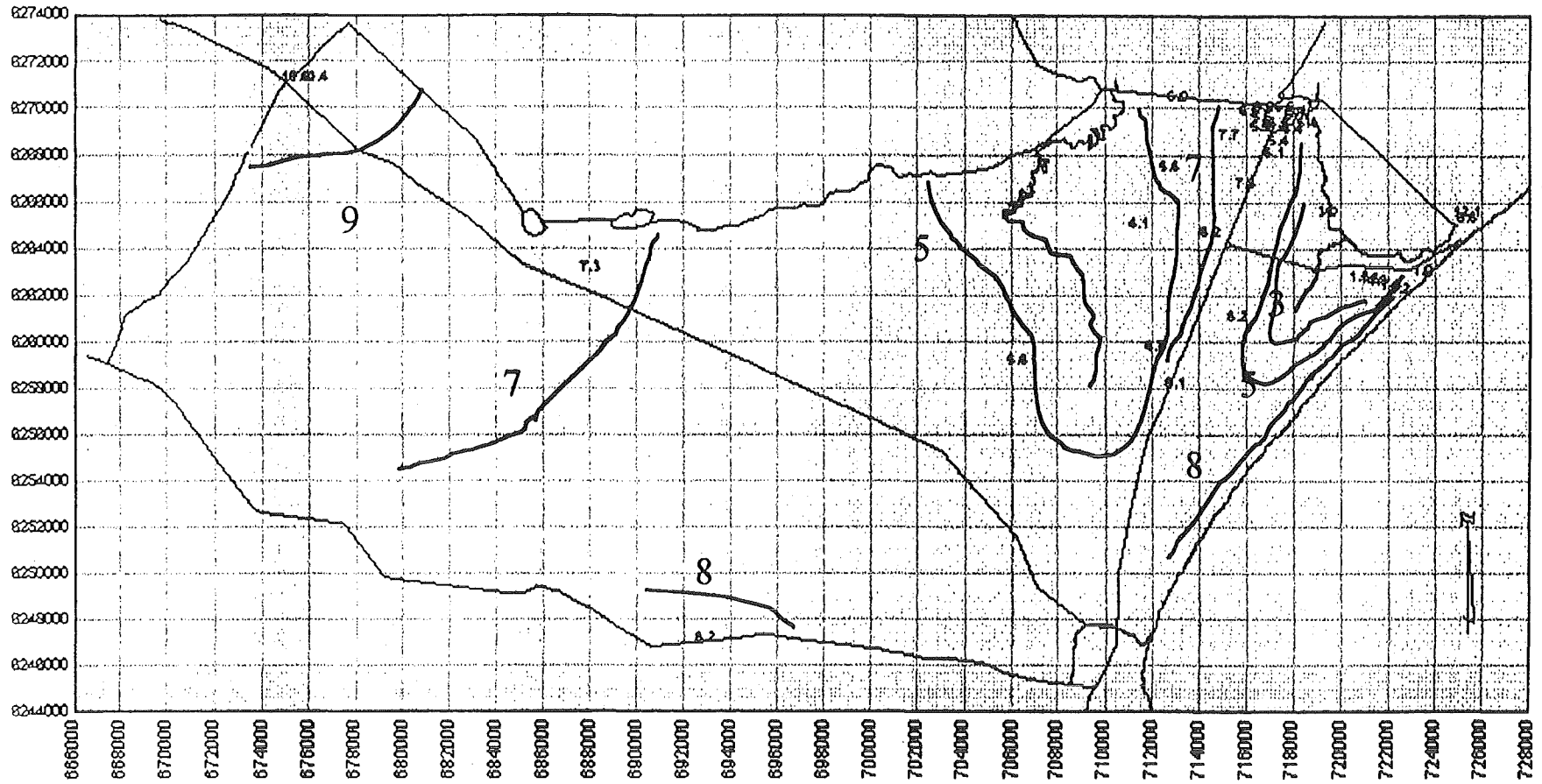


Figura 5. Mapa de isopiezas de diciembre de 1995. Valores en m (s.n.m)

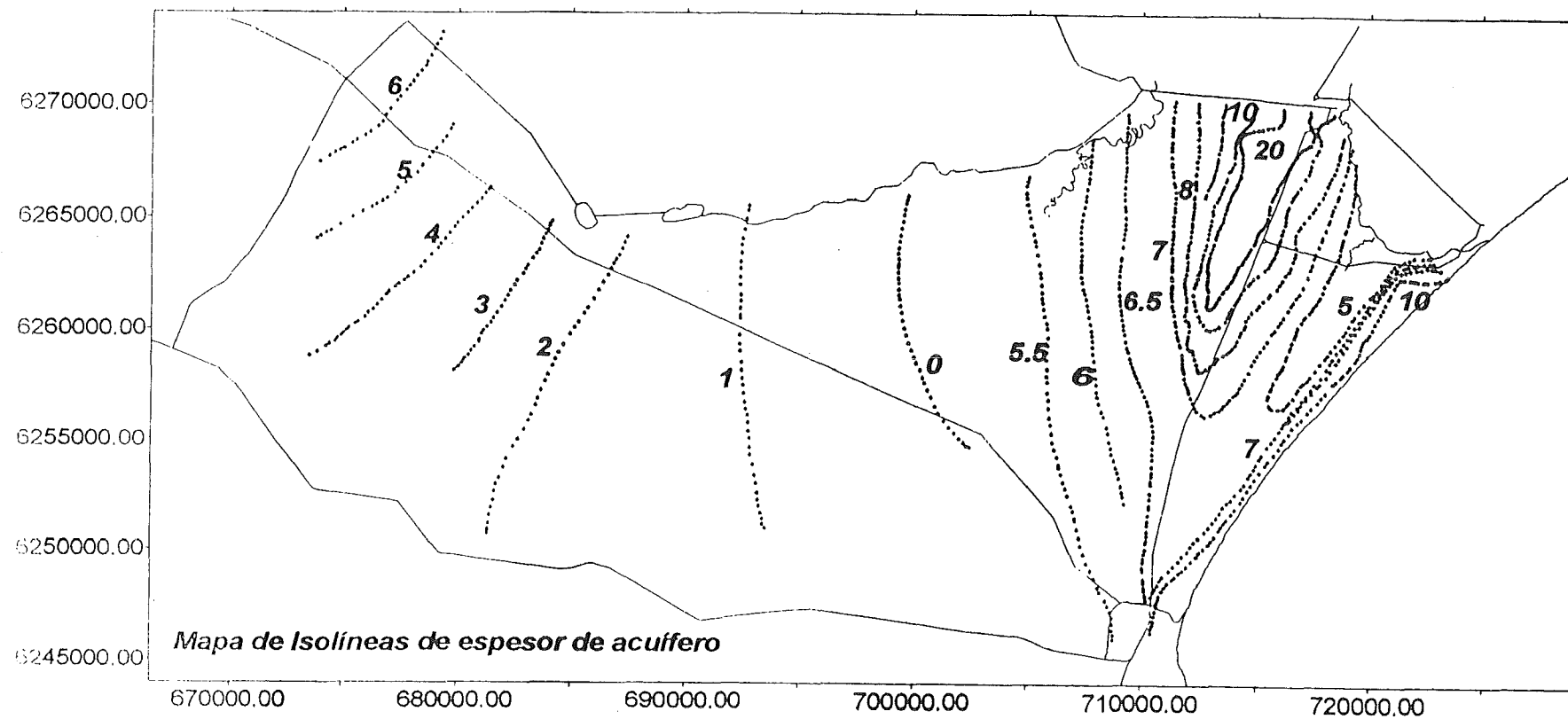


Figura 6. Mapa de isopacas de espesor saturado del acuífero. Valores en m (s.n.m).

390