

62800



**ESTADO DE LA INTRUSIÓN DE AGUA DE MAR EN LOS  
ACUÍFEROS COSTEROS ESPAÑOLES.  
AÑO 2000**

**VOLUMEN I**



**CUENCAS ATLÁNTICAS:  
NORTE Y GUADALQUIVIR**



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA



Instituto Geológico  
y Minero de España

<b>INFORME</b>	<b>Identificación: H.5.001.05</b>
	<b>Fecha: Enero 2005</b>
<b>TÍTULO</b> Estado de la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros españoles. Año 2000. Volumen I. Cuencas atlánticas: Norte y Guadalquivir.	
<b>PROYECTO</b> Estado de la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros españoles. Año 2000.	
<b>RESUMEN</b> <p>Este proyecto recoge el conocimiento actual sobre los acuíferos costeros de las cuencas Norte y Guadalquivir y su estado de contaminación por efecto de la intrusión de agua marina. Se ha estudiado cuál es el origen y las causas de la intrusión marina en cada caso concreto y su relación con otros aspectos tales como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica. Así mismo se proponen actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos costeros, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.</p> <p>Para el estudio y control de estos procesos es necesario conocer el modelo geológico e hidrogeológico de los diferentes acuíferos. Conocido éste, se han realizado para cada acuífero un análisis del contenido y evolución del ion cloruro y de la conductividad eléctrica, como parámetros más característicos para detectar la intrusión salina, aunque en ocasiones pueden tener un origen diferente al marino y llevar a conclusiones equivocadas. Por ello se ha llevado a cabo un análisis hidroquímico más completo con atención al conjunto de iones mayoritarios, minoritarios y relaciones iónicas, que permite obtener conclusiones más certeras sobre el origen y desarrollo de los procesos de salinización.</p>	
<b>Revisión</b>  <b>Nombre:</b> Juan Antonio López Geta  <b>Unidad:</b> Hidrogeología y Aguas Subterráneas  <b>Fecha:</b>	<b>Autores:</b> Juan de Dios Gómez Gómez    <b>Responsable:</b> Juan Antonio López Geta

El presente informe ha sido realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), actuando como:

Director del estudio:

Juan Antonio López Geta (IGME)

Coordinador:

Juan de Dios Gómez Gómez (IGME)

Autores del informe:

Informe final: Juan de Dios Gómez Gómez (IGME)

Cuenca Norte: Mónica Meléndez Asensio (Oficina de proyectos de Oviedo, IGME)

Cuenca del Guadalquivir: Angel Fco. Díaz Pérez (Oficina de proyectos de Sevilla, IGME)

## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	ALCANCE Y OBJETIVOS.....	6
3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	7
4.	CUENCA HIDROGRAFICA DEL NORTE .....	8
4.1	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.09 CASTRO URDIALES-AJO .....	8
4.2	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.11 SANTANDER.....	15
4.3	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.15 SANTILLANA-SAN VICENTE DE LA BARQUERA .....	21
4.4	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.16 LLANES-RIBADESELLA.....	27
4.5	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.19 VILLAVICIOSA.....	34
4.6	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.24 SOMIEDO-TRUBIA-PRAVIA .....	40
5	CUENCA DEL GUADALQUIVIR.....	44
5.1	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.57 CHIPIONA - ROTA - SANLÚCAR	44
5.2	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.58 PUERTO DE SANTA MARÍA .....	49
5.3	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.59 PUERTO REAL - CONIL.....	54
5.4	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.61 VEJER-BARBATE.....	59
6	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	65

## 1. INTRODUCCIÓN

La costa peninsular española, con más de 6.000 km de longitud, alberga un gran porcentaje de la población del país. En esa franja se desarrolla una intensa actividad turística, urbana, agrícola e industrial, y en ella los acuíferos costeros adquieren una importancia estratégica como fuente inmediata y a menudo única de los recursos hídricos necesarios para el desarrollo socioeconómico de estas áreas. Como ejemplo, la población de los municipios costeros de Cataluña alcanzaba unos 2.728.000 habitantes en 1996, lo que supone un 45 % de la población total de esta Comunidad Autónoma concentrada en un 7 % de su superficie total. Otra prueba de esta circunstancia se observa en la Comunidad Valenciana donde una población de 2.099.343 habitantes (52 % de su población total) ocupa un área costera de 3.311 km<sup>2</sup> (14 % de su superficie total).

Tabla 1. Longitud de costa por áreas del litoral español.

LITORAL ESPAÑOL	Longitud de costa (km)
Atlántico norte	1 993
Atlántico suroccidental	250
Mediterráneo	1 661
Baleares	672
Canarias	1 545
<b>Total</b>	<b>6 121</b>

Longitud de costa

- Atlántico norte
- Atlántico suroccidental
- Mediterráneo
- Baleares
- Canarias

La considerable demanda de agua en estas zonas implica una explotación intensa de los acuíferos que provoca la aparición del fenómeno de intrusión marina, el cual pone en peligro la sostenibilidad de los aprovechamientos. Pero la salinización de los acuíferos puede tener otros orígenes, como la presencia de formaciones geológicas salinas, aguas salinas fósiles, contaminación agrícola o industrial, etc.

Todo ello ha motivado al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y a otros organismos de investigación (fundamentalmente universidades) a estudiar los problemas de los acuíferos costeros durante las últimas décadas. Para profundizar en su conocimiento se han aplicado tanto métodos clásicos como más novedosos, como el análisis hidroquímico de iones mayoritarios y minoritarios, clasificación de facies, isótopos, técnicas geoestadísticas, geofísica y modelación matemática.

En un acuífero costero, existe una relación de equilibrio natural entre el agua subterránea dulce que descarga al mar y el agua salada de origen marino, que penetra parcialmente tierra adentro en forma de cuña apoyada en la base del acuífero en su forma más usual.

Este equilibrio natural puede verse alterado por la acción humana al modificar la descarga de agua dulce al mar, fundamentalmente debido a extracciones por bombeos en el acuífero, provocando la penetración de la cuña de agua marina tierra adentro. Otras modificaciones del ciclo hidrológico, como por ejemplo la construcción de presas, pueden también alterar el equilibrio agua dulce / agua salada.

Podemos definir, por tanto, a la intrusión marina, como el movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce. Esta intrusión provocará el aumento de la salinidad en las aguas subterráneas con la consiguiente contaminación del acuífero costero.

La intrusión marina es un proceso dinámico donde el frente de agua salada avanza tierra adentro en los periodos de menor recarga del acuífero y retrocede hacia el mar cuando la recarga es mayor.

Existen otros mecanismos de salinización diferentes que pueden producirse individualmente o acompañar a la intrusión, como por ejemplo la disolución de sales y lixiviado de minerales, evaporación, mezcla con otras aguas salinizadas o presencia de aguas connatas salinas. El estudio de estos mecanismos es fundamental para la gestión eficaz y racional de los acuíferos costeros.

El estudio de la intrusión marina se puede abordar de forma simplificada, considerando al agua salada y al agua dulce como dos fluidos inmiscibles que forman una superficie de separación neta o brusca entre las dos aguas. Esta superficie teórica se denomina interfase. La interfase correspondería a la posición de la mezcla del 50% de agua dulce y el 50% de agua salada. Esta simplificación permite calcular la posición teórica del contacto agua dulce / agua salada de forma sencilla.

Otra forma más realista de abordar el estudio de la intrusión marina es la de considerar el agua dulce y el agua salada como dos fluidos miscibles, de tal forma que el paso de un fluido a otro se produce a través de una "zona de mezcla" o "zona de transición".

Las características químicas y físicas de la zona de mezcla dependerán del grado de mezcla en cada punto, y de los procesos químicos de interacción con la matriz del acuífero. El espesor de la zona de mezcla dependerá de la hidrodinámica del medio y de las características de difusividad y dispersividad del acuífero.

## 2. ALCANCE Y OBJETIVOS

El presente proyecto pretende recoger el conocimiento que sobre los acuíferos costeros españoles se dispone en la actualidad y estimar su estado de contaminación por efecto de la intrusión reciente o pasada de agua marina. El documento contiene la información procedente de las distintas instituciones que han realizado estudios o trabajos al respecto. Se ha estudiado cuál es el origen y las causas de la intrusión marina en cada caso concreto y su relación con otros aspectos tales como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica. Así mismo se proponen actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos costeros, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.

Para el estudio y control de estos procesos es necesario conocer el modelo geológico e hidrogeológico de los diferentes acuíferos. Conocido éste, se han realizado para cada acuífero un análisis del contenido y evolución del ion cloruro y de la conductividad eléctrica, como parámetros más característicos para detectar la intrusión salina, aunque en ocasiones pueden tener un origen diferente al marino y llevar a conclusiones equivocadas. Por ello es conveniente llevar a cabo un análisis hidroquímico más completo con atención al conjunto de iones mayoritarios, minoritarios y relaciones iónicas, cuyo estudio combinado permite obtener conclusiones más certeras sobre el origen y desarrollo de los procesos de salinización.

Con los trabajos realizados se pretende disponer de información con el objeto de reducir los problemas existentes. Los objetivos generales se pueden resumir en los siguientes puntos:

- 1º. Recoger en un documento la información relativa a los fenómenos de intrusión marina en los acuíferos costeros españoles, procedente de los distintos organismos o entidades que hayan realizado estudios o trabajos al respecto.
- 2º. Determinar la situación actual y evaluar el grado de intrusión salina en los acuíferos costeros españoles.
- 3º. Analizar el origen y las causas de la intrusión en cada caso concreto y su relación con otros aspectos como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica.
- 4º. Proponer actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos costeros, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.

### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el funcionamiento hidráulico de los acuíferos costeros que se encuentran en conexión con el mar se produce, en condiciones normales, una salida de flujo subterráneo de agua dulce hacia el mismo, ejerciendo una presión sobre el agua salada que ocupa el subsuelo marino. Por su menor densidad el agua dulce tiende a situarse por encima de la salada formando una cuña cuya potencia disminuye al aproximarse a la costa. El contacto entre ambos tipos de agua no es nítido, sino que se produce una zona de mezcla que se conoce como interfase. La posición de esta interfase es variable en función de la magnitud del flujo subterráneo de agua dulce hacia el mar. Así cuando se produce una disminución en este flujo de salida, bien sea por un incremento en las extracciones realizadas en el acuífero, bien por una reducción en la infiltración de agua de lluvia o por cualquier otra causa, la cuña de agua salada avanza hacia el interior del acuífero, en mayor medida cuanto mayor sea esta disminución. Así se desarrolla en esencia el fenómeno de la intrusión marina.

Para el estudio y control de estos procesos es necesario en primer lugar conocer el funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos costeros a partir del modelo hidrogeológico.

El análisis de la piezometría permite determinar la distribución de los gradientes hidráulicos y sentidos del flujo subterráneo en todo el acuífero, facilitando la detección de zonas en las que la circulación del agua subterránea se invierte discurriendo desde la costa hacia el interior provocando la intrusión de agua salada.

Los descensos de la piezometría están frecuentemente ligados a las extracciones realizadas en el acuífero mediante pozos y sondeos, por lo que resulta también de gran ayuda el conocimiento de la distribución y cuantía de las explotaciones para predecir o explicar los procesos de intrusión.

Pero son además estos sondeos los que sirven como puntos de control mediante el muestreo y análisis de las aguas que captan. Con este objeto se diseñó la red de intrusión que gestionaba el IGME hasta el año 2000 y en la que se realizaban dos campañas de medición de cloruros y conductividad eléctrica al año. Estos son los dos parámetros más característicos para detectar la intrusión salina por sus elevados valores en el agua del mar, aunque en ocasiones pueden tener un origen diferente y llevar a conclusiones equivocadas. Por ello es conveniente llevar a cabo un análisis hidroquímico más completo con atención al conjunto de iones mayoritarios, minoritarios y relaciones iónicas, cuyo estudio combinado permite obtener conclusiones más certeras sobre el origen y desarrollo de los procesos de salinización.

También resulta de ayuda en este sentido la medición estratificada de cloruros y el registro continuo de conductividades eléctricas, aunque su objetivo principal es la definición de la geometría de las interfases y de su posición en los acuíferos.

A partir de toda esta información procesada y analizada, y de los estudios previos realizados por el IGME y otros organismos, se puede tener una visión actualizada de la situación de los acuíferos costeros españoles y un conocimiento más profundo del origen y desarrollo de los procesos de intrusión que les afectan. Por otra parte el conocimiento del estado y casuística de cada acuífero permite proponer las actuaciones más adecuadas para cada caso destinadas a controlar y reducir en la medida de lo posible los efectos negativos de estos fenómenos de salinización del agua subterránea en áreas costeras.

## **4. CUENCA HIDROGRAFICA DEL NORTE**

### **4.1 UNIDAD HIDROGEOLOGICA 01.09 CASTRO URDIALES-AJO**

#### **4.1.1 Descripción hidrogeológica**

Esta unidad está limitada al norte por el Mar Cantábrico, al sur, este y oeste por materiales de baja permeabilidad del Cretácico inferior.

Los materiales aflorantes en la unidad son de edad mesozoica y cuaternaria, fundamentalmente.

Las formaciones más antiguas presentes en la zona pertenecen al Cretácico Inferior en facies Weald . Estratigráficamente son de edad Valanginiense superior-Hauteriviense-Barremiense. Están representados por una serie terrígena de areniscas ferruginosas y micáceas, generalmente con estratificación cruzada, con intercalaciones de limos arcillosos de tonos amarillentos y rojizos y ocasionalmente gris oscuros por la presencia de restos orgánicos. La potencia total de esta facies se estima en unos 600 m y está en contacto tectónico con los materiales del Keuper, Lias o Dogger.

Sobre esta serie detrítica se apoya una potente unidad calcárea, de edad Aptiense y Albiense inferior-medio, con una potencia total de unos 800 m. Esta serie está compuesta en su base por un tramo de unos 90 m, de calcarenitas bioclásticas, grises, localmente algo dolomitizadas y normalmente bien estratificadas. El tramo medio está formado por unos 30 m de margas compactas con intercalaciones de calizas arcillosas y calcarenitas y, finalmente, el tramo superior lo constituyen unos 680 m de calizas y calcarenitas masivas, localmente dolomitizadas, con Rudistas, Corales y Briozoos.

Los depósitos cretácicos más modernos de la zona pertenecen al Albiense medio superior-Cenomaniense inferior están depositados sobre la serie calcárea anteriormente descrita. Se trata de una facies predominantemente margosa y calizo arcillosa que en su base se caracteriza por presentar alternancias de calizas y margas calcáreas grises, es decir, que presenta un tránsito más o menos gradual de la serie de calizas inferiores, mientras que hacia arriba pasa a una serie monótona de margas calcáreas o calizas arcillosas, culminando con la sedimentación de materiales fundamentalmente terrígenos.

Los materiales cuaternarios están constituidos por recubrimientos parciales de coluviones, por los aluviones de los ríos y arroyos que recorren la unidad y, finalmente, por los sedimentos antrópicos que corresponden a las escombreras de las minas de hierro y canteras explotadas dentro de la unidad.

El acuífero principal lo forman las calizas arrecifales, calizas microcristalinas y calcarenitas de edad Aptiense-Albiense, además se podrían incluir las calizas y calcarenitas del Cenomaniense Medio. La serie calcárea se encuentra muy carstificada, por lo que los valores de permeabilidad y transmisividad en esta unidad se consideran, en general, altos, teniendo en cuenta, además, que dichos parámetros presentan un rango de valores amplio como es característico en los acuíferos cársticos.

La unidad está constituida por una serie de acuíferos aislados, de dimensiones variables e independizados, en general, desde el punto de vista hidrogeológico.

La recarga se produce, principalmente, por infiltración directa del agua de lluvia y, en menor cuantía, por el agua de percolación procedente de los tramos detríticos que, en ocasiones, recubren las formaciones calcáreas y por el agua de los ríos y arroyos que atraviesan la unidad cuando las condiciones hidráulicas son favorables.

La descarga se realiza al Mar Cantábrico, a través de numerosos manantiales, y una parte, difícil de cuantificar, a ríos y arroyos, en los tramos en aquellos que funcionan como “ganadores”.

#### 4.1.2 Caracterización de las facies hidroquímicas

En la tabla 1 figuran los puntos de la red de calidad que se han considerado, junto con sus características principales. La situación de los mismos está representada en el mapa de la figura 1.

En el diagrama de Piper adjunto (figura 2) se han representado los análisis (en meq/L) de los puntos de la red de calidad correspondientes al mes de mayo de los años 1.995 y 1.999, con el objeto de contrastar la calidad en los diferentes años.

En dicho diagrama se aprecia que hay una ligera tendencia a facies más clorurada en los análisis del año 1.999, más acusada en el punto 200470003, situado en la zona de la Ría de Oriñón, también se puede apreciar este fenómeno en el punto 19044001, situado en la zona de la Ría de Ajo.

Nº de Registro	Toponimia	Coordenadas UTM		Cota (m.s.n.m.)	Naturaleza	Utilización del agua
		X	Y			
1904 4 0009	Fuente Aspirilla	455066	4814865	10	Manantial	Abastecimiento (no núcleo urbano)
1904 4 0011	Fuente El Arenal	453415	4816931	1	Manantial	Abastecimiento (no núcleo urbano)
2004 6 0009	Fuente Iseca	469891	4803658	40	Manantial	Abastecimiento a núcleos urbanos
2004 7 0003	Fuente de Oriñón	473473	4804988	10	Manantial	Desconocido
2004 8 0004	Río Suma	482147	4799646	35	Manantial	Abastecimiento a núcleos urbanos
2004 8 0005	Fuente La Cueva	479336	4801010	80	Manantial	Abastecimiento a núcleos urbanos

Tabla 1.- Características de los puntos de agua

La facies predominante en la unidad, es la bicarbonatada cálcica y las aguas presentan, mayoritariamente, dureza media y mineralización ligera.

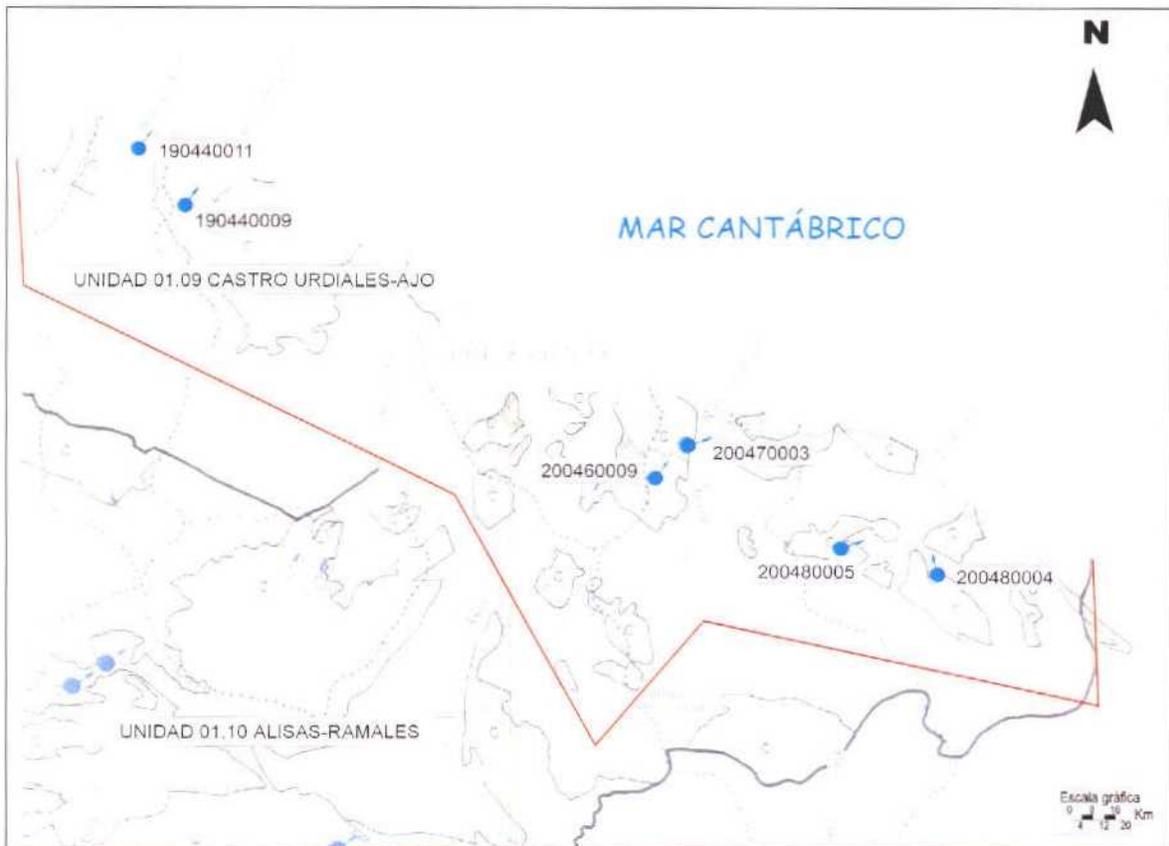


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico de la Unidad 01.09 con situación de los puntos de muestreo.

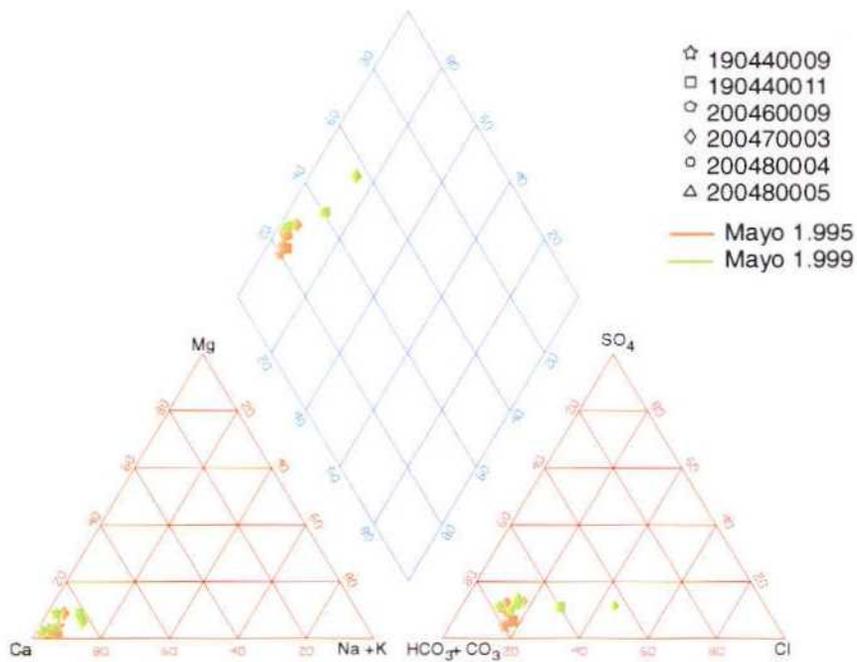


Figura 2.- Representación en el Diagrama de Piper de los análisis correspondientes a los meses de mayo de 1995 y 1999.

### 4.1.3 Análisis de las relaciones iónicas

En las tablas 2 y 3 se han calculado los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del IGME muestreados en 1.995 y 1.999 para los meses de mayo y septiembre, respectivamente.

Las relaciones iónicas calculadas indican los siguientes aspectos: en primer lugar, cabe destacar, que en los puntos 190440009, 190440011 y 200470003 (situados en la Ría de Cabo Quejo, Ría de Ajo y Ría de Oriñon, respectivamente) en los análisis correspondientes a los meses de septiembre, el valor de la relación  $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$  es inferior o próximo a la unidad, lo que significa un aumento de los cloruros respecto a los bicarbonatos.

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
190440009	0,303	0,279	0,048	0,087	4,938	3,933	0,326	0,662	0,959	1,100
190440011	0,286	0,325	0,084	0,112	2,402	1,903	0,326	0,445	1,467	1,636
200460009	0,368	0,381	0,026	0,032	4,897	5,345	0,527	0,738	0,395	0,423
200470003	0,227	0,283	0,050	0,062	1,803	1,005	0,217	0,276	1,918	3,244
200480004	0,286	0,352	0,020	0,030	5,602	6,257	0,685	1,022	0,395	0,367
200480005	0,381	0,408	0,025	0,039	5,519	5,519	0,923	0,949	0,339	0,395

Tabla 2.- RELACIONES IÓNICAS (mayo 1.995-mayo 1.999)

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99
190440009	0,298	0,367	1,018	0,060	0,016	1,692	0,101	0,297	200,291	2,595
190440011	0,300	0,382	0,174	0,113	0,351	0,685	0,152	0,172	14,669	6,291
200460009	0,476	0,381	0,047	0,041	7,843	5,539	1,292	0,640	0,339	0,423
200470003	0,318	0,296	0,118	0,070	1,046	0,995	0,193	0,144	3,244	3,047
200480004	0,327	0,327	0,035	0,031	6,257	5,644	0,896	0,527	0,395	0,395
200480005	0,508	0,396	0,058	0,042	4,689	4,689	2,214	0,908	0,254	0,367

Tabla 3.- RELACIONES IÓNICAS (septiembre 1.995-septiembre 1.999)

Este valor, en los análisis realizados en mayo en los dos primeros puntos mencionados, toma valores normales para las aguas subterráneas. Se podría interpretar que un descenso en la recarga junto con un supuesto aumento en el volumen de caudal bombeado (ya que no se tienen datos concretos de caudales de explotación) provoca un desplazamiento de la interfase agua dulce-agua salada hacia el interior, si bien, parece que este proceso cesa o se atenúa tras la época de recarga del acuífero en estas zonas, aunque con una tendencia negativa, es decir con menor recuperación en 1.999 que en 1.995.

En el punto 200470003 sucede lo mismo, indicando que el elevado contenido en cloruros detectado es independiente de la época del año. Si bien en esta zona no se tiene constancia de bombes que puedan provocar este efecto.

### 4.1.4 Diagnóstico del estado actual del acuífero

Los elevados contenidos en cloruros detectados puntualmente en dos puntos de muestreo situados en la Ría de Cabo Quejo y Ría de Ajo (190440009 y 190440011, respectivamente), alcanzándose valores máximos en octubre de 1.995 de 7.100 mg/L en el primero de ellos y de

520 mg/L en el segundo, pueden estar relacionados con la extracción de agua en la localidad de Noja, en el barrio de Helgueras, donde se localizan varios sondeos de explotación a una distancia de la línea de costa de unos 80-100 m. Por el efecto del bombeo se produce una depresión sobre el nivel piezométrico, que dada la proximidad al mar, podría provocar un desplazamiento de la denominada interfase hacia el interior, introduciendo, por lo tanto agua salina, en el acuífero.

En la zona de Castro Urdiales, junto a la ría de Brazomar, según información recibida, se localizan varios sondeos a unos 200 m del mar que estarían afectados por el mismo fenómeno, si bien al no tener puntos en la red de calidad se ignora el estado de la calidad, los puntos más cercanos son el 200480004 y el 200480005, y no están afectados por este proceso.

En la Ría de Oriñón, se tiene constancia de la existencia de dos o tres sondeos de explotación de agua subterránea, si bien no se tiene constancia de la existencia de problemas de intrusión. Según los parámetros obtenidos en el punto de la Red de Calidad 200470003, situado en esta zona, se detecta una tendencia a la facies clorurada, y unas relaciones iónicas que indican una salinidad mayor en el año 1.999 que en el año 1.995.

Además se detectaron problemas de contaminación de carácter puntual en relación, principalmente, con el vertido de residuos líquidos urbanos y procedentes de actividades agropecuarias.

#### **4.1.5 Evolución previsible y posibles actuaciones**

Se han detectado ciertos problemas por contenidos elevados en sales, probablemente en relación con la existencia de sondeos de explotación del agua subterráneas en las cercanías de la línea costera.

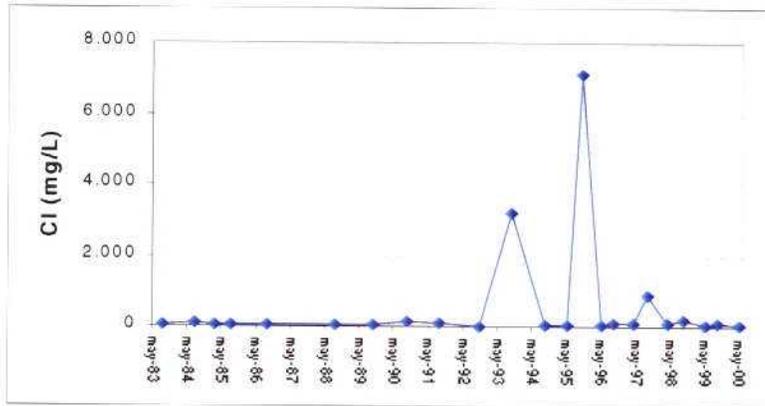
En los gráficos de las figuras 3 y 4 se ha representado la evolución de los contenidos en cloruros (mg/L) y conductividad eléctrica, respectivamente, para los 4 puntos de la Red de Calidad del IGME situados en la zona costera.

Como se puede apreciar la tendencia en el punto 200460009 es estable con un pico poco significativo en abril de 1.997 y no se prevé un aumento de la salinidad, si continúan las condiciones actuales de explotación.

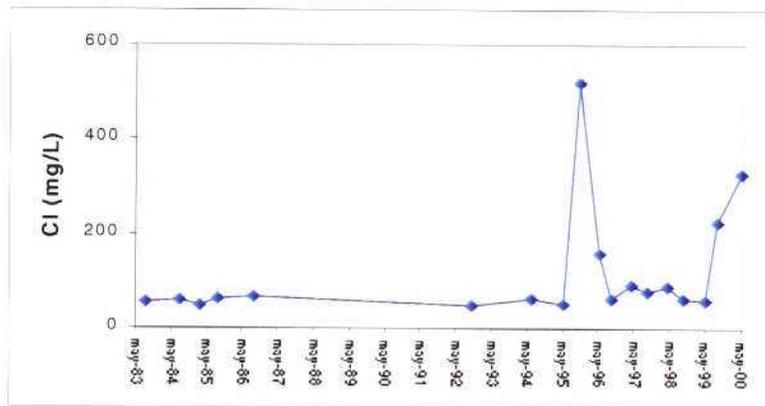
En las zonas que ya están afectadas por los bombeos (zonas de Noja y Cabo de Ajo) se prevé un aumento de la salinidad en los sondeos y en el entorno de los mismos con la consiguiente degradación de la calidad del agua subterránea, si se continúan las extracciones.

En la zona de la Ría de Oriñón se desconoce el origen de la elevada salinidad detectada en el punto 200470003 por lo que sería recomendable la realización de un estudio hidrogeológico de la zona.

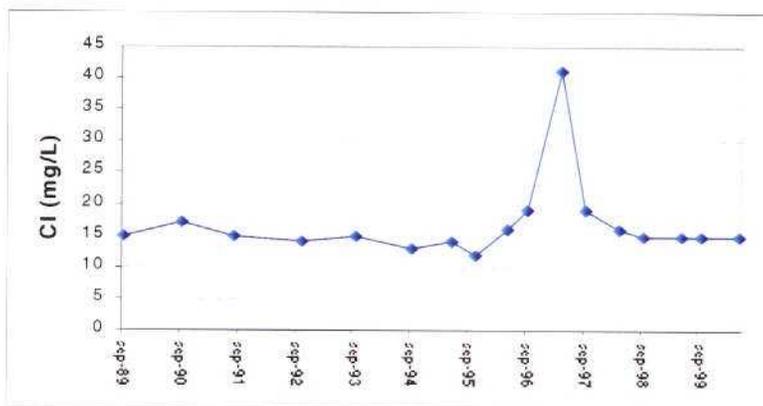
Se considera necesario establecer un control de la calidad química del agua subterránea en estas zonas, así como en la zona de Castro Urdiales con el fin de establecer las limitaciones pertinentes para que la utilización de los recursos del agua subterránea no suponga una degradación de calidad de la misma.



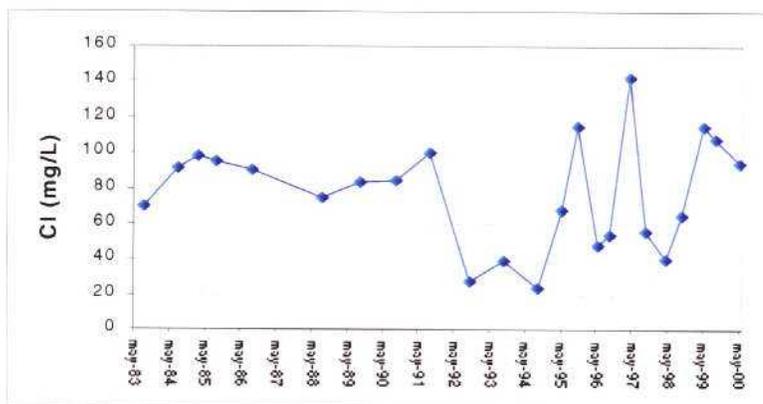
Punto 19044009



Punto 190440011

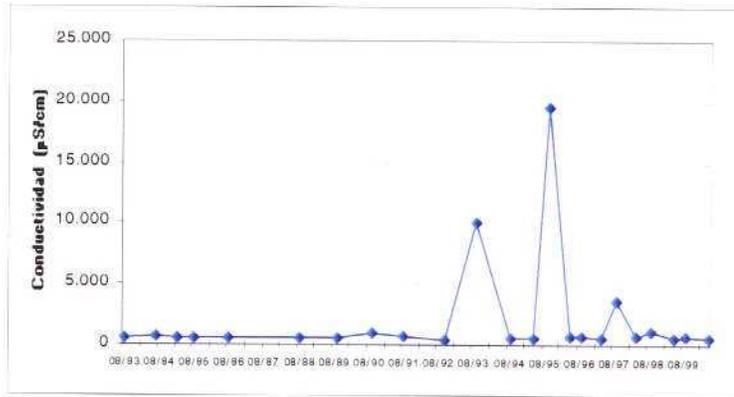


Punto 200460009

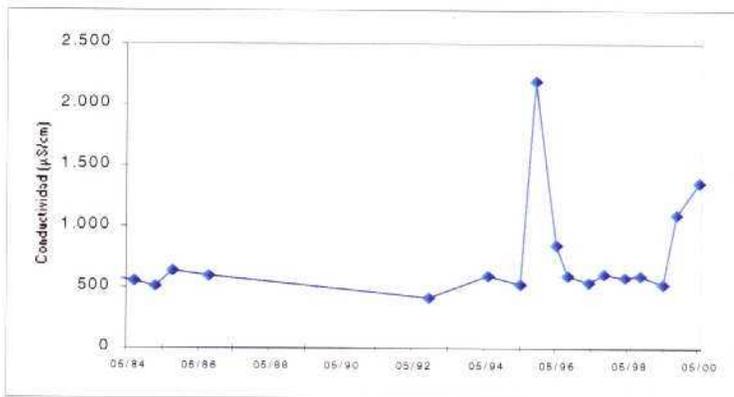


Punto 200470003

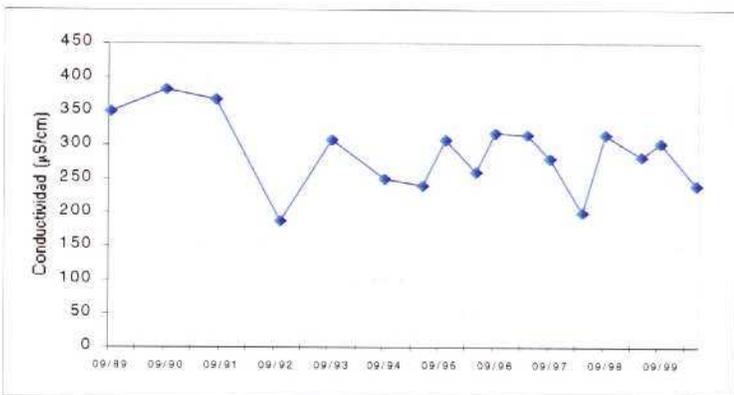
Figura 3.- Gráficos de evolución: Cloruros (mg/L)



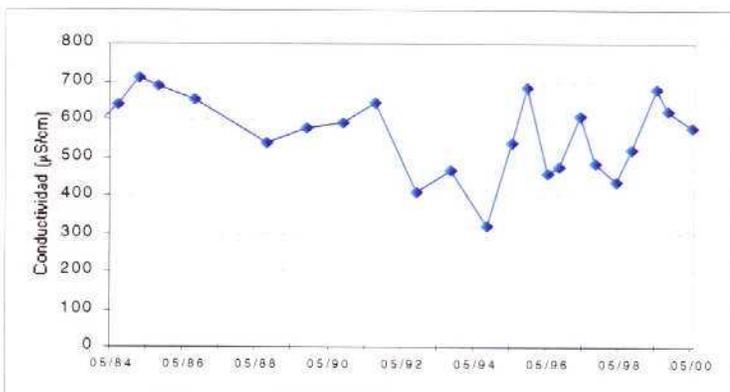
Punto 190440009



Punto 190440011



Punto 200460009



Punto 200470003

Figura 4.- Gráficos de evolución: Conductividad (µS/cm)

## 4.2 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.11 SANTANDER

### 4.2.1 Descripción hidrogeológica

Esta Unidad, situada en la parte central de la Comunidad Autónoma de Cantabria, está limitada al Norte por el Mar Cantábrico, al Sur linda con la Unidad 01.14, al Este con las Unidades 01.11 y 01.10 y al Oeste con la Unidad 01.15.

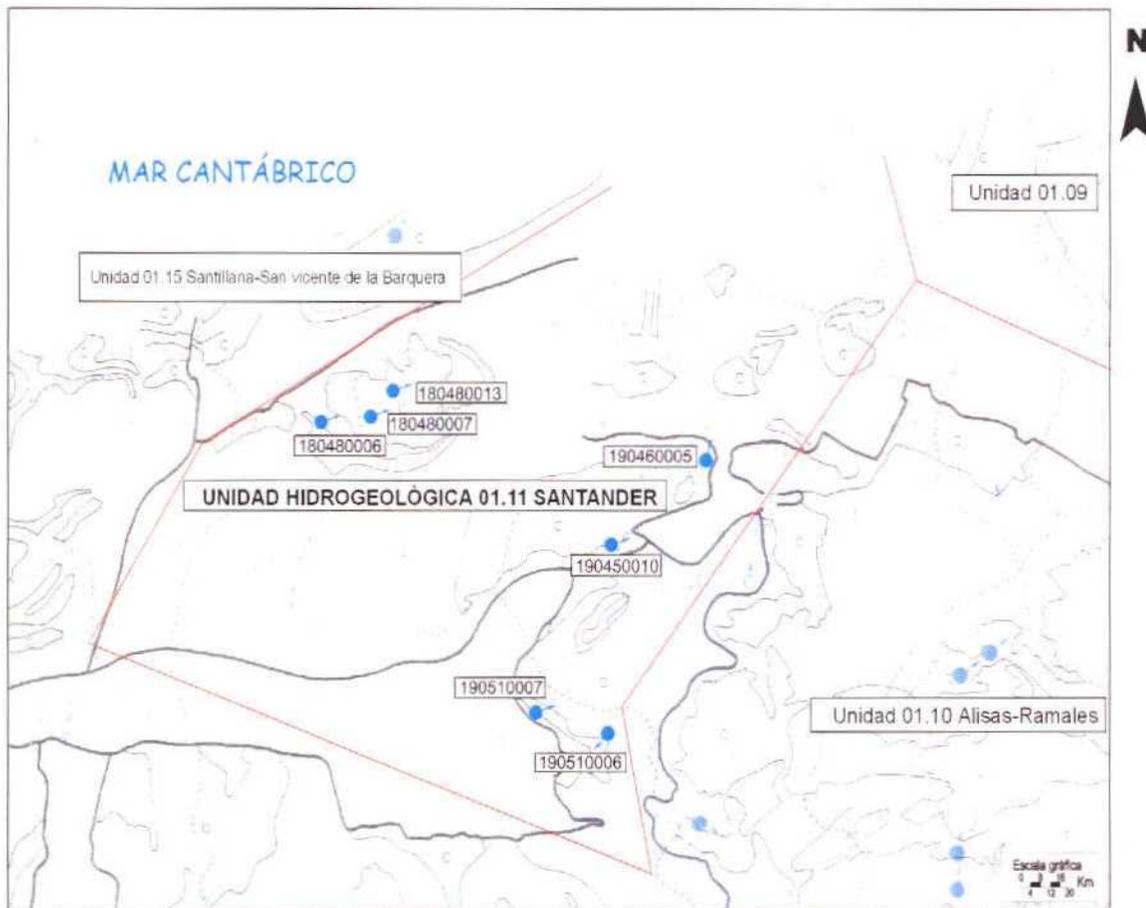


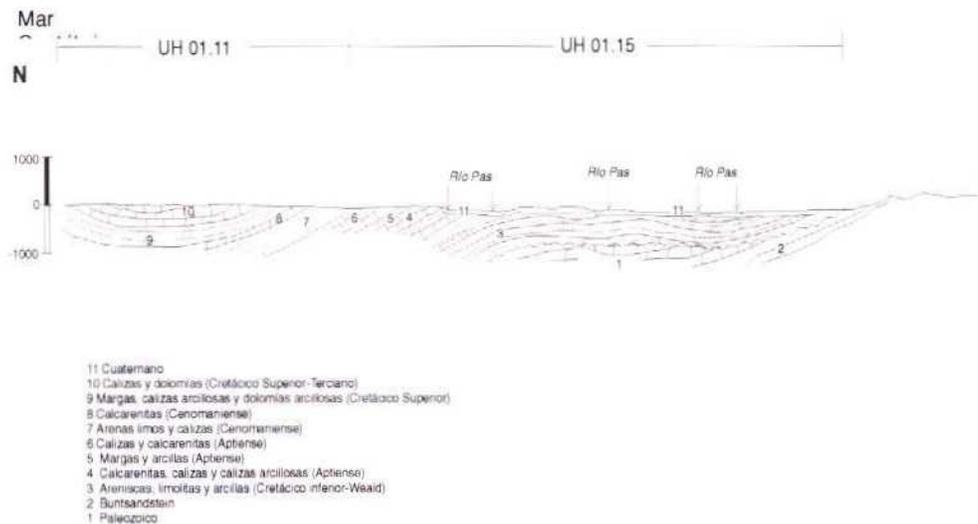
Figura 1.- Mapa Hidrogeológico de la Unidad 01.11 con situación de los puntos de muestreo.

La litología de los acuíferos representados en esta unidad está constituida por calizas arrecifales, calizas microcristalinas y calcarenitas de edad Aptiense-Albiense. También se pueden incluir las calizas y calcarenitas del Cenomaniense Medio. Al sureste de la unidad afloran materiales jurásicos entre los que, desde el punto de vista de un interés hidrogeológico cabe destacar los materiales calcáreos del Lías y Dogger. (Figura 1).

Los acuíferos calcáreos están constituidos por masas de calizas y/o dolomías de diferente entidad, aisladas hidráulicamente, en general, unas de otras.

Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento son muy variables en función del grado de fracturación y karstificación y posterior relleno, pero en general son altos.

La alimentación se produce principalmente por infiltración directa del agua de lluvia y la descarga se realiza a través de manantiales entre los que destacan los de Medio-Cudeyo, fuente El Collado y el manantial Laguana, a través de ríos y arroyos en los tramos en los que las condiciones hidráulicas son favorables, destacando los ríos Pas, Miera y el arroyo Cubón. Un pequeño porcentaje de la recarga se supone que descarga directamente al Mar Cantábrico, si bien es muy difícil de determinar.



**Figura 1: Corte esquemático de la zona Oeste de la Unidad 01.11, en el límite con la Unidad 01.15. Dirección y escala aprox. NNE-SSO y 1/250.000, respectivamente.**

Nº de Registro	Toponimia	Coordenadas UTM		Cota (m.s.n.m.)	Naturaleza	Caudal (L/s)	Utilización del agua
		X	Y				
1804 8 0006	Puente Arce	425051	4805916	45	Manantial	10	Abastecimiento (no núcleo urbano)
1804 8 0007	Fte. El Collado	427850	4806146	70	Manantial	15	Abastecimiento (no núcleo urbano)
1804 8 0013	La Sima 2	428361	4807516	58	Piezómetro		No se utiliza
1904 5 0010	Fte. de Elsedo	435550	4800983	100	Manantial	2	No se utiliza
1904 6 0005	La Cotilla	Confidencial		50	Manantial	34	Abastecimiento (no núcleo urbano)
1905 1 0006	San Jacinto	435936	4793313	290	Manantial	35	Abastecimiento núcleos urbanos
1905 1 0007	Riuco	432950	479460	138	Manantial	15	Abastecimiento (no núcleo urbano)

**Tabla 1.- Características de los puntos de agua**

#### 4.2.2 Caracterización de facies hidroquímicas

Los puntos seleccionados por su proximidad a la costa se relacionan en la tabla 1, junto con sus características principales.

En el diagrama de Piper adjunto (figura 2) se han representado los análisis (en meq/L) de los puntos de la red de calidad correspondientes al mes de mayo de los años 1.995 y 1.999, con el objeto de contrastar la calidad en los diferentes años.

En este diagrama se puede apreciar que prácticamente todas las aguas muestreadas se corresponde con facies bicarbonatada cálcica, exceptuando las correspondientes a los puntos 180480007 y 180480013, que presentan facies sulfatada-bicarbonatada cálcica en el primer caso y bicarbonatada-clorurada cálcica en el segundo. Cabe destacar que ninguno de los dos puntos mencionados está situado en zona costera por lo que el elevado contenido de cloruros no se debe a fenómenos de intrusión marina. No se aprecia ninguna variación importante entre los análisis correspondientes a 1.995 y a 1.999.

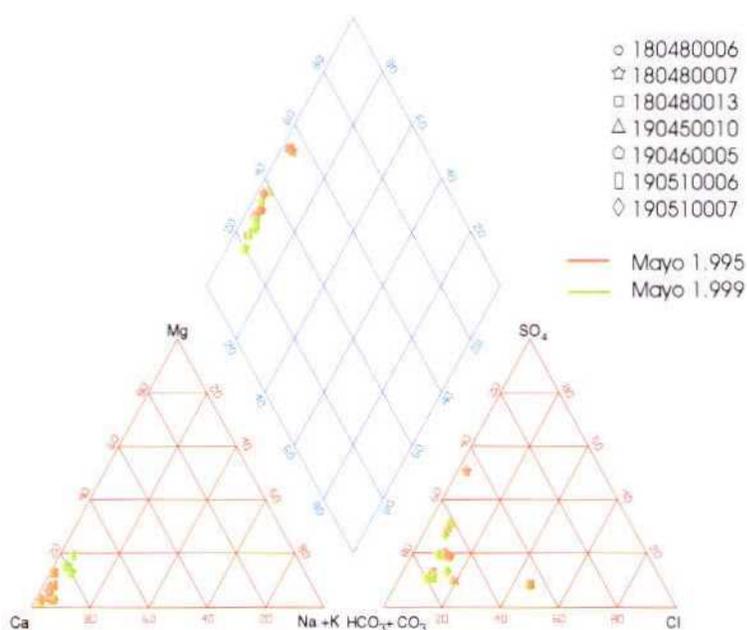


Figura 2.- Diagrama de Piper, representación de los análisis correspondientes a los meses de mayo de 1.995 y 1.999.

#### 4.2.3 Análisis de las relaciones iónicas

En las tablas 2 y 3 se muestran los valores de las relaciones iónicas más significativas correspondientes a los puntos de la unidad pertenecientes a la Red de Calidad del IGME muestreados en 1.995 y 1.999, en los meses de mayo y septiembre, respectivamente.

Los valores de las relaciones iónicas calculadas se corresponden con valores típicos de aguas continentales, sin que se aprecie en ningún caso presencia de intrusión. En el punto 190460005, situado al sur de la Ría de Cubas, el valor de la relación  $rHCO_3/rCl$  es próximo a la unidad, lo que indica disolución de facies evaporíticas y no presencia de intrusión marina, dada su lejanía al mar (5 km aprox.).

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
180480006	0,437	0,390	0,046	0,033	7,587	5,361	1,259	1,476	0,480	0,621
180480007	0,429	0,357	0,050	0,042	7,952	5,519	3,321	3,106	0,451	0,677
180480013	0,334		0,144		15,493		16,852		0,339	
190450010	0,286	0,368	0,078	0,195	7,594	7,470	1,318	2,109	0,395	0,395
190460005	0,360	0,392	0,116	0,116	0,931	0,890	0,167	0,279	4,119	4,034
190510006	0,260	0,408	0,096	0,081	3,803	6,474	0,537	1,898	0,310	0,197
190510007	0,286	0,400	0,030	0,069	8,483	9,354	4,281	12,620	0,282	0,282

**Tabla 2.- Relaciones iónicas (mayo 1.995-mayo 1.999)**

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99
180480006	0,682	0,335	0,043	0,041	5,966	4,808	0,908	0,865	0,733	0,818
180480007	0,627	0,403	0,038	0,047	5,548	2,575	1,071	1,208	0,875	1,241
190450010	0,704	0,322	0,165	0,252	8,626	6,972	1,249	1,107	0,367	0,451
190460005	0,385	0,369	0,119	0,123	0,993	0,911	0,174	0,162	4,062	3,978
190510006	1,429	0,429	0,099	0,061	5,713	5,519	2,829	1,107	0,169	0,226
190510007	1,017	0,327	0,069	0,076	10,135	7,553	3,936	3,374	0,254	0,395

**Tabla 3.- Relaciones iónicas (septiembre 1.995-septiembre 1.999)**

#### 4.2.4 Diagnóstico del estado actual del acuífero

La calidad de las aguas de la Unidad 01.11 es en general buena. Los únicos problemas, detectados de manera esporádica, son debidos a contenidos elevados de sodio en el punto 180480006, situado en las proximidades del embalse del Pozon de la Dolores. Y de forma ocasional se detectaron valores relativamente elevados de hierro y nitritos en la zona de Solares. En ambos casos, se considera que la causa podría estar en relación con vertidos de aguas residuales ocasionales.

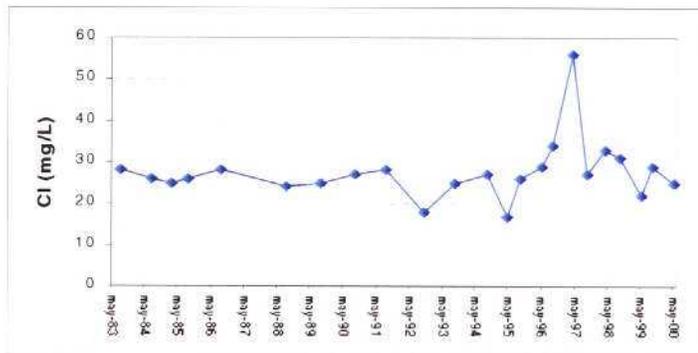
En los puntos muestreados no se ha detectado ningún problema en relación con intrusión marina.

#### 4.2.5 Evolución previsible y posibles actuaciones

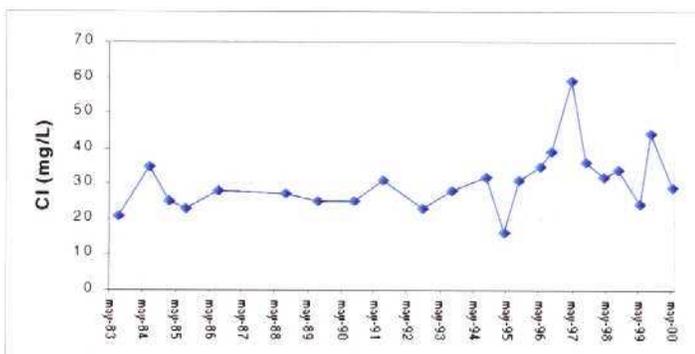
El volumen de las explotaciones subterráneas que se conocen en la zona costera es escaso por lo que se no se prevé a corto plazo ningún problema de intrusión. Sería recomendable un estudio más detallado de la calidad química de las aguas a fin de estudiar los posibles problemas en relación con vertidos de residuos sin depuración, en zonas de posible afección a las aguas subterráneas.

Se han realizado gráficos de evolución en el tiempo de conductividad eléctrica y cloruros (figuras 4 y 5) y no se aprecia ninguna variación importante. Cabe destacar que el punto más cercano a la costa donde se ha recogido muestra es el 190460005, que está situado al sur de la localidad de Solórzano, a una distancia considerable del mar.

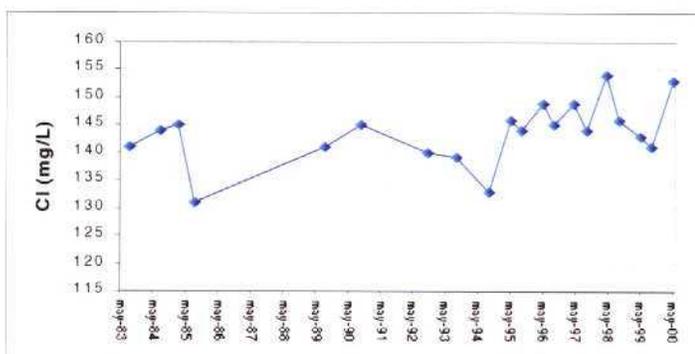
Sería interesante el análisis de las aguas subterráneas en la zona costera a fin de corroborar la presencia o no de fenómenos de intrusión marina y establecer un control periódico para la posible acutación en caso de que se produjeran nuevas explotaciones que afectaran a la calidad del agua en relación con este fenómeno.



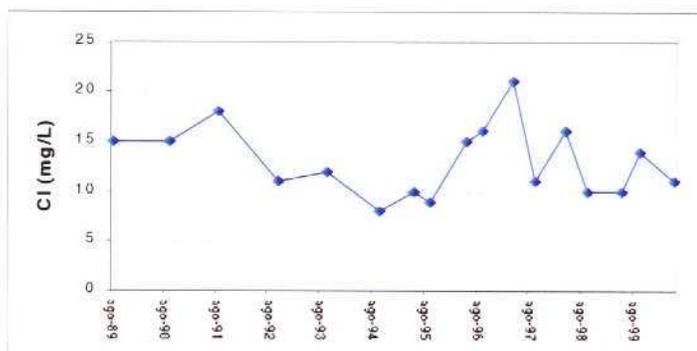
Punto 180480006



Punto 180480007

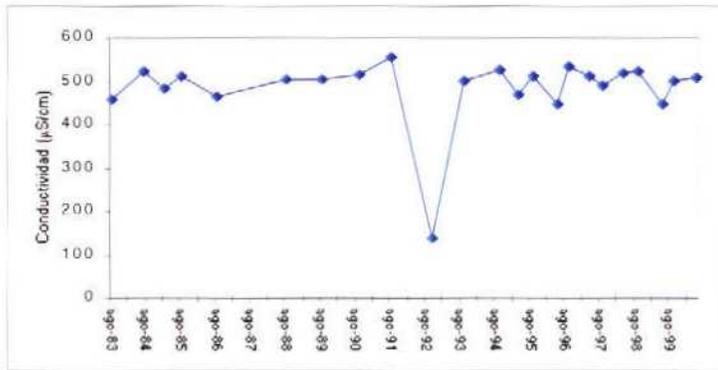


Punto 190460005

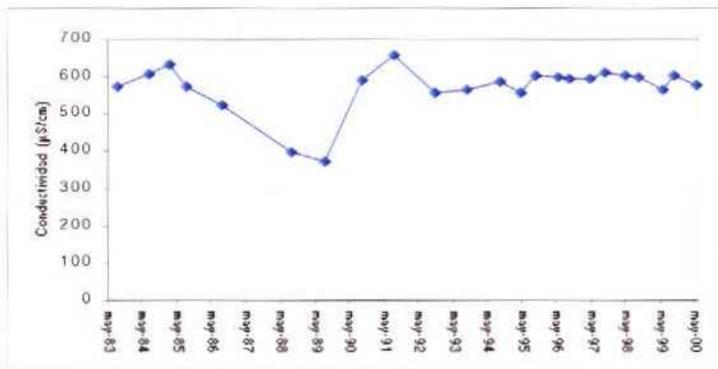


Punto 190510007

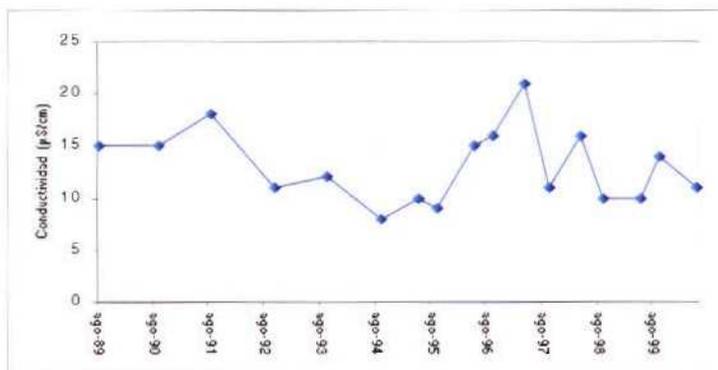
Figura 3.- Gráficos de evolución: Cloruros (mg/L)



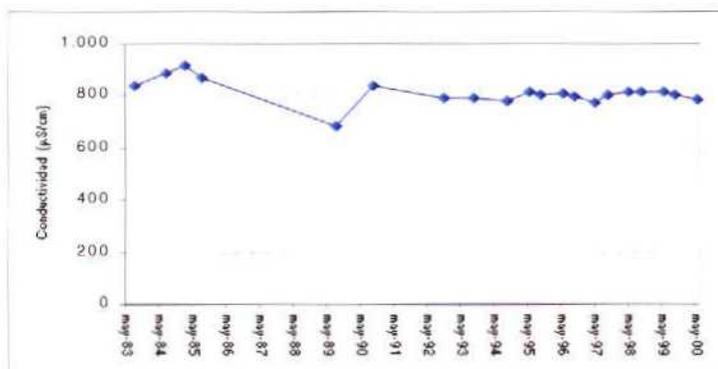
Punto 180480006



Punto 180480007



Punto 190460005



Punto 190510007

Figura 4.- Gráficos de evolución: Conductividad eléctrica (µS/cm)

### **4.3 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.15 SANTILLANA-SAN VICENTE DE LA BARQUERA**

#### **4.3.1 Descripción hidrogeológica**

Esta unidad está situada en la zona costera occidental de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Se extiende desde Unquera hasta el Cabo Mayor, situado al oeste de Santander. Está limitada al norte por el Mar Cantábrico, al sur por la unidad geológica estructural denominada “Franja Cabalgante del escudo de Cabuérniga” y al este y oeste por los materiales impermeables del Trías y/o Paleozoico. Se pueden distinguir 3 subsistemas o subunidades hidrogeológicas:

- Subsistema de San Román
- Subsistema de Comillas
- Subsistema Mesoterciario Costero

Litológicamente los niveles acuíferos están constituidos por calizas del Cretácico terminal-Terciario en la zona más oriental de la unidad (antiguamente denominada subsistema de San Román), por calizas de edad Aptiense-Albiense-Cenomaniense en la zona central (subsistema de Comillas) y por los sedimentos calcáreos del Cretácico terminal y del Aptiense-Cenomaniense en la zona occidental de la unidad (subsistema Mesoterciario Costero). El subsistema más importante es el Subsistema de Comillas por la cuantía de sus recursos y reservas.

Los materiales del Cretácico terminal-Terciario constituyen un acuífero calcáreo libre, con valores, en los parámetros de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, muy variables pero en general altos. Los sedimentos calcáreo dolomíticos de edad Aptiense-Albiense-Cenomaniense constituyen un acuífero multicapa, debido a las intercalaciones arcillosas, limosas y margosas que presenta. Está en gran parte confinado, con valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento igualmente variables en función de la carstificación, fracturación y posterior relleno, pero en general elevados.

El sustrato impermeable de estos acuíferos lo constituyen los sedimentos impermeables del Wealdense.

La recarga se realiza a partir de la infiltración directa del agua de lluvia; de la infiltración del agua de escorrentía de los materiales impermeables y de la infiltración de los ríos que fluyen por las zonas permeables cuando las condiciones hidráulicas son favorables. La descarga tiene lugar a través de numerosos manantiales entre los que destacan Fuente Soto, Manantial de Yates, Fuente La Presa y Manantial de San Miguel; a través de ríos y arroyos que atraviesan la unidad en condiciones hidráulicas favorables, entre los que cabe mencionar los Ríos: Saja, Besaya, Nansa, Deva y El Escudo y a través de algunos puntos, muy próximos a la costa o en la plataforma, que descargan directamente al Mar Cantábrico.

Los recursos totales estimados en la unidad se sitúan entre 52 y 90 hm<sup>3</sup>/año.

### 4.3.2 Caracterización de facies hidroquímicas

En la tabla 1 figuran los puntos de la red de calidad que se han considerado, junto con sus características principales, en mapa hidrogeológico de la figura 1, su situación y en la figura 2 puede apreciarse un corte hidrogeológico esquemático Norte-Sur.



Figura 1.- Mapa Hidrogeológico de la Unidad 01.15 con situación de los puntos de muestreo.

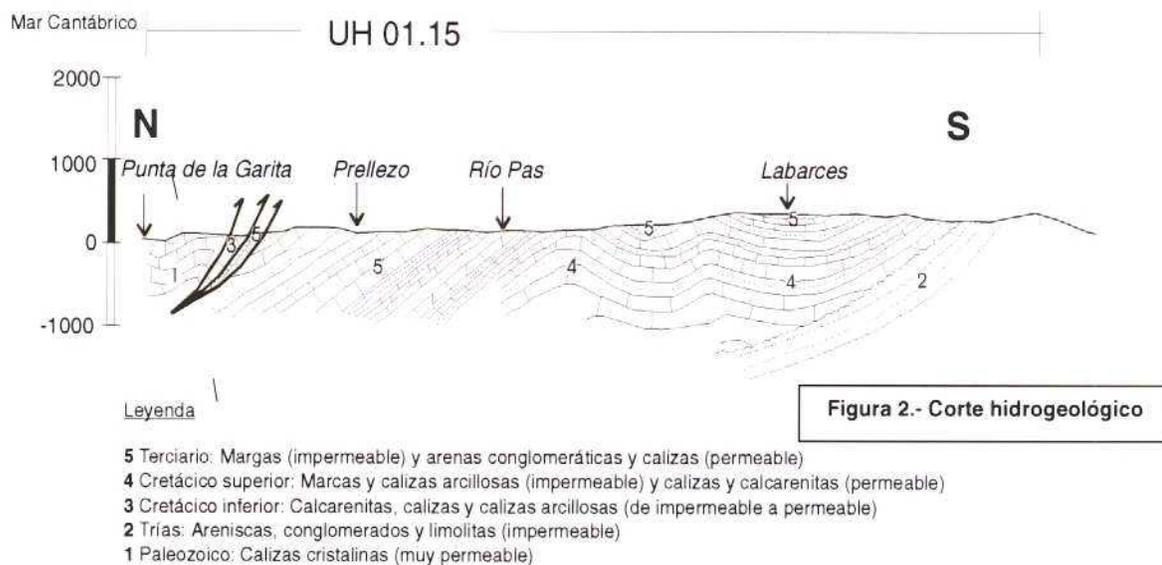
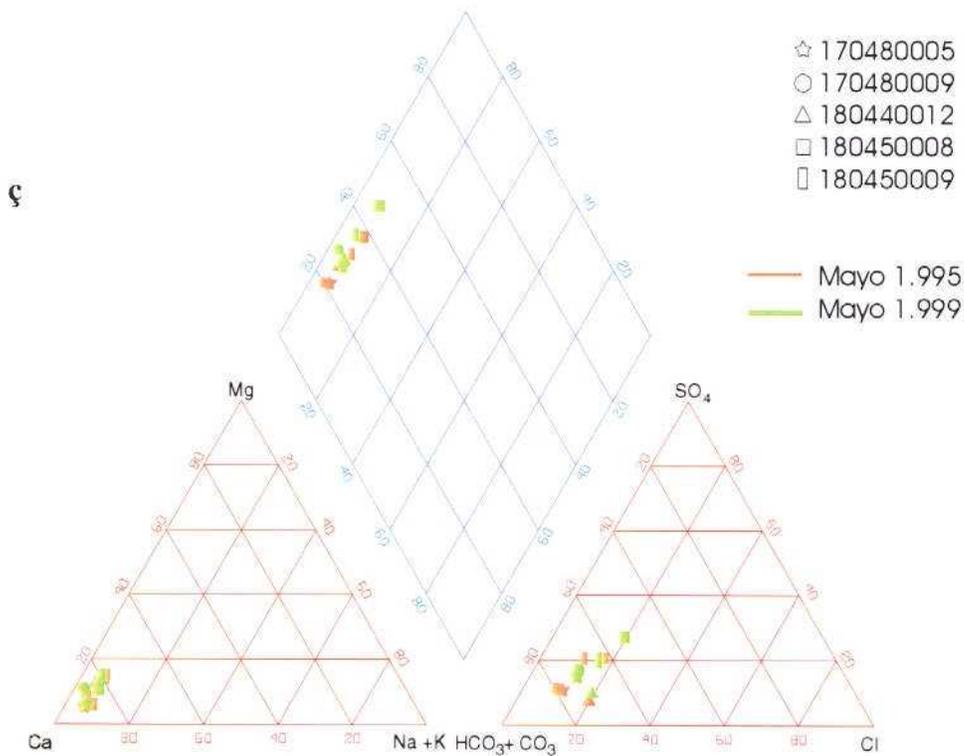


Figura 2.- Corte hidrogeológico

Nº de Registro	Toponimia	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Naturaleza	Caudal (L/s) (fecha)	Utilización del agua
		X	Y				
1704 8 0005	Royanes	397892	4803462	85	Manantial	0,5	Abastecimiento público
1704 8 0009	Ruiloba	400160	4804492	100	Sondeo	4	No se utiliza
1804 4 0012	Prezanes	426250	4812250	35	Sondeo	20	Abastecimiento poblaciones
1804 5 0008	Rogería	408758	4805051	70	Manantial		Abastecimiento público
1804 5 0009	Caborredondo	406516	4805766	35	Manantial	0,25 (3/3/83)	No se utiliza

**Tabla 1.- Características de los puntos de agua**

En el diagrama de Piper adjunto (figura 3) se han representado los análisis (en meq/L) de los puntos de la red de calidad correspondientes al mes de mayo de los años 1.995 y 1.999, con el objeto de contrastar la calidad en los diferentes años.



**Figura 3.- Diagrama de Piper. Representación de análisis químicos correspondientes a los meses de mayo de 1.995 y 1.999.**

En este diagrama se puede apreciar que prácticamente todos los puntos muestreados se corresponden con facies bicarbonatada cálcica, exceptuando el punto 180450008, situado al oeste de Santillana, que presenta aguas con facies bicarbonatada-sulfatada cálcica en el análisis realizado en mayo de 1.999. El elevado contenido de sulfatos en dicho punto podría ser debido a presencia de materiales evaporíticos en la zona. No se aprecia ninguna variación importante entre los análisis correspondientes a 1.995 y a 1.999, ni se detecta presencia de fenómenos de intrusión en ninguna de las muestras analizadas.

### 4.3.3 Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla 2 se han calculado los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la unidad pertenecientes a la Red de Calidad del IGME muestreados en 1.995 y 1.999.

Las relaciones iónicas muestran que se trata de aguas continentales, sin que se aprecie influencia de facies clorurada, que podría ser indicativo de fenómenos de intrusión.

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
170480005	0,393	0,373	0,072	0,068	6,899	5,330	0,969	1,123	0,451	0,649
170480009	0,429	0,308	0,103	0,127	8,824	5,899	1,292	1,391	0,451	0,733
180440012	0,264	0,291	0,152	0,180	3,620	3,608	0,355	0,518	1,467	1,608
180450008	0,391	0,327	0,084	0,124	3,700	2,739	1,282	1,397	0,536	0,790
180450009	0,463	0,304	0,195	0,188	5,755	3,922	1,792	1,222	0,592	0,903

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99
170480005	0,369	0,330	0,093	0,071	4,573	5,140	0,714	0,539	0,875	0,733
170480009	0,335	0,240	0,145	0,173	5,770	3,992	0,636	0,571	0,818	0,875
180440012	0,286	0,221	0,159	0,180	4,025	3,710	0,422	0,285	1,580	1,608
180450008	0,327	0,276	0,081	0,127	3,320	3,065	0,949	0,789	0,790	0,818
180450009	0,381	0,293	0,131	0,163	4,824	4,007	1,543	0,852	0,931	1,100

Tabla 2.- Relaciones iónicas

### 4.3.4 Diagnóstico del estado actual del acuífero

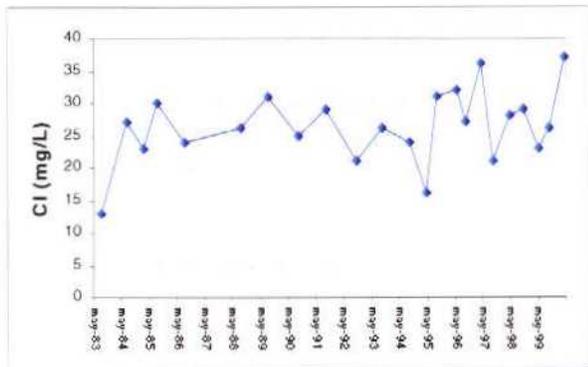
La calidad de las aguas subterráneas de la Unidad 01.15 en la zona costera es en general buena. No se ha detectado ningún problema de contaminación en los puntos analizados cumpliendo todos ellos con la normativa vigente de calidad de aguas potables respecto a los parámetros medidos.

### 4.3.5 Evolución previsible y posibles actuaciones

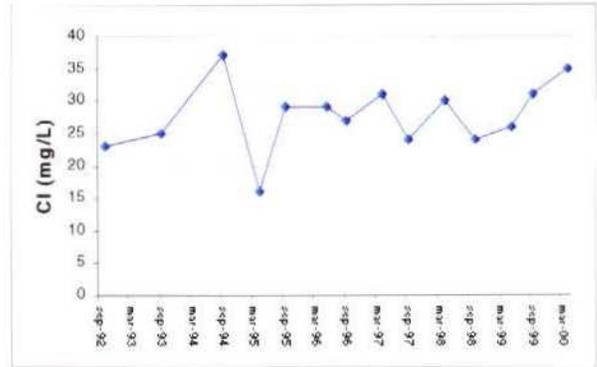
El número de explotaciones de agua subterránea mediante bombeo que se conocen en la zona costera es escaso, por lo que no se prevé a corto plazo que surjan problemas de contaminación por fenómenos de intrusión marina.

No obstante, se considera necesario establecer por parte de la autoridad competente, un control sobre explotaciones futuras de agua subterránea mediante bombeo para prevenir posibles afecciones. Asimismo, es recomendable el establecimiento de una red de control de la calidad química de las aguas subterráneas en relación con dichos fenómenos destinada a corroborar la ausencia de procesos de intrusión y el diseño de un Plan de Actuación en caso de que se produjeran.

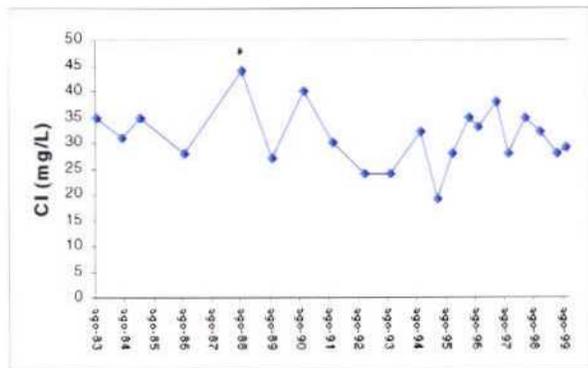
Se han realizado gráficos de evolución en el tiempo de conductividad eléctrica y cloruros (figuras 4 y 5) y no se aprecia ninguna variación importante.



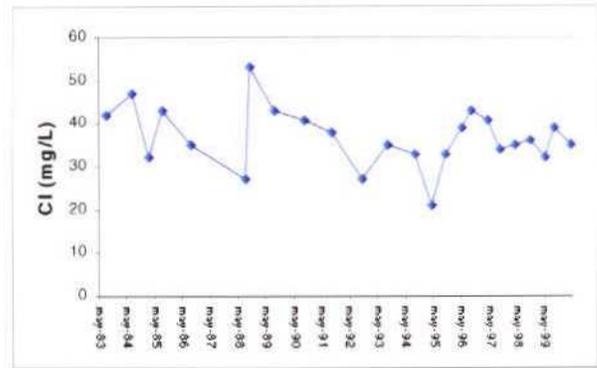
Punto 170480005



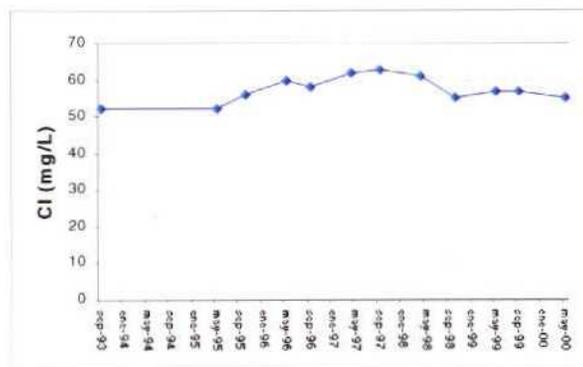
Punto 170480009



Punto 180450008

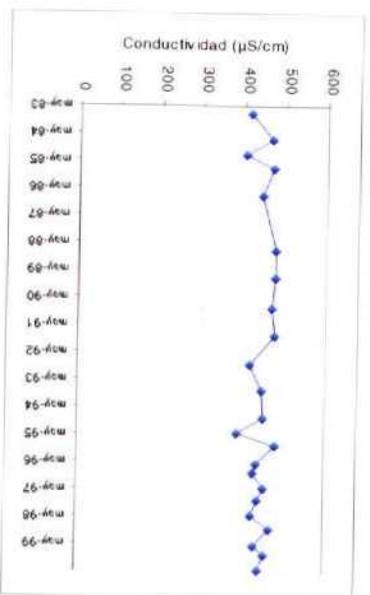


Punto 1804450009

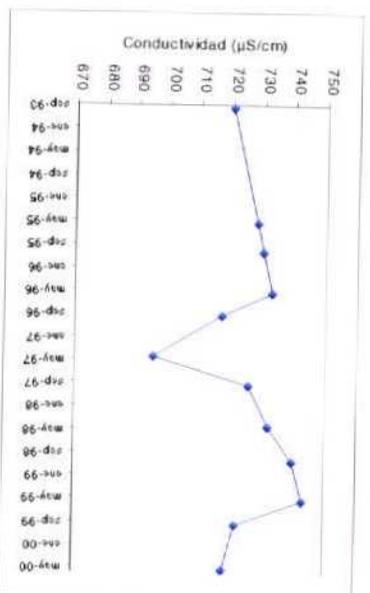


Punto 180440012

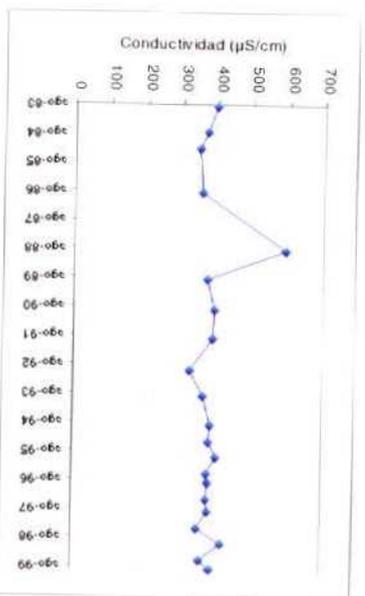
Figura 3.- Gráficos de evolución: Cloruros (mg/L)



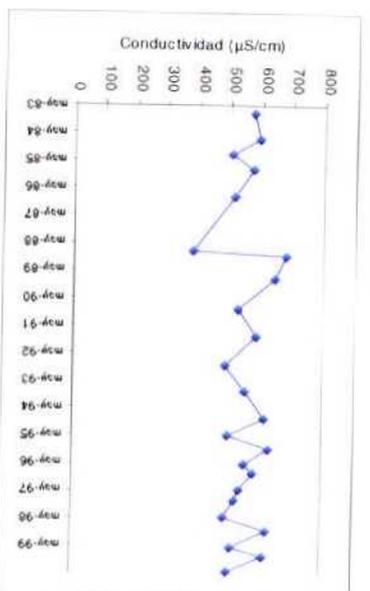
Punto 170480005



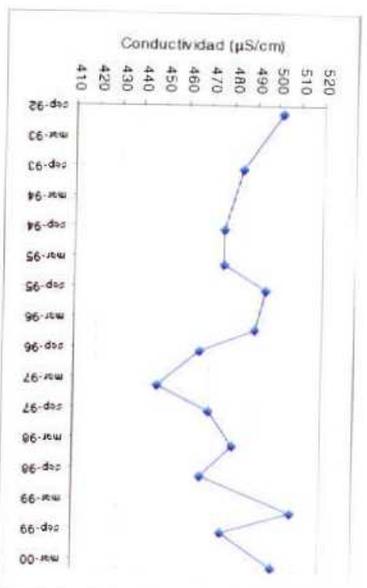
Punto 170480009



Punto 180450008



Punto 1804450009



Punto 18040012

Figura 4.- Gráficos de evolución: Conductividad eléctrica (µS/cm)

## 4.4 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.16 LLANES-RIBADESELLA

### 4.4.1 Descripción hidrogeológica

Es la unidad costera situada más al Este del Principado de Asturias. Las formaciones acuíferas que la integran están constituidas por materiales de naturaleza calcáreo-dolomítica de edad Carbonífera y son las siguientes:

- Formación Barcaliente: está representada por un conjunto de calizas negras a gris oscuras, fétidas y laminadas. Se encuentra dolomitizada frecuentemente y contiene alguna intercalación margosa. Presenta un espesor que varía entre 140 y 300 m y su edad corresponde al Namuriense A (Carbonífero superior).
- Formación Valdeteja: de edad Namuriense B-Namuriense C, está constituida, fundamentalmente, por calizas gris claras, con alguna intercalación margosa, contiene corales, braquiópodos y fusulínidos y con frecuencia está dolomitizada. La potencia varía entre 100 y 650 m.
- Formación Picos de Europa: representada por calizas gris claras a blancas, bioclásticas, con fusulínidos, masivas y con niveles finamente estratificados (tableada). En la parte alta de la serie aparecen niveles rojizos de caliza nodulosa. Su espesor oscila entre los 300 y los 520 m.
- Formación Puentellés: calizas grises o negruzcas de hasta 400 m de espesor, que van acompañadas de intercalaciones pizarrosas calcoarcillosas, arenoso-limosas, negras a gris oscuras. Contienen abundantes fusulínidos y algas.

Desde el punto de vista estructural esta unidad se caracteriza por la presencia de numerosos pliegues y cabalgamientos que condicionan el funcionamiento hidrogeológico de la misma.

Esta unidad consta de 5 acuíferos principales, de los cuales, dos limitan con el Mar Cantábrico: Acuífero Costero de Llanes y Acuífero Costero de Ribadesella

Estos acuíferos de naturaleza calcárea presentan una permeabilidad desarrollada por fisuración, fracturación y carstificación, siendo aquella variable en función de dichos parámetros, y de los posibles rellenos de calcita y arcilla. También se puede ver incrementada por procesos secundarios de dolomitización.

La permeabilidad en estas formaciones, por lo tanto, es variable y anisótropa, pudiendo variar entre límites muy amplios, e incluso resultar nula.

La recarga de esta unidad se realiza principalmente por la infiltración directa del agua de lluvia (nieve, en las cotas superiores) y en menor medida por aportes procedentes de ríos y arroyos.

La descarga se realiza directamente al Mar Cantábrico en la zona costera, y a los ríos que discurren por la zona y a los numerosos manantiales que afloran en ella. Los más importantes en los acuíferos considerados son:

	Ríos y arroyos	Manantiales
Costero de Ribadesella	Sella, San Miguel y Guadamía	Tito Bustillo (25 L/s), Fte. Alloru (25 L/s), Playa de Naves (20 L/s), Santianes (15 L/s) y Calabrez (22 L/s)
Costero de Llanes	Bedón, Purón, Novalés, Carrocedo	El Cagalín (30 L/s), Fte. Vallina (25 L/s), Niembro (50 L/s), Piedra (20 L/s), A° del Requexo (12 L/s)

#### 4.4.2 Caracterización de facies hidroquímicas

En la tabla 1 figuran los puntos de la red de calidad que se han considerado, junto con sus características principales, en mapa hidrogeológico de la figura 1, su situación y en la figura 2 puede apreciarse un corte hidrogeológico esquemático Norte-Sur.



Figura 1.- Mapa Hidrogeológico de la Unidad 01.16 con situación de los puntos de muestreo.

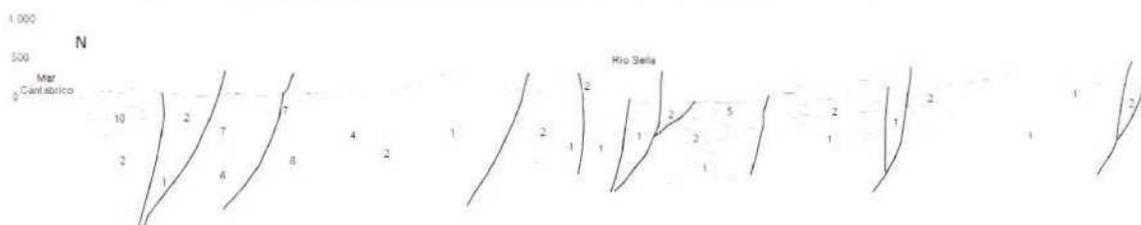


Figura 2.- Corte Norte-Sur

- 1 Cuarzitas blancas-Ordovícico (permeabilidad baja)
- 2 Calizas oscuras-Carbonífero (permeabilidad media-alta)
- 4 Lutitas, limolitas y areniscas-Carbonífero (impermeable)
- 5 Tramo lutítico-Carbonífero (impermeable)
- 6 Calizas claras-Carbonífero (permeabilidad media-alta)
- 7 Lutitas, limolitas y areniscas-Carbonífero (impermeable)
- 10 Areniscas, margas y lutitas-Jurásico (impermeable)

Nº de Registro	Toponimia	Coordenadas UTM		Cota (m.s.n.m.)	Naturaleza	Utilización del agua
		X	Y			
1404 4 0004	Fuente del Verdugo	319270	4814750	40	Manantial	Abastecimiento a núcleos urbanos
1504 4 0002	Fuente del Alloru	346135	4812348	20	Manantial	Abastecimiento a núcleos urbanos
1504 3 0001	Río Guadamía	337813	4811290	85	Manantial	No se utiliza
1604 1 0001	Jonfría	351239	4810613	20	Manantial	Abastecimiento a núcleos urbanos
1604 1 0002	Playa de Celorio	353725	4810480	1	Manantial	No se utiliza

Tabla 1.- Características de los puntos de agua

En el adjunto diagrama de Piper (figura 3) se han reflejado los puntos de la Red de Calidad del IGME para los años 1.995 y 1.999 apreciándose que no hay ningún problema respecto a la intrusión marina en los puntos muestreados. Se representa también el análisis de 1.996 correspondiente al punto 160410002, ya que aunque no está incluido en la red de calidad del IGME, se considera interesante por el elevado contenido de cloruros que presenta.

Los resultados de los análisis químicos de aguas realizados en los puntos de agua incluidos en la Red de Calidad del IGME indican que las aguas presentan una facies bicarbonatada cálcica o cálcico magnésica, principalmente, exceptuando el punto 160410002 que presenta facies clorurada sulfatada cálcica.

En los acuíferos costeros la mineralización y la dureza predominantes son, respectivamente, ligera y media.

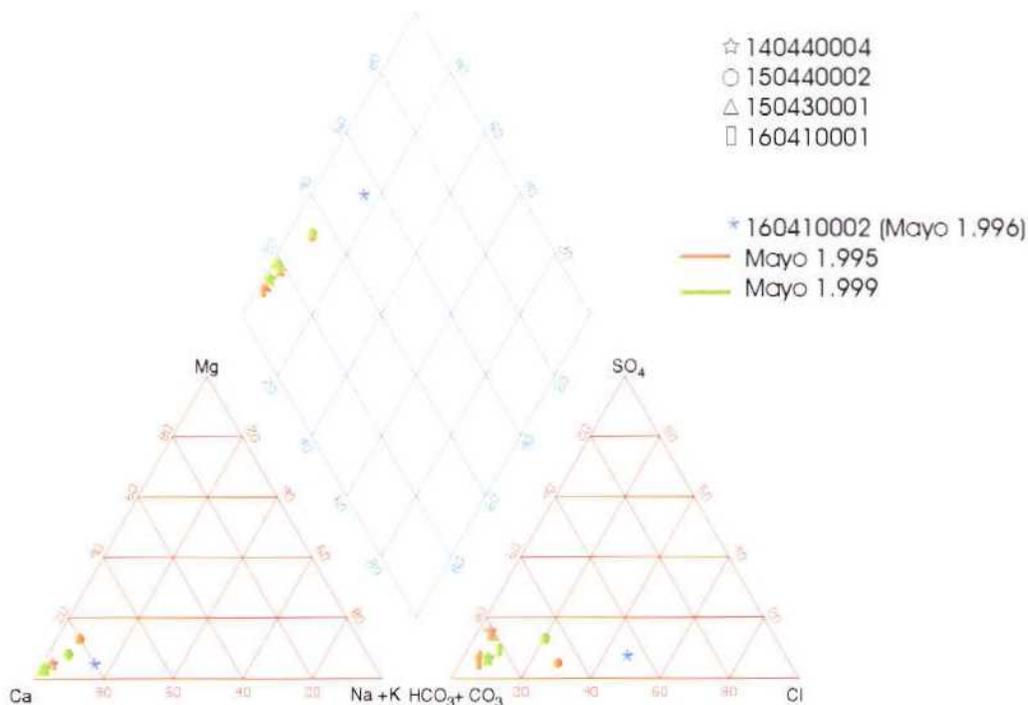


Figura 3.- Diagrama de Piper. Representación de análisis químicos correspondientes a los meses de mayo de 1.995 y 1.999.

#### 4.4.3 Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla 1 se han calculado los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la unidad pertenecientes a la Red de Calidad del IGME muestreados en 1.995 y 1.999. Incluyendo además las correspondientes al análisis realizado en el punto 160610002 en mayo de 1.996.

De las relaciones iónicas calculadas se puede deducir que no existen fenómenos de intrusión, ya que no se aprecia influencia de facies clorurada, en los puntos analizados en 1.995 y 1.999. Se dispuso de un análisis realizado en mayo de 1.996, en el punto 160410002, situado en la playa de la localidad de Celorio (Llanes) en el cual, los valores obtenidos de las relaciones iónicas indican cierta influencia de facies clorurada ya que el valor de la relación  $rHCO_3/rCl$  es próximo a la unidad y muy inferior al valor calculado para el resto de las muestras y, del mismo modo, el valor de  $rCl$  es muy superior al del resto de las mismas

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
140440004	0,762	0,381	0,052	0,039	23,627	12,104	4,428	0,984	0,085	0,169
150430001	0,572	0,457	0,031	0,026	21,414	16,733	2,003	3,026	0,197	0,282
150440002	0,229	0,279	0,162	0,099	2,366	3,248	0,188	0,662	1,552	1,100
160410001	0,572	0,305	0,032	0,029	18,229	9,916	1,107	1,132	0,226	0,423

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99
140440004	0,220	0,327	0,061	0,022	7,419	10,873	0,738	0,738	0,367	0,197
150430001	0,400	0,440	0,073	0,036	20,219	15,106	1,550	1,646	0,282	0,367
150440002	0,361	0,330	0,104	0,118	8,501	5,564	0,660	0,397	0,536	0,733
160410001	0,400	0,352	0,025	0,030	15,861	11,397	0,959	0,568	0,282	0,367

	rNa/rCl	rMg/rCa	rHCO <sub>3</sub> /rCl	rSO <sub>4</sub> /rCl	rCl
	may-96	may-96	may-96	may-96	may-96
160410002	0,306	0,063	0,965	0,140	4,316

Tabla 1.- Relaciones iónicas

#### 4.4.4 Diagnóstico del estado actual del acuífero

En esta unidad no se ha detectado ningún problema de intrusión marina en los acuíferos costeros. El volumen de extracción es muy bajo o nulo y la recarga es elevada.

En un punto, surgente en la playa de Celorio (Llanes), se ha apreciado en un análisis realizado en 1.995 influencia de aguas cloruradas. Este hecho podría ser debido una ligera contaminación con agua marina de los sedimentos en los que surge por estar afectados por los procesos mareales. En principio, se descarta una posible intrusión, ya que no se tiene constancia de extracción de aguas subterráneas que pudieran provocarlo y no se ha detectado presencia de cloruros en otros puntos cercanos a la costa, si bien se recomienda un estudio más detallado.

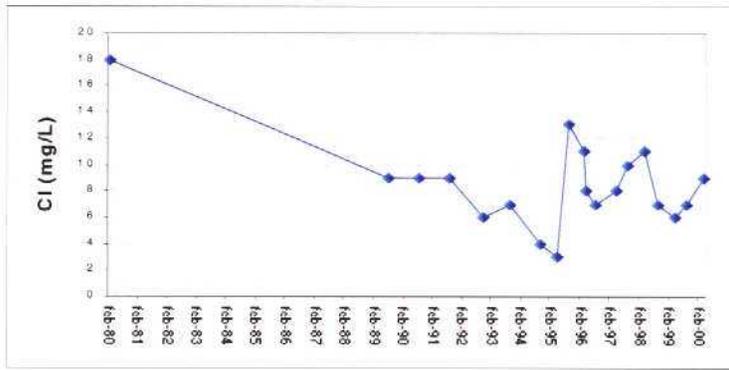
La calidad de las aguas subterráneas de los acuíferos costeros de esta unidad, de acuerdo con los valores obtenidos de los análisis químicos realizados y teniendo en cuenta la normativa española vigente, es en estos acuíferos, en términos generales, apta para consumo humano.

Esporádicamente y con carácter local se han detectado valores elevados de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , que podrían ser consecuencia de vertidos de residuos de origen humano o ganadero, bien de manera puntual (pozos negros, fosas sépticas, vertidos incontrolados, estercoleros, vertederos, etc) o de manera difusa (por prácticas de riego o abono de pastizales).

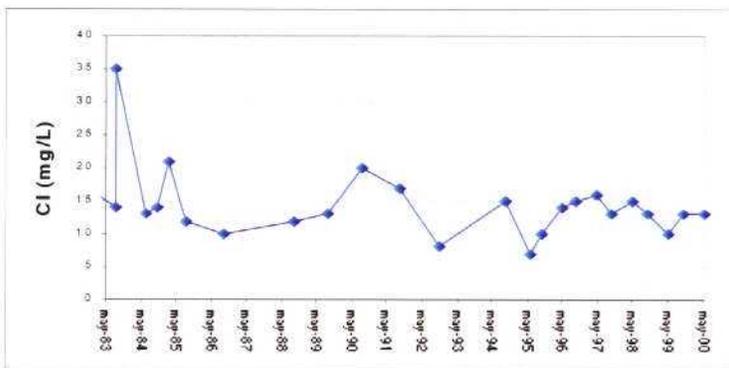
#### **4.4.5 Evolución previsible y posibles actuaciones**

Las explotaciones de agua subterráneas conocidas en la zona costera son escasas y el volumen de la recarga es elevado, de continuar estas condiciones no es probable que surjan problemas en relación con el fenómeno de intrusión marina. En los gráficos de evolución realizados para los valores de cloruros y conductividad eléctrica (figuras 4 y 5) no se aprecia ninguna variación importante.

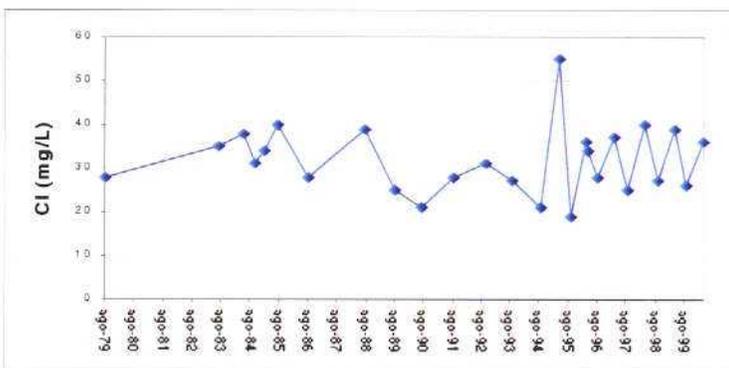
En el punto que surgen en la Playa de Celorio (Llanes) se ha detectado una concentración de cloruros relativamente elevada (del orden de 150 mg/L) en un análisis realizado en 1.996. Al no disponer de ningún análisis con fecha posterior, se desconoce la evolución de la calidad química del agua en dicha zona, por lo que se recomienda un estudio más detallado de la calidad de las aguas subterráneas del área mencionada para determinar el origen de los cloruros y delimitar la zona afectada.



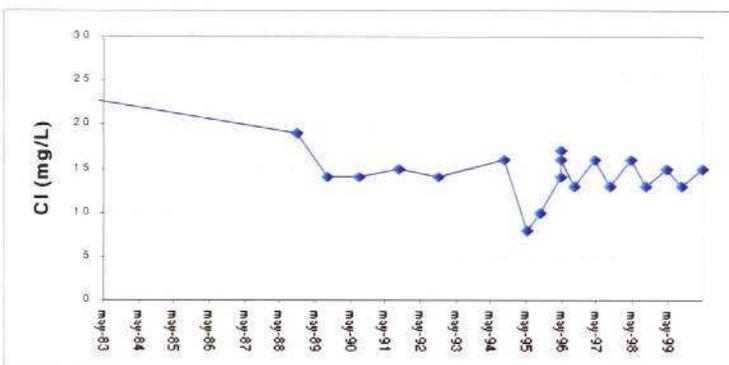
Punto 140440004



Punto 150430001

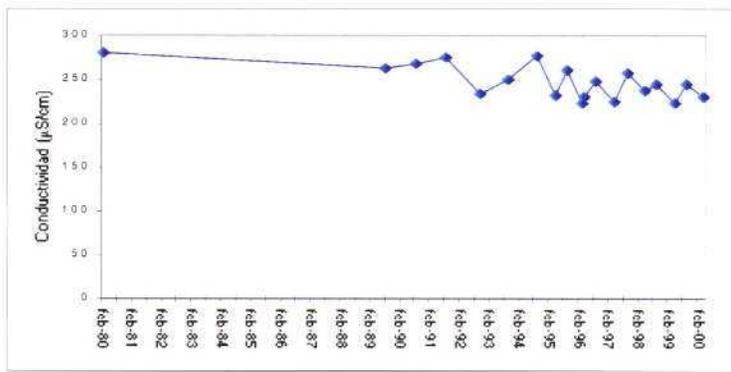


Punto 150440002

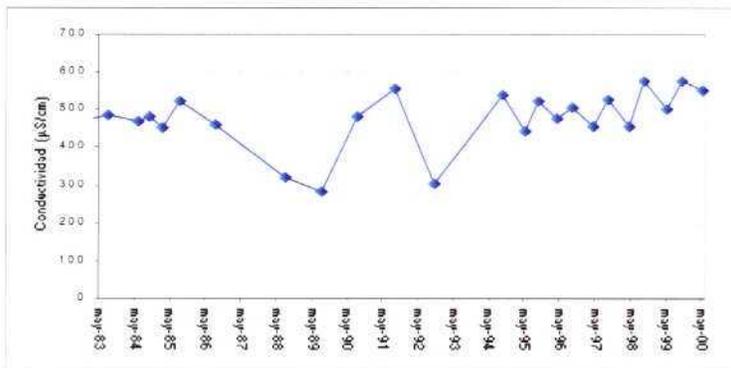


Punto 160410001

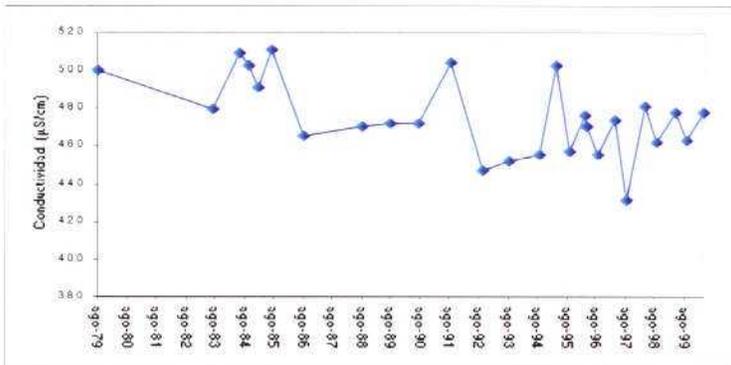
**Figura 4.- Gráficos de evolución: Cloruros (mg/l)**



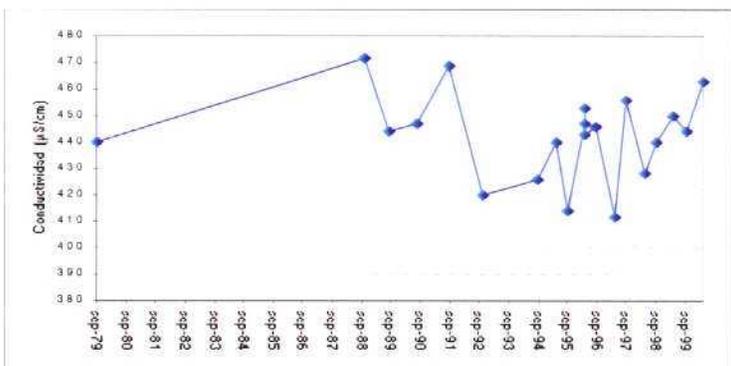
Punto 140440004



Punto 150430001



Punto 150440002



Punto 160410001

**Figura 5.- Gráficos de evolución: Conductividad eléctrica ( µs/cm)**

## 4.5 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.19 VILLAVICIOSA

### 4.5.1 Descripción hidrogeológica

Con unos 280 km<sup>2</sup> de roca permeable aflorante esta unidad limita al norte con el Mar Cantábrico siendo, además, el área principal de descarga. El límite este, y parcialmente, el sur, están constituidos por los sedimentos arcillosos de edad Triásica que actúan como substrato impermeable. Al sur y oeste se encuentran la Unidad 01.21 (Pinzales-Noreña) y la Unidad 01.20 (Llantones), respectivamente.

En líneas generales, se describen dos conjuntos acuíferos bien definidos:

El acuífero jurásico detrítico representado por la serie: “Areniscas y conglomerados de Gijón”, “Margas de Tereñes” y “Ritmita margo-areniscosa de Ribadesella” de edad Kimmeridgiense. Los niveles de areniscas de esta serie son los únicos permeables dando lugar a acuíferos generalmente independientes entre sí, de poco espesor y con una continuidad lateral limitada. Los parámetros hidráulicos de permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento son en general bajos. Desde el punto de vista de la explotación hidrogeológica son de escaso interés.

El acuífero jurásico calcáreo jurásico está representado por las formaciones: “Calizas nodulosas de Gijón”, “Calizas oolíticas de Deva”, “Calizas magnesianas de Gijón”, “Calizas del Pozo de los Lobos”, “Calizas tableadas de La Pedrera” y “Dolomías de Solís y Sotiello”, de edad Lías, y presenta una potencia de 160 a 280 m. Es el acuífero principal de la unidad con interés para la explotación hidrogeológica.

Se trata de una serie fundamentalmente calcárea y dolomítica, con permeabilidad secundaria desarrollada por fisuración y carstificación, siendo los valores de los parámetros hidráulicos de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, muy variables en función de la importancia de la carstificación, fracturación y niveles arcillosos, pero en general altos.

Entre ambos acuíferos se encuentra la “Ritmita margo-caliza de Rodiles y Santa Mera” que actúa como barrera impermeable, independizando ambos acuíferos.

La recarga se produce fundamentalmente a partir de la infiltración directa del agua de lluvia y en ocasiones por la infiltración de agua de los cauces superficiales e incluso por percolación del agua que contienen los materiales superiores.

La descarga se produce, fundamentalmente, al Mar Cantábrico (son conocidas las salidas de aguas subterráneas de El Cervigón (Gijón), de la Punta de Rodiles y en la Playa de la Isla (La Griega), localizadas mar adentro, a unos metros de la costa), a la Ría de Villaviciosa y a los ríos España y Llovones. Además, el sistema se drena de manera natural por numerosos manantiales, entre los que destacan: Deva, La Ruixidora y La Cueva y de manera artificial mediante la extracción por bombeo de unos 8 hm<sup>3</sup>/año.

Los recursos totales estimados son 58 hm<sup>3</sup>/año y las reservas consideradas hasta una profundidad de 100 m a partir de la cota de los manantiales se cifra en unos 800 hm<sup>3</sup>.

#### 4.5.2 Caracterización de facies hidroquímicas

En la tabla 1 figuran los puntos de la red de calidad que se han considerado, junto con sus características principales, en mapa hidrogeológico de la figura 1, su situación y en la figura 2 puede apreciarse un corte hidrogeológico esquemático Norte-Sur.



Figura 1.- Mapa Hidrogeológico de la Unidad 01.19 con situación de los puntos de muestreo.

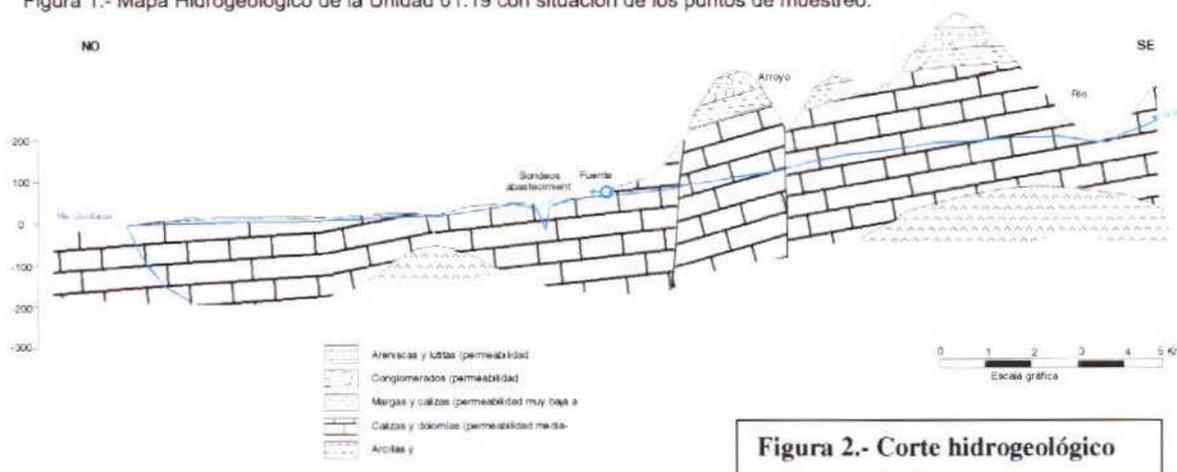


Figura 2.- Corte hidrogeológico

Tabla 1.- Características de los puntos de agua

Nº de Registro	Toponimia	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Naturaleza	Utilización del agua
		X	Y			
1303 6 0009	La Calzada	282861	4824618	5	Sondeo	Industria
1303 7 0003	S. Molinín	289292	4820531	40	Sondeo	Abastecimiento (no núcleo urbano)
1303 7 0005	S. Cabueñes	288732	4821289	24	Sondeo	Abastecimiento a núcleo urbano
1403 6 0004	M. La Tapia	308364	4821867	18	Manantial	Abastecimiento y ganadería
1403 6 0014	M. La Ruxidora	304125	4820141	20	Manantial	Abastecimiento e industria

En el adjunto diagrama de Piper (figura 3) se han representado los análisis correspondientes a los puntos de la Red de Calidad de los años 1.995 y 1.999. En dicho diagrama se aprecia que no hay ningún problema por presencia de procesos de intrusión marina en los puntos muestreados y no se aprecia ninguna variación importante entre los análisis de los años 1.995 y 1.999.

La facies predominante es la bicarbonatada cálcica o cálcio-magnésica, si bien se han clasificado como aguas bicarbonatadas-sulfatadas cálcico-magnésicas algunas muestras tomadas en puntos cercanos a Gijón.

Las aguas presentan, mayoritariamente, dureza media, aunque en el entorno de Gijón las aguas se clasifican como duras.

La mineralización es ligera en la parte central y notable en las zonas este y oeste de la unidad.

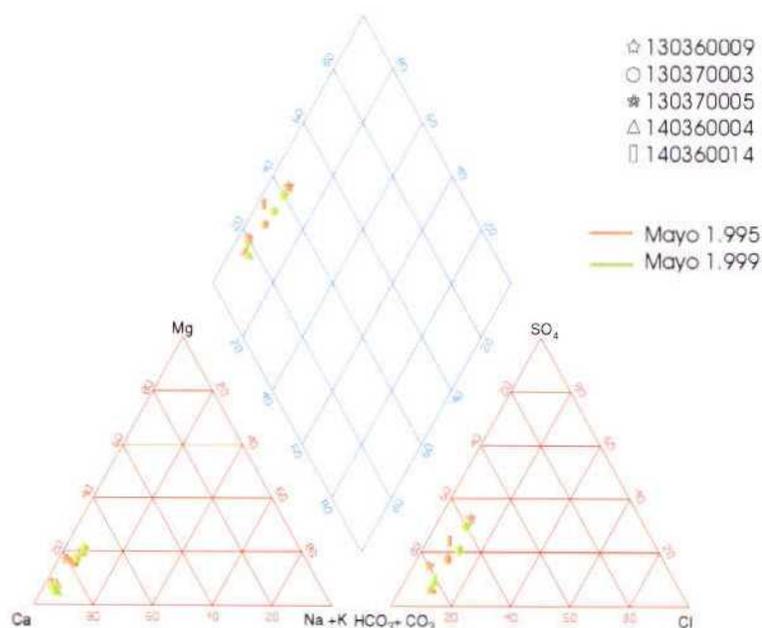


Figura 3.- Diagrama de Piper

#### 4.5.3 Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla 2 se han calculado los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del IGME muestreados en 1.995 y 1.999.

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO3/rCl		rSO4/rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
130360009	0,554	0,629	0,273	0,288	5,810	6,585	3,390	3,321	0,903	0,846
130370003	0,470	0,359	0,204	0,236	7,055	5,113	1,687	1,645	0,790	0,987
130370005	0,613		0,207		16,517		3,058		0,395	
140360004	0,357	0,364	0,082	0,060	8,521	8,636	0,646	0,704	0,677	0,621
140360014	0,343	0,343	0,088	0,074	9,722	8,366	3,297	1,082	0,423	0,423

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99
130360009	0,494	0,554	0,349	0,389	5,018	4,866	2,147	2,837	1,241	0,903
130370003	0,295	0,264	0,152	0,200	5,997	5,184	2,166	1,154	0,875	1,100
130370005	0,286	0,308	0,169	0,190	6,951	5,475	6,853	4,882	0,790	0,733
140360004		0,278		0,067		5,644		0,506		0,987
140360014		0,318		0,110		7,327		4,592		0,508

**Tabla 2.- Relaciones iónicas**

Las relaciones iónicas indican que no existen fenómenos de intrusión en las muestras analizadas ya que no se denota una influencia del ión cloruro, considerado como indicativo de este fenómeno. Se aprecia que en la mayoría de los puntos la relación rSO<sub>4</sub>/rCl es mayor que 2, esto se interpreta como que existen procesos de disolución de yesos en el acuífero.

#### **4.5.4 Diagnóstico del estado actual del acuífero**

En esta unidad no se ha detectado ningún problema de intrusión marina. El volumen de extracción es bajo y la recarga es elevada.

Los únicos problemas de contaminación detectados están relacionados con elevadas concentraciones de sulfatos en el nacimiento del Río Rozadas y con contenidos elevados de magnesio en algún punto en el entorno de Gijón (130360009). Estos valores elevados se asocian a la disolución de materiales evaporíticos presentes en los términos basales del jurásico y en los sedimentos de edad triásica. No se encuentra relación entre estas sustancias y la intrusión marina.

#### **4.5.5 Evolución previsible y posibles actuaciones**

Hasta el momento el volumen de extracción por bombeos es reducido en comparación con la recarga por lo que no es previsible a medio plazo que se presenten problemas en relación con procesos de intrusión marina.

Se considera conveniente, no obstante, el control de la calidad química de las aguas mediante una Red de Control en la zona costera, con el fin de determinar posibles problemas de intrusión, para establecer una explotación responsable del acuífero y diseñar un plan de actuación que sería ejecutado si se produjeran este tipo de fenómenos.

Se han realizado gráficos de evolución en el tiempo de cloruros y conductividad eléctrica (figuras 4 y 5) y no se aprecia ninguna variación importante.

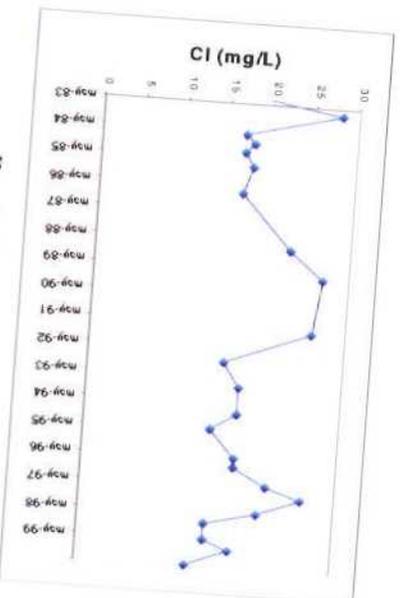
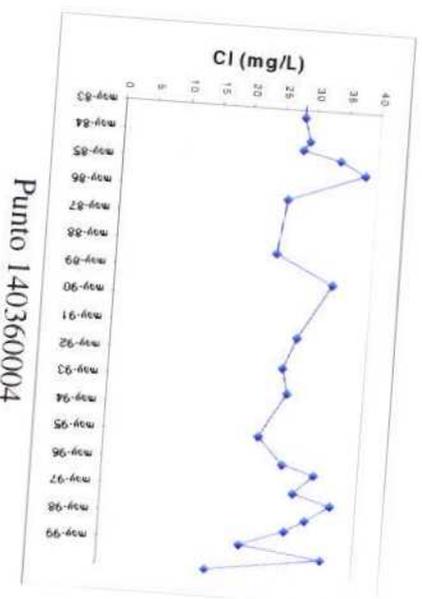
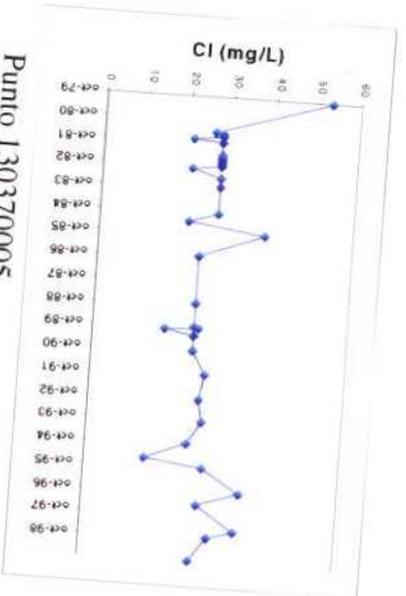
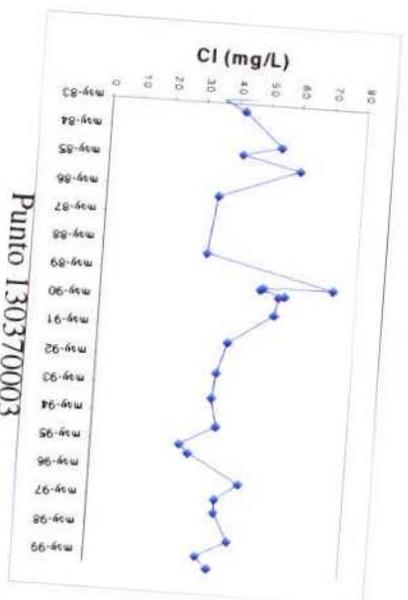
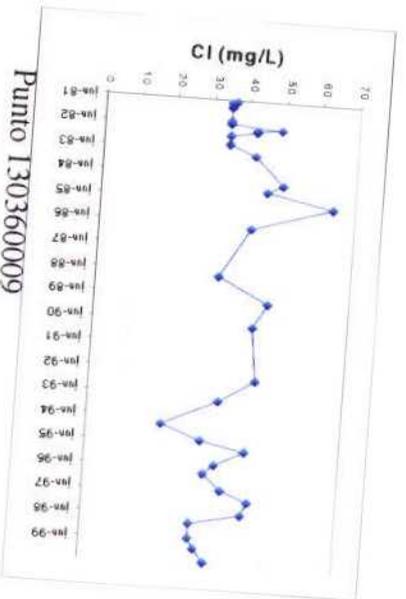
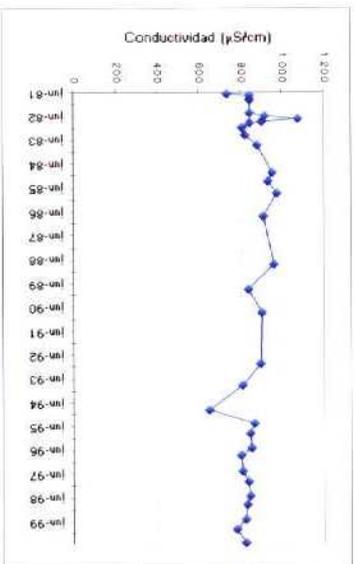
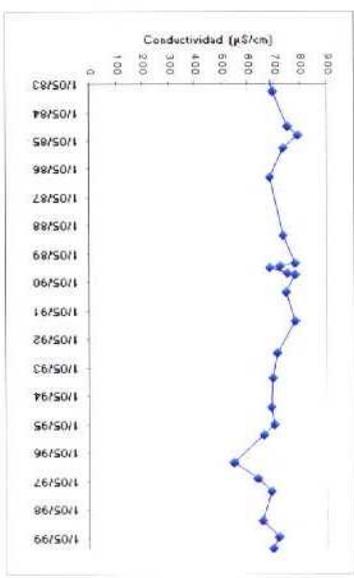


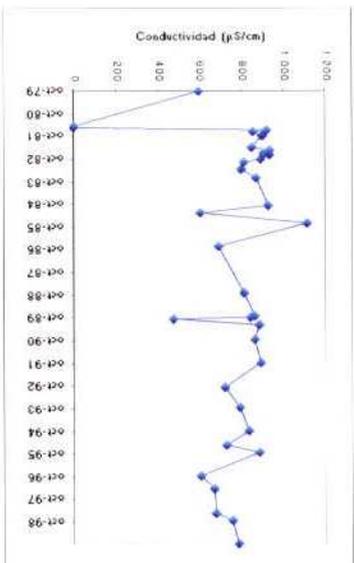
Figura 4.- Gráficos de evolución: Cloruros (mg/L)



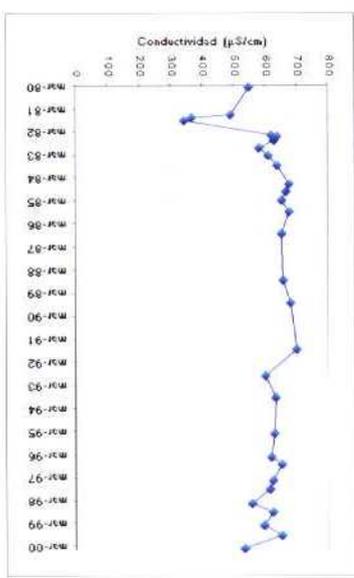
Punto 130360009



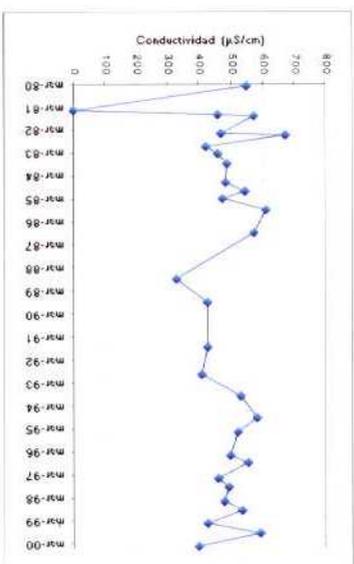
Punto 130370003



Punto 130370005



Punto 140360004



Punto 140360014

Figura 5.- Gráficos de evolución: Conductividad eléctrica (µs/cm)

## **4.6 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 01.24 SOMIEDO-TRUBIA-PRAVIA**

### **4.6.1 Descripción hidrogeológica**

Esta unidad de gran extensión, en la que la superficie acuífera aflorante es de unos 644 km<sup>2</sup>, se extiende de Norte a Sur del Principado de Asturias, desde el Puerto de Somiedo al Sur hasta el Cabo Peñas al Norte.

Las rocas permeables presentes esta unidad están representadas tanto por sedimentos calcáreos-dolomíticos precarboníferos como por materiales calcáreo-dolomíticos carboníferos.

Todos los niveles acuíferos (carboníferos y precarboníferos), son de naturaleza calcárea e hidráulicamente independientes entre sí, al estar en condiciones normales separados por sedimentos impermeables. Sin embargo, cabe la posibilidad de que en algunos puntos puedan estar interconectados debido a accidentes tectónicos.

La transmisividad y el coeficiente de almacenamiento son muy variables en función de la densidad de fracturación y carstificación, de la abundancia de las intercalaciones impermeables (arcillosas, margosas, pizarrosas, etc.) y de la geometría de propio acuífero. Presentan, salvo excepciones, características hidrogeológicas buenas y, por tanto, con cierta importancia desde el punto de vista de la explotación de aguas subterráneas. La recarga hídrica se realiza fundamentalmente por infiltración directa del agua de lluvia (nieve) y en menor medida por la cesión de caudal de los ríos y arroyos que atraviesan los acuíferos en circunstancias favorables.

La descarga se realiza: a los ríos y arroyos que recorren los acuíferos cuando las condiciones son adecuadas; a numerosos manantiales; y una pequeña parte va a parar directamente al Mar Cantábrico.

En la zona costera los materiales permeables presentes están representados por las formaciones de naturaleza calcárea y dolomítica precarboníferos, por lo que únicamente se hace referencia a ellos.

### **4.6.2 Caracterización de facies hidroquímicas**

El punto más cercano a la costa incluido en la Red de Calidad del IGME es el inventariado con el número 120360012, al oeste de Soto del Barco. Las características del mismo constan en la tabla 1 y su situación en la figura 1. En el adjunto diagrama de Piper (figura 2) se han representado los valores de los análisis realizados en dicho punto correspondientes a los años 1.995 y 1.999.

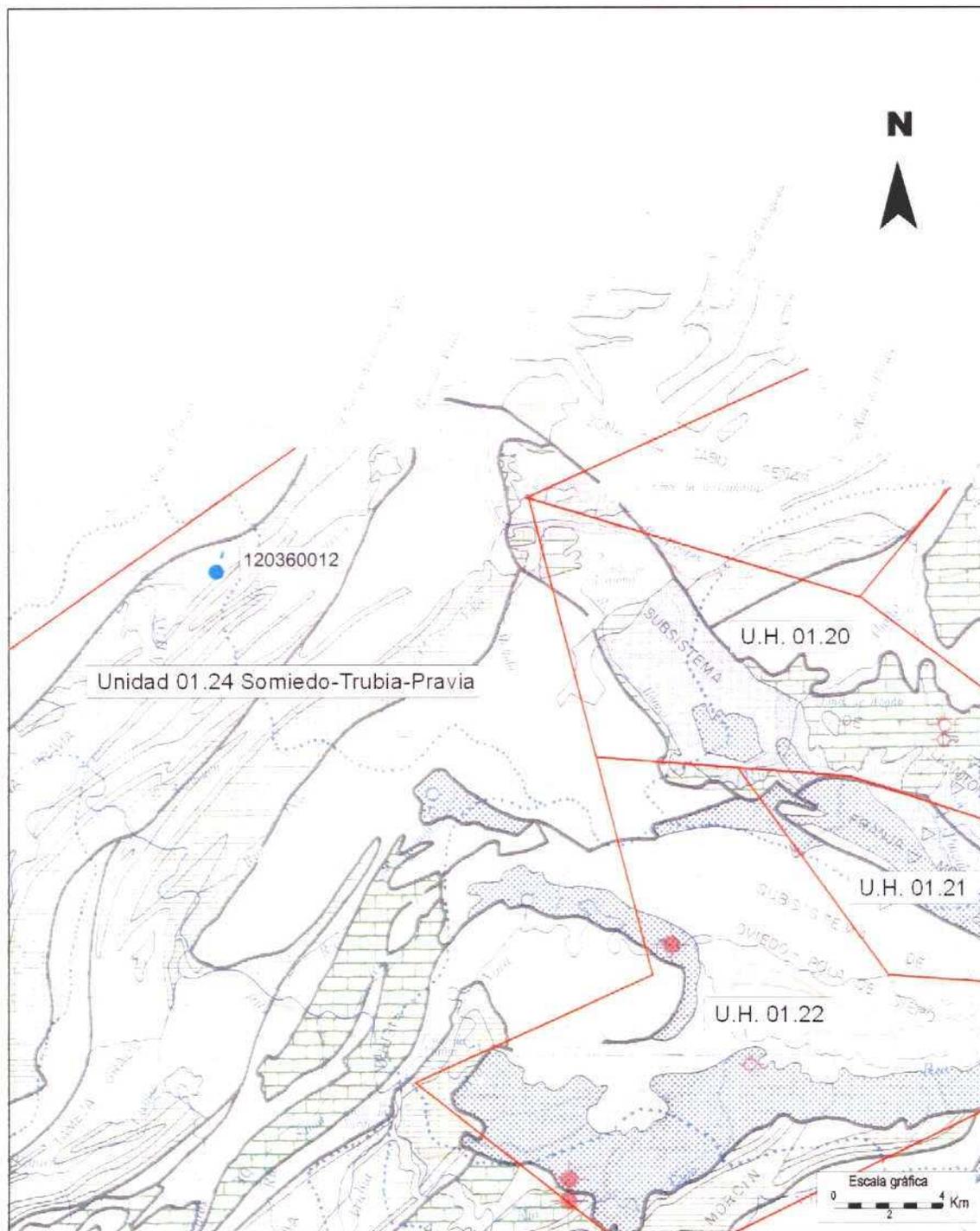


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico de la zona norte de la Unidad 01.24 con situación del punto de muestreo.

Nº de Registro	Toponimia	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Naturaleza	Utilización del agua
		X	Y			
1203 6 0012	Túnel FEVE	738348	4824813	80	Manantial	Abastecimiento núcleos urbanos

Tabla 1.- Características de los puntos de agua

En esta unidad, los sedimentos precarboníferos presentan facies bicarbonatada cálcica y cálcico magnésica, el punto representado en el diagrama de la figura 2 presenta, como se observa, facies bicarbonatada cálcica.

Las características generales de dureza y mineralización de las aguas subterráneas de los acuíferos precarboníferos son respectivamente, media y ligera.

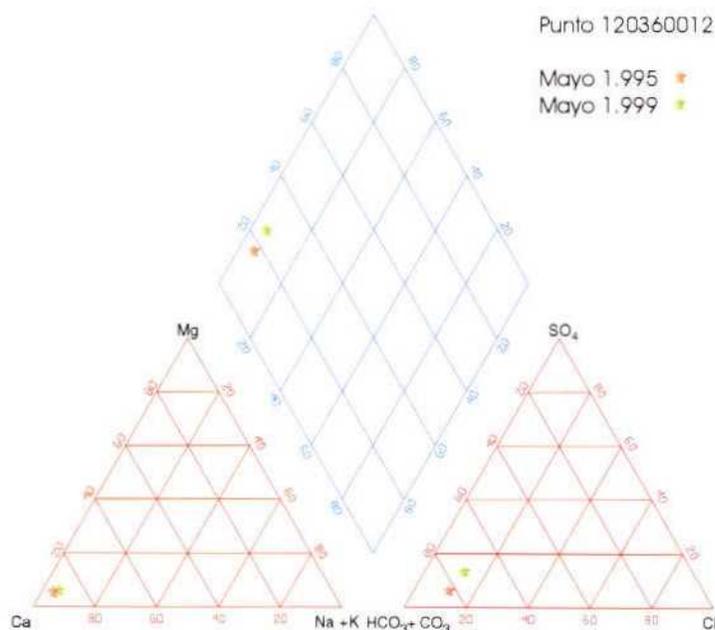


Figura 2.- Diagrama de Piper

#### 4.6.3 Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla 2 se han calculado los valores de las relaciones iónicas más significativas correspondientes a los análisis del punto 120360012 en los años 1995 y 1999.

	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO3/rCl		rSO4/rCl		rCl	
	mayo	septiembre	mayo	septiembre	mayo	septiembre	mayo	septiembre	mayo	septiembre
1.995	0,334	0,191	0,060	0,095	7,262	6,827	0,492	0,800	0,339	0,339
1.999	0,343	0,381	0,085	0,141	5,810	7,618	1,082	1,148	0,423	0,254

Tabla 2.- Relaciones iónicas

Se puede deducir que no hay ninguna influencia de facies clorurada y por lo tanto no existen procesos de intrusión marina en la zona donde se encuentra ubicado el punto.

#### 4.6.4 Diagnóstico del estado actual del acuífero

En esta unidad el número de puntos de muestreo es muy reducido y por lo tanto el conocimiento de la calidad de las aguas subterráneas es escaso. Los pocos datos que se tienen de esta unidad parecen indicar que la calidad química de sus aguas subterráneas es en

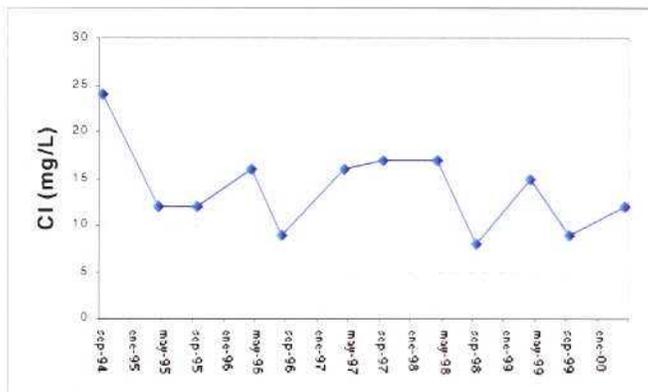
términos generales buena (todas las muestras cumplen las especificaciones establecidas en la normativa vigente).

Los únicos problemas de contaminación de las aguas subterráneas detectados son concentraciones esporádicamente elevadas de nitritos en algún punto aislado, probablemente asociados a vertidos de residuos de origen humano o ganadero sin depurar. En ningún momento se ha encontrado problemas en relación con procesos de intrusión marina.

#### 4.6.5 Evolución previsible y posibles actuaciones

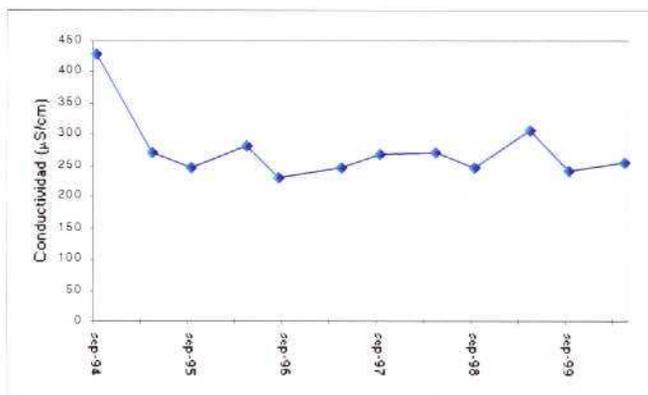
Dado el escaso o nulo volumen de extracciones de agua subterránea que se conocen en la zona costera, no se considera probable que surjan problemas por procesos de intrusión marina a largo plazo. Sin embargo, se considera necesario el estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la zona costera destinado al conocimiento de su quimismo, determinando el estado actual de las aguas. Del mismo modo se recomienda el establecimiento de una Red de Control de la Calidad de las aguas en la zona costera destinado a la detección de posibles problemas de intrusión futuros, al establecimiento de una explotación responsable del acuífero y al diseño de un plan de actuación ejecutable si se produjeran este tipo de fenómenos.

Se han realizado gráficos de evolución en el tiempo de cloruros y conductividad eléctrica (figuras 3 y 4) y no se aprecia ninguna variación importante.



Punto 120360012

**Figura 3.- Gráfico de evolución: Cloruros (mg/l)**



Punto 120360012

**Figura 4.- Gráfico de evolución: Conductividad eléctrica (µs/cm)**

## **5 CUENCA DEL GUADALQUIVIR**

### **5.1 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.57 CHIPIONA - ROTA - SANLÚCAR**

#### **5.1.1 Situación y límites.**

La unidad Hidrogeológica Chipiona - Rota - Sanlúcar (05.57), con una extensión de 88 km<sup>2</sup> se encuentra situada al NW de la provincia de Cádiz. El acuífero, con una forma irregular se extiende a modo de triángulo con los vértices en las poblaciones de Sanlúcar de Barrameda, Chipiona y Rota, según una banda subparalela a la costa, de unos 25 km de longitud y unos 7 km de espesor. Quedan por tanto incluido en el acuífero el término municipal de Chipiona, en su totalidad, y parcialmente los de Sanlúcar de Barrameda y Rota.

#### **5.1.2 Descripción hidrogeológica.**

La unidad Hidrogeológica Rota-Sanlúcar-Chipiona está constituida por materiales detríticos del Plioceno Continental y Cuaternario Marino que litológicamente corresponden a arenas y areniscas. Sus límites impermeables son al Este por las margas del Trías (Keuper), margas del Cretácico y areniscas del Aljibe, al Norte por las margas del Trías y al Oeste y Sur por los limos y arcillas de marismas y el Océano Atlántico.

Se trata de un acuífero libre y costero con porosidad intergranular, cuyos materiales permeables los constituyen las arenas y areniscas ya citadas, constituyendo el impermeable del mismo, las margas antes aludidas y que limitan al Norte y Este. El espesor de los materiales permeables oscila según las áreas, entre 5 y 27 metros.

De los datos aportados por la interpretación de las pruebas de bombeos efectuadas en varios sondeos que captan el acuífero se han obtenido valores medios de la transmisividad de  $3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . La porosidad eficaz se estima en el 18 %, siendo la permeabilidad media del orden de  $10^{-4} \text{ m/s}$ .

Los materiales detríticos del Plioceno continental y cuaternario marino, que litológicamente corresponden a las arenas, areniscas y gravas conforman un acuífero libre en el que la recarga se produce por infiltración del agua de lluvia y actualmente también en gran medida por el retorno de los riegos, con aguas superficiales procedentes del río Guadalete, concretamente en el Subsector II, del Sector V, de la Zona Regable del NO de Cádiz, que se ubica en el término municipal de Chipiona.

El espesor de los materiales antes citados oscila según las zonas entre escasos centímetros y 27 metros. El zócalo impermeable está constituido por las margas, que limitan el mismo. El flujo del agua es, en condiciones naturales, hacia el mar con direcciones de circulación del agua subterránea, sensiblemente perpendiculares a la costa. Los niveles del agua en la unidad oscilan, dependiendo de la situación, entre 1 y 17 metros.

#### **5.1.3 Análisis de la piezometría y su evolución.**

La red piezométrica establecida, en la misma, consta de 15 puntos en los que se realizan medidas con periodicidad mensual, en el plano nº 1 del Anexo I se puede ver la situación de los mismos y en la TABLA I se describen las coordenadas U.T.M., cota y profundidad de

ellos. Del estudio de la piezometría reciente del acuífero (Junio 2000), así como de la comparación de ésta con la de años anteriores 1999 y 1995 (ver planos 2,3,4 y 5 del Anexo I) hay que destacar, que si bien la dirección del flujo natural del agua subterránea es en dirección hacia el mar, como ya se ha dicho, se producía, por efecto de los bombeos, una inversión del flujo de agua subterránea, lo que provoca en la parte central del acuífero unos "conos de bombeo", en los que se llega a situar la cota del agua, en ciertas épocas, en situación negativa.

Esta inversión del flujo no se produce actualmente, debido a que ya el riego con aguas superficiales se ha hecho extensivo a prácticamente todo el acuífero, por lo que es manifiesto el aumento que se da en los niveles. En el año 1995 el nivel piezométrico se situaba en torno a los 2-3 metros mientras que en el año 1999 y 2000 el nivel se encuentra del orden de los 6 metros lo que representa un ascenso de 4 metros, para dicho período.

En las áreas que bordean la zona regada con aguas superficiales, se siguen produciendo descensos no deseables, ya que estas inversiones del flujo llevan consigo el peligro de intrusión salina. De hecho se observan (ver planos del Anexo II) en los mapas de isocloruros, unas entradas que se localizan al suroeste de Chipiona y con dirección a estos "conos", ya citados, en el centro de la zona donde a lo largo de estos años, la explotación de las aguas subterráneas del acuífero ha sido mayor.

**TABLA I. Características de los puntos de agua**

<b>REGISNAC</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
114420005	733941	4071715	17,78	35.00
114420025	731792	4071317	8,06	7.40
114420027	731728	4070638	9,33	18.00
114420036	732400	4071900	7	6.00
114460010	731244	4065404	10,32	20
114460013	733153	4061298	11,89	8
114460021	735100	4069650	24,73	8.80
114460042	731701	4068907	12,5	34.00
114460079	729526	4066817	5,6	6.65
114460083	729556	4067620	5,87	13.00
114460085	731906	4066909	15,1	28.50
114460086	732833	4067857	16,05	37.00
114460087	734414	4070025	21,5	37.50
114460088	732247	4062893	10,73	16.00
114460095	731788	4070039	9,45	14.00

#### **5.1.4 Análisis de la situación respecto a la intrusión marina.**

Como consecuencia de las intensas extracciones que se han producido, en el tiempo, las aguas subterráneas de este acuífero presentan fácies predominantemente cloruradas sódicas y son de mineralización notable a fuerte y duras a extremadamente duras y presentan elevados contenidos en nitratos. Los máximos valores de salinidad total se encuentran en las zonas costeras y en mayor medida entre Chipiona y Rota, si bien también existen valores altos en otras zonas del interior del acuífero.

Del estudio de los mapas de isocloruros (ver Anexo II) se desprende que, actualmente en la zona central del acuífero, la concentración de cloruros a experimentado un descenso, más

ostensible en la campaña del mes de febrero de 99, que en la campaña de Junio de 2000, debido a que el riego con aguas superficiales, hace que no se utilicen las aguas subterráneas, como antaño, esto está produciendo una mejora de las aguas en cuanto a la concentración de cloruros, no obstante en determinadas áreas donde aún se siguen utilizando las aguas subterráneas, para el riego, las concentraciones o bien se mantienen o siguen aumentando como el caso del punto 114460010, al Sur de Chipiona unos 3-4 km, donde se dan las máximas concentraciones (> 3.000 mg/L).

### 5.1.5 Caracterización de facies hidroquímicas.

En los diagramas de Piper adjuntos en el Anexo III, se han reflejado los puntos de la red de calidad para los años 1995 y 1999. Los puntos presentan, en la región central del acuífero, una facies clorurada sulfatada sódico-cálcica o bicarbonatada clorurada cálcico-sódica, con mineralización fuerte, lo que indica una fuerte contaminación por abonos y fertilizantes empleados en la agricultura extensiva de la zona, las concentraciones de cloruros son del orden de 500 mg/L o menores, por lo que no están afectada ésta zona por la intrusión marina, mientras que en las zonas a las que antes aludíamos, al sur de Chipiona y en la zona costera entre Sanlúcar y Chipiona, presentan facies clorurada sódica, lo que indica que la intrusión salina avanza en esas dos áreas.

### 5.1.6 Análisis de relaciones iónicas.

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99
114420005	0.536		0.304		0.164		0.288		19.46	
114420027		0.867		0.229		0.009		0.223		16.84
114420036	0.882		0.463		0.214		0.479		19.52	
114460010	0.797	0.862	0.235	0.220	0.096	0.140	0.139	0.142	66.57	81.27
114460013	0.954	1.186	0.202	0.231	0.108	0.221	0.249	0.385	35.26	25.92
114460021	0.223		0.904		0.375		0.338		8.54	
114460042	0.803	0.882	0.358	0.357	0.227	0.265	0.552	0.687	14.89	12.66
114460063	0.692	0.527	0.421	0.429	0.233	0.216	0.769	0.990	10.55	12.44
114460079	0.939	0.863	0.305	0.257	0.077	0.081	0.451	0.421	45.70	41.52
114460083	1.119	0.963	0.506	0.445	0.129	0.211	1.021	1.055	18.33	16.24
114460085	0.966	1.935	0.159	0.806	0.070	3.485	0.076	0.125	35.54	1.32
114460086	1.302	1.738	0.231	0.074	0.354	0.459	0.451	0.436	14.55	5.59
114460087		1.063		0.192		0.290		0.138		14.10
114460088		0.866		0.414		0.429		0.405		11.90
114460095		0.787		0.485		0.393		0.871		8.12
114460100		0.477		0.422		0.156		0.359		25.69
Agua de Mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

Del estudio de las relaciones iónicas antes expuestas se observa que en los puntos 114460010, 114460079 y 114460013 situados en la zona costera que va desde Chipiona a

Rota y fuera del sector que se riega con aguas superficiales, es donde se dan las concentraciones más altas de cloruros, lo que indica el avance de la intrusión en esta área, por el contrario en las zonas centrales del acuífero y debido al empleo de las aguas superficiales, para el riego, se producen unas concentraciones menores propias del agua dulce.

#### **5.1.7 Diagnostico del estado actual del acuífero.**

El acuífero Rota – Sanlúcar - Chipiona presenta en la actualidad aguas de calidad mala con altos contenidos en sulfatos y productos nitrogenados como consecuencia de un uso abusivo de los fertilizantes agrícolas. En lo referente a la intrusión marina hay que destacar dos zonas especialmente afectadas, al Sur de Chipiona unos 3.5 – 4 km, con concentraciones de cloruros superiores a los 3.000 mg/L, y entre las poblaciones de Sanlúcar y Chipiona en las proximidades de la costa con 700 mg/L. En ambos sectores el fenómeno de la intrusión salina se produce por las extracciones de agua subterránea para uso agrícola.

En el resto del acuífero y debido mayormente a que el riego agrícola con agua subterránea se ha sustituido por aguas superficiales, las condiciones se han hecho mejores, en cuanto al tema de la intrusión marina, y al ascenso de niveles, no así en el tema de la contaminación por otros productos.

#### **5.1.8 Evolución previsible y posibles actuaciones.**

La tendencia observada a partir de los datos obtenidos en las redes de control hace pensar que de mantenerse las condiciones actuales de explotación, de aguas subterráneas, en las zonas costeras, el proceso de intrusión marina continuará su avance, en los sectores anteriormente citados. Sin embargo es posible que ante el empeoramiento de la calidad del agua y debido al empleo de las aguas superficiales el efecto de la intrusión marina se llegue a parar y puedan disminuir las altas concentraciones de cloruros, que actualmente presentan. Sería aconsejable la inclusión, dentro del sistema de riego con aguas superficiales, de las áreas costeras situadas entre Chipiona y Sanlúcar, así como entre Chipiona y Rota ya que el efecto de la intrusión salina, se podría ver detenido.

## **ANEXOS UH 05.57**

**ANEXO I: RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS**

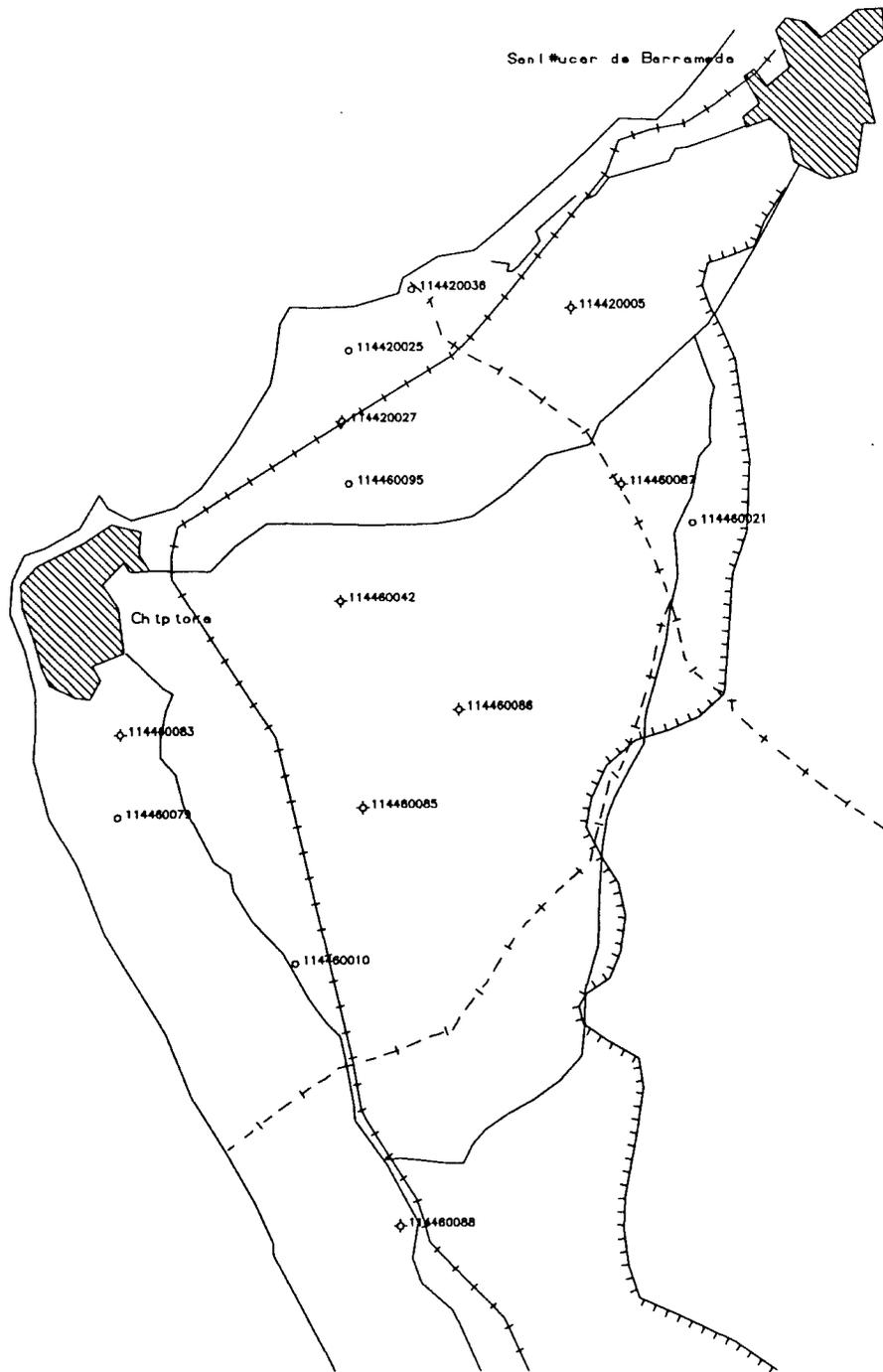
**ANEXO II: RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN. EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS**

**ANEXO III: DIAGRAMAS DE PIPER**

**ANEXO IV: GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS**

ANEXO I

RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS

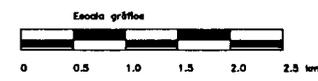
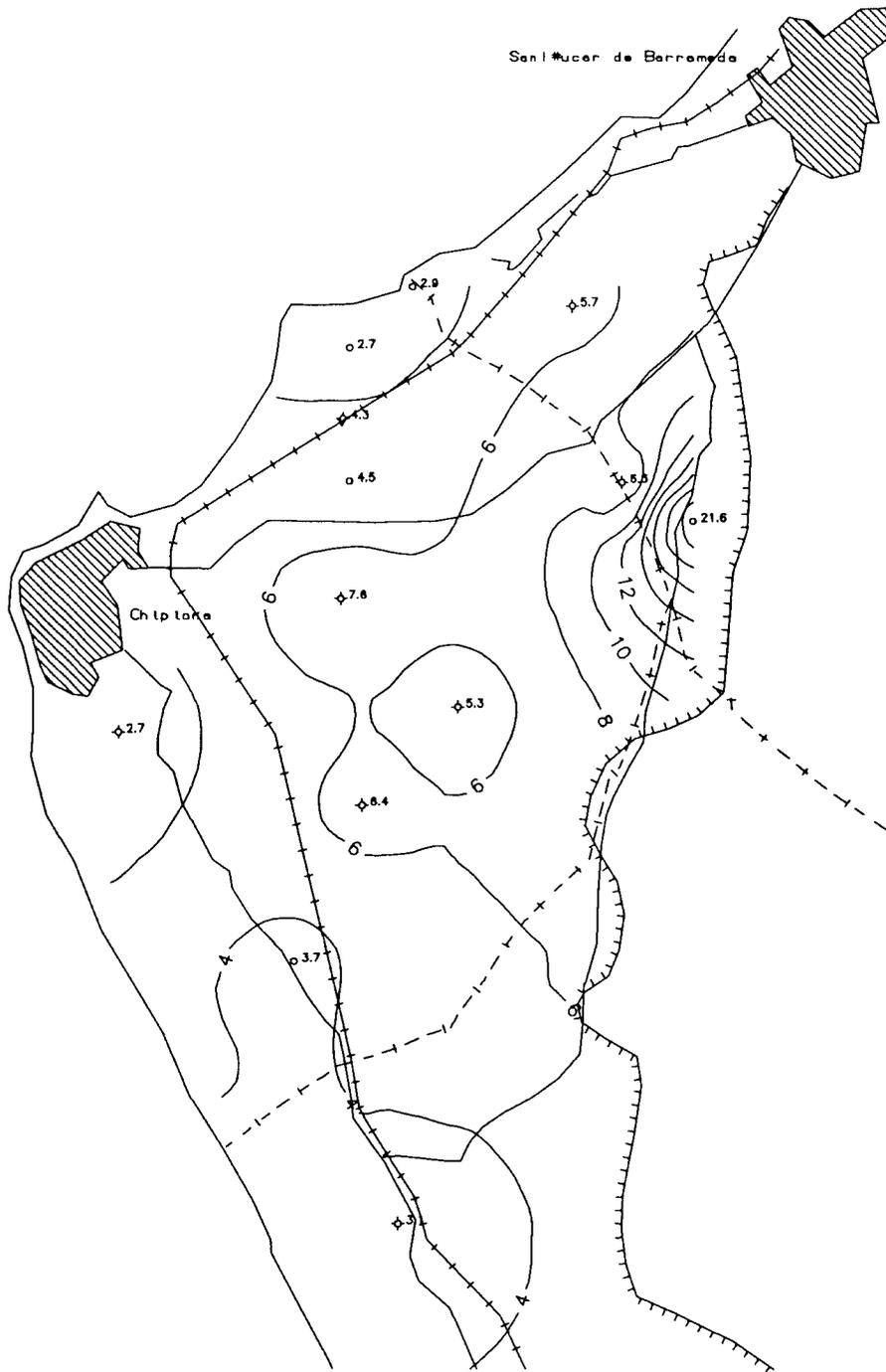


LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- ◆ 114480095 Número de registro nacional (ITGE)

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 22-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 1



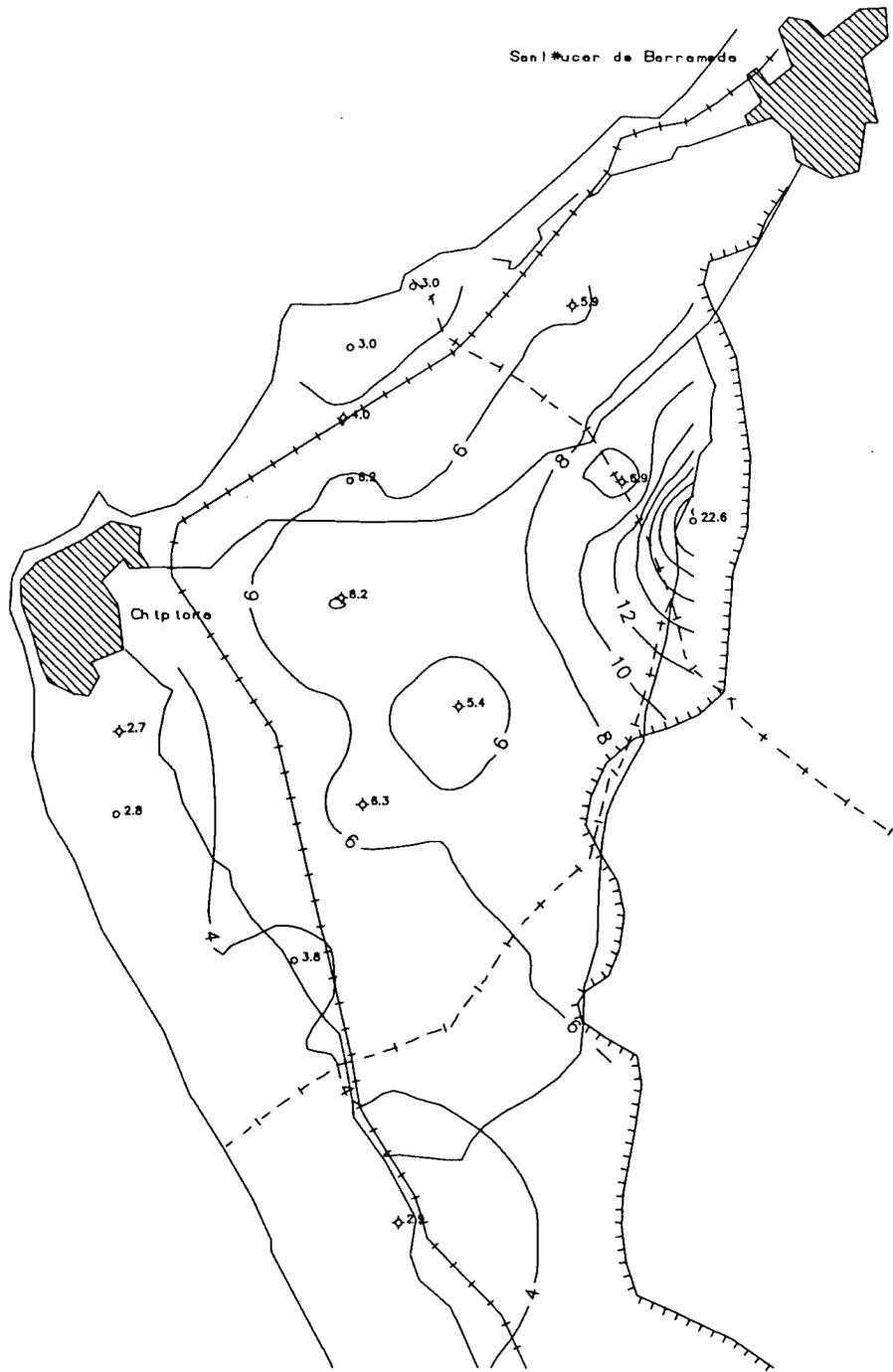


**LEYENDA:**

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial

80 Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA	
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000	
FECHA 16-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-99 y 01-07-99	No DE PLANO 3	

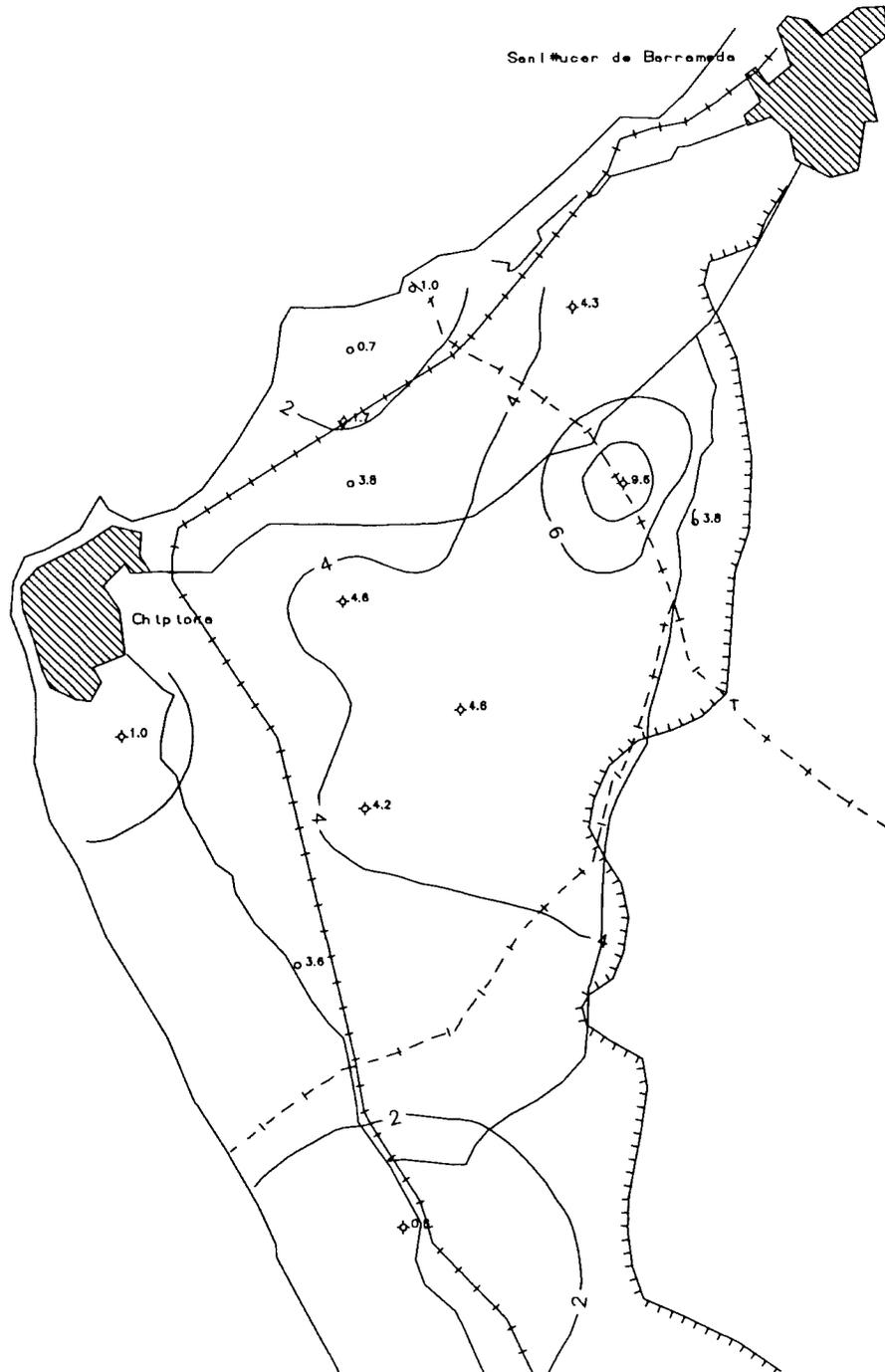


**LEYENDA:**

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial

80 Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 16-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 4



**LEYENDA:**

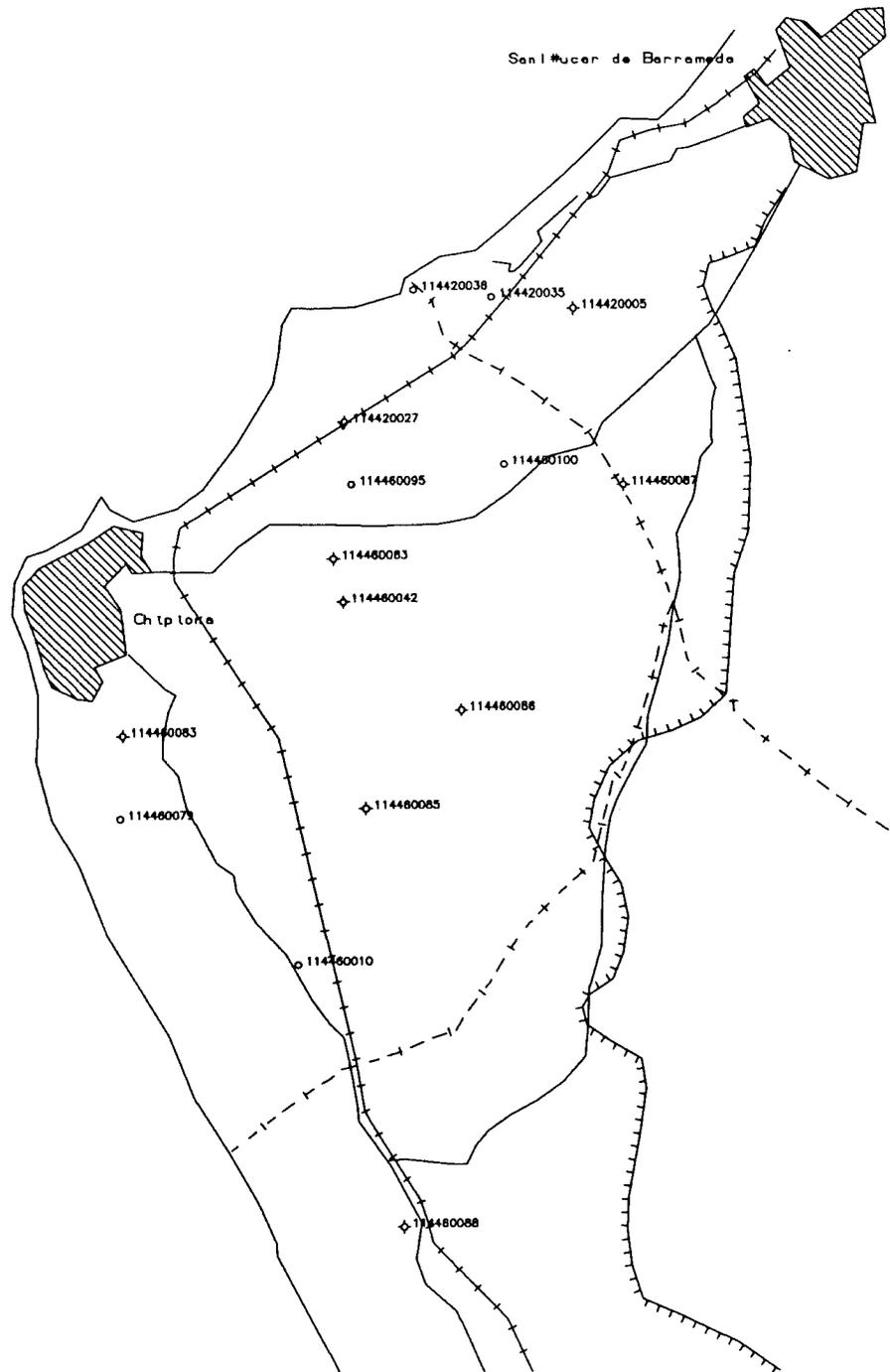
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ♁ Manantial

80 Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 16-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Diferencia entre Junio-95 y Junio-00	No DE PLANO 5

ANEXO II

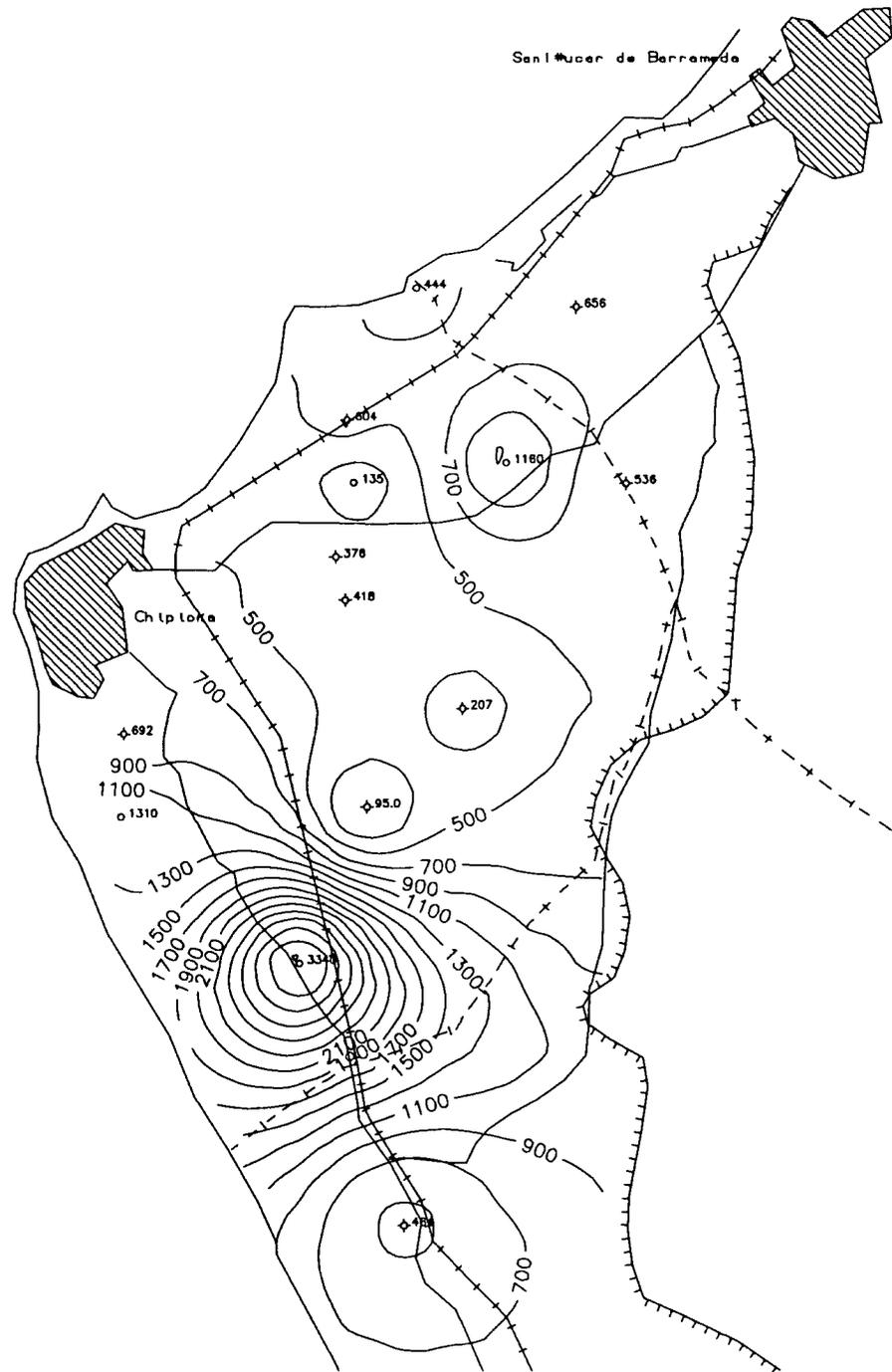
RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN, EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS



**LEYENDA:**

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- Pozo
- ◇ 114460100 Número de registro nacional (ITGE)
- ◇ Sondaje
- Manantial

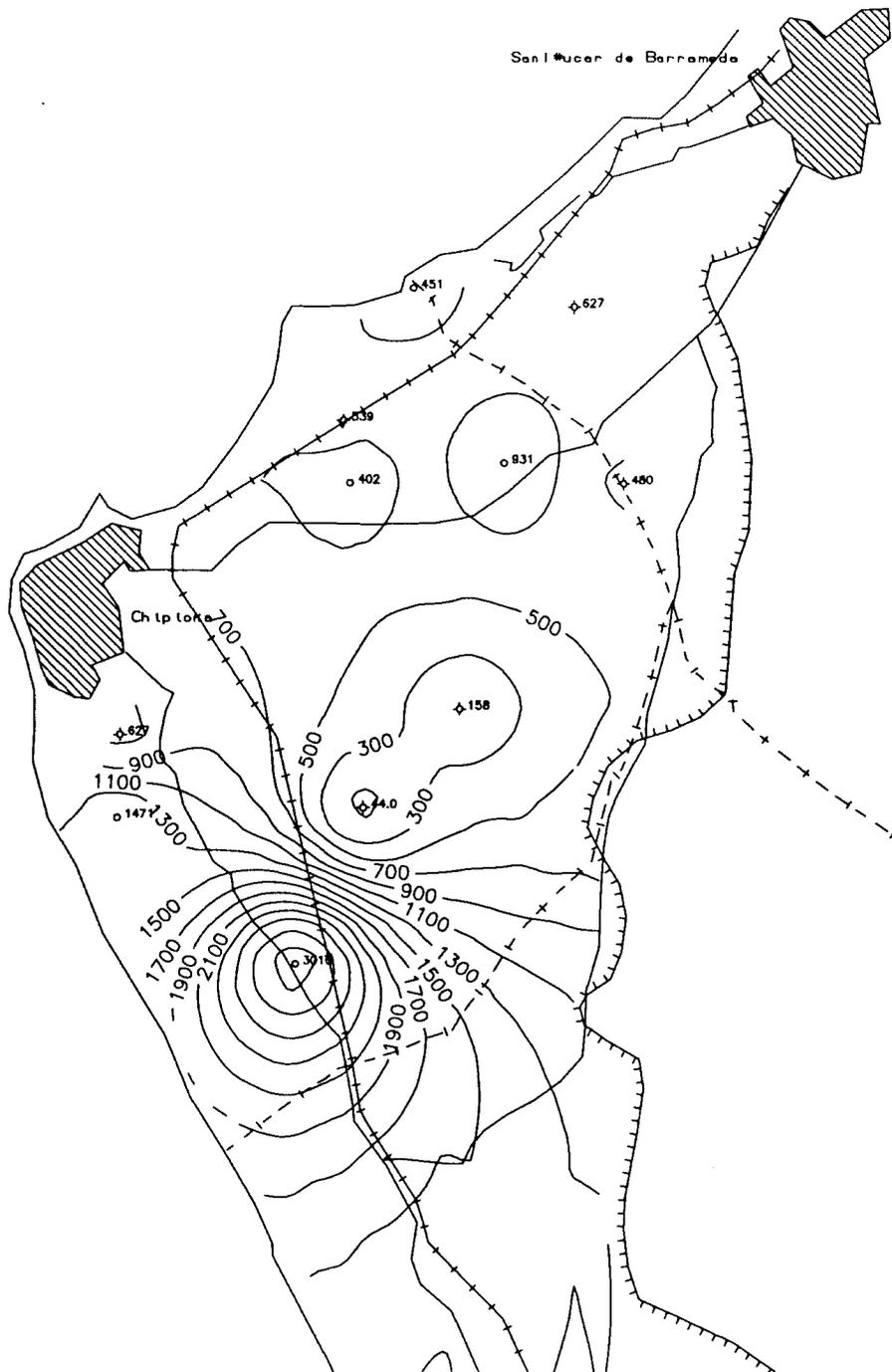
 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 21-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-02-00 y 01-03-00	No DE PLANO 6



LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ♁ Manantial
- 80 Curva de igual valor

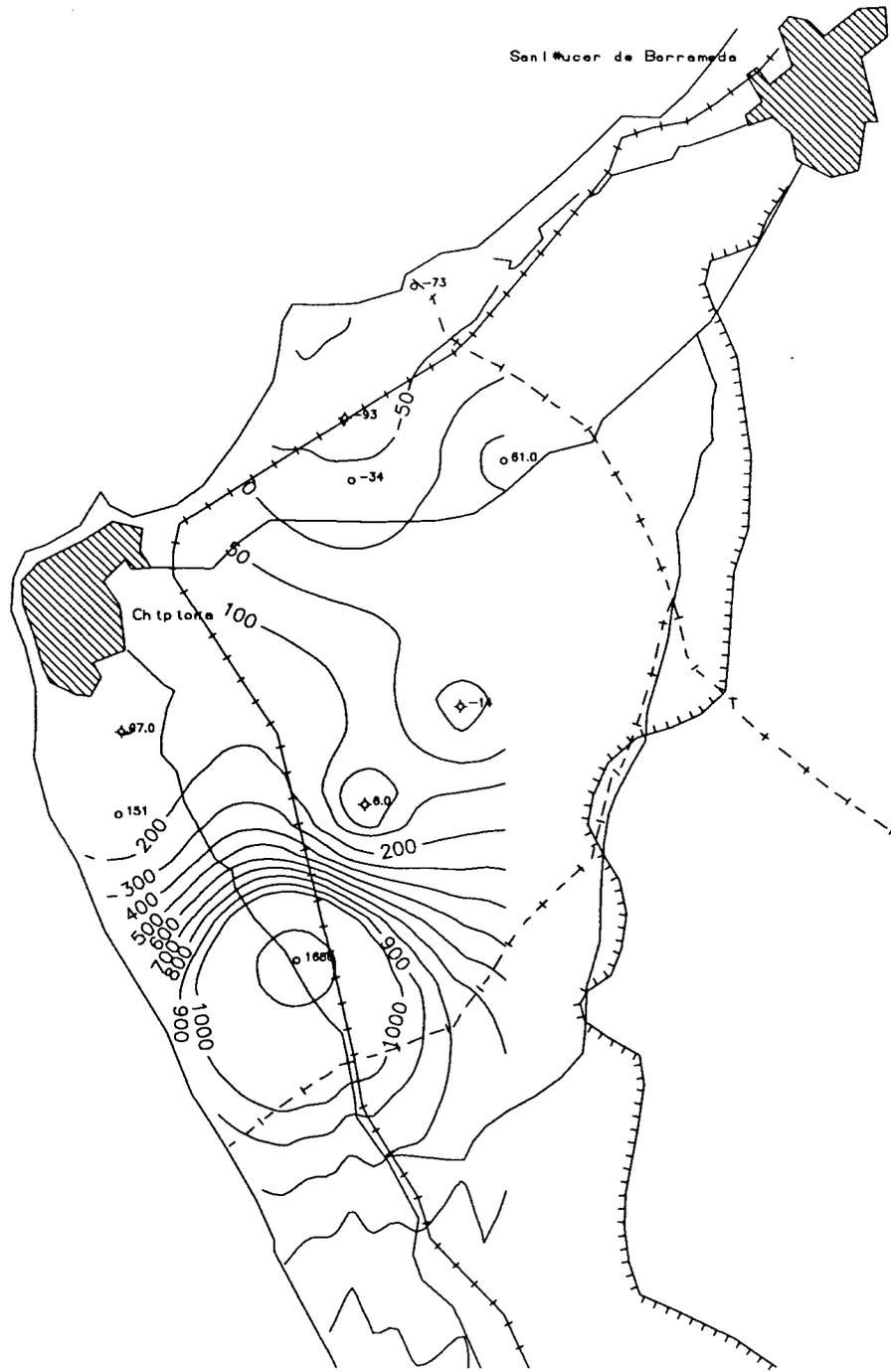
 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 16-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 7



LEYENDA:

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- ◇ Sondaje
- Pozo
- ♁ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

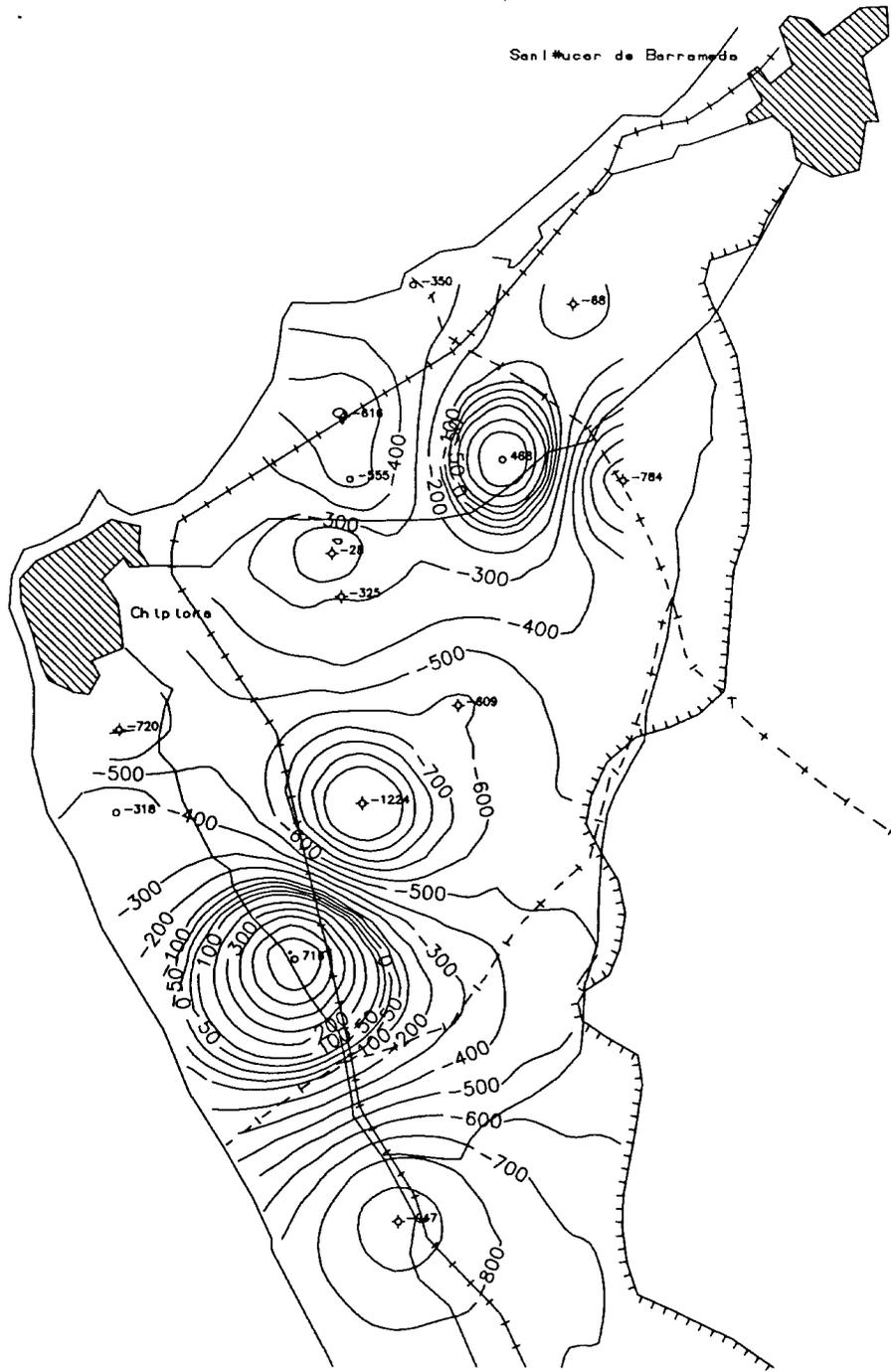
 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 16-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-02-00 y 01-03-00	No DE PLANO 8



LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ♁ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico Geológico de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR:	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 16-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Diferencia entre Febrero-99 y Febrero-00	No DE PLANO 9



**LEYENDA:**

- ◆ Sondeo de reconocimiento      ◇ Sondeo
- Pozo      ◻ Manantial

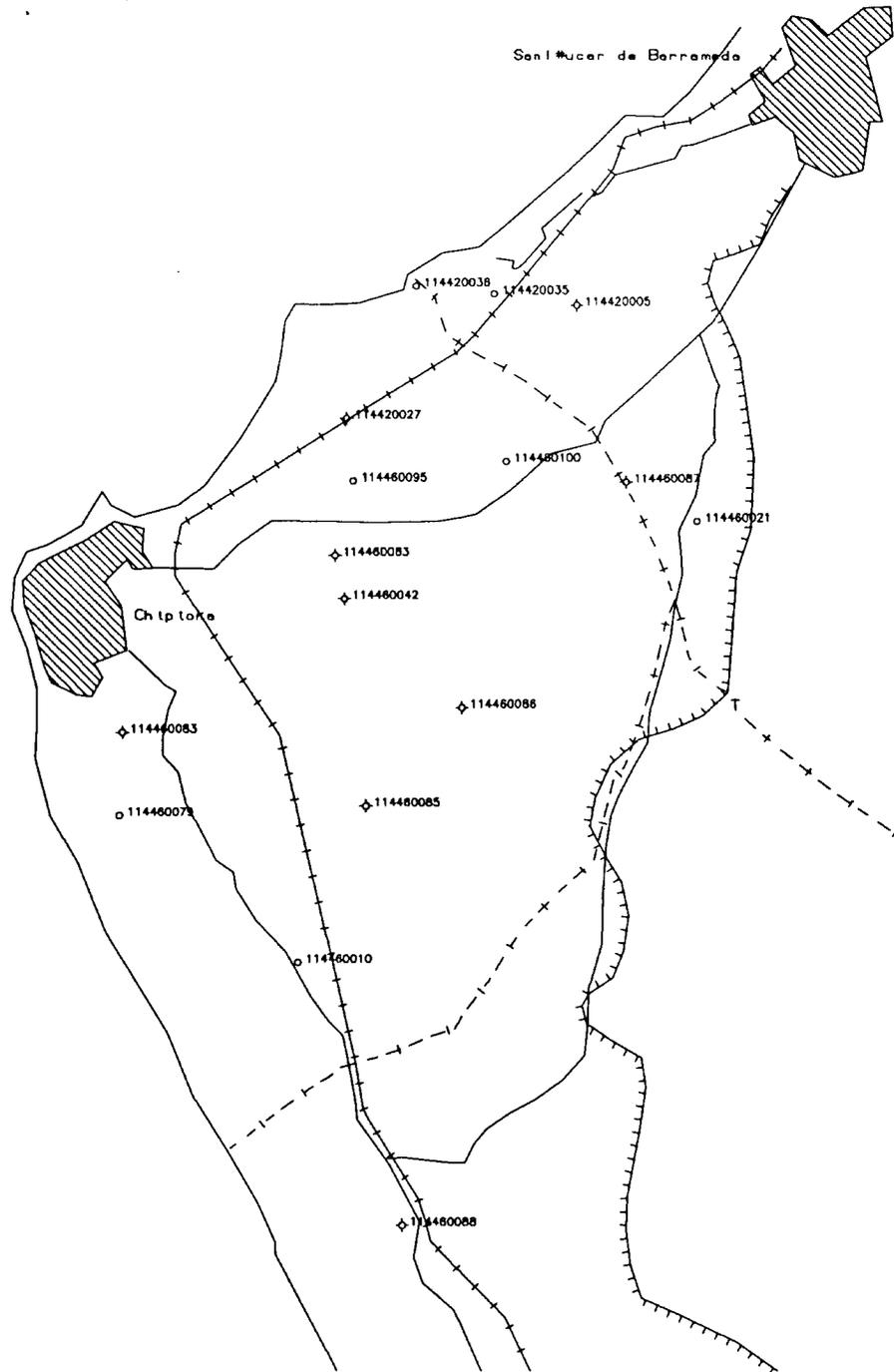
80 Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico Geominero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 16-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Diferencia entre Junio-95 y Junio-00	No DE PLANO 10

ANEXO III

PLANO DE SITUACIÓN DE LA RED DE CALIDAD

DIAGRAMAS DE PIPER



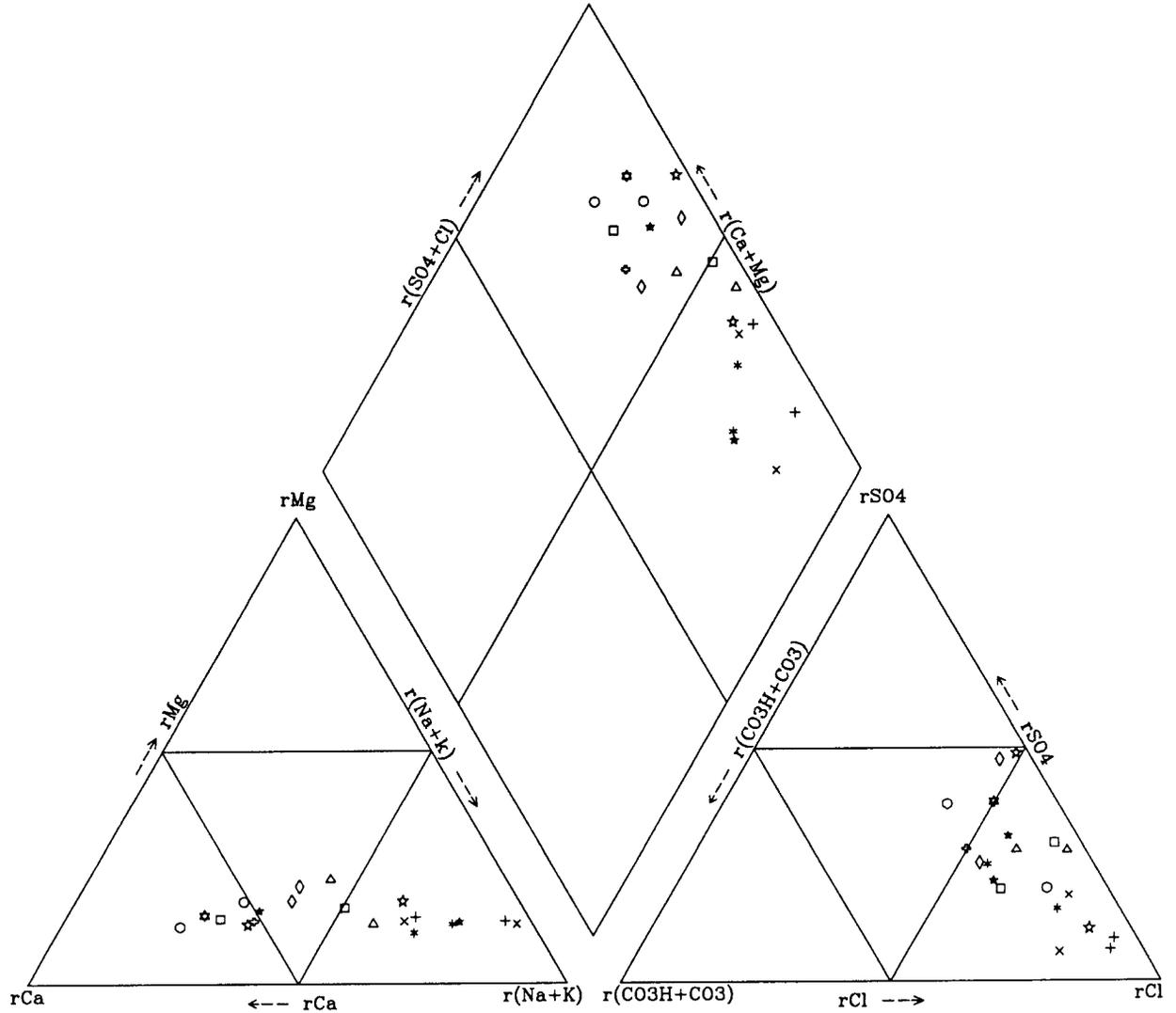
**LEYENDA:**

- ◆ Sondeo de reconocimiento      ◇ Sondeo
- Pozo      Ⓜ Manantial
- ◆ 114460100      Número de registro nacional (ITGE)

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Rota - Sanlúcar - Chipiona	ESCALA 1:50000
FECHA 09-11-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de calidad Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 11

# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

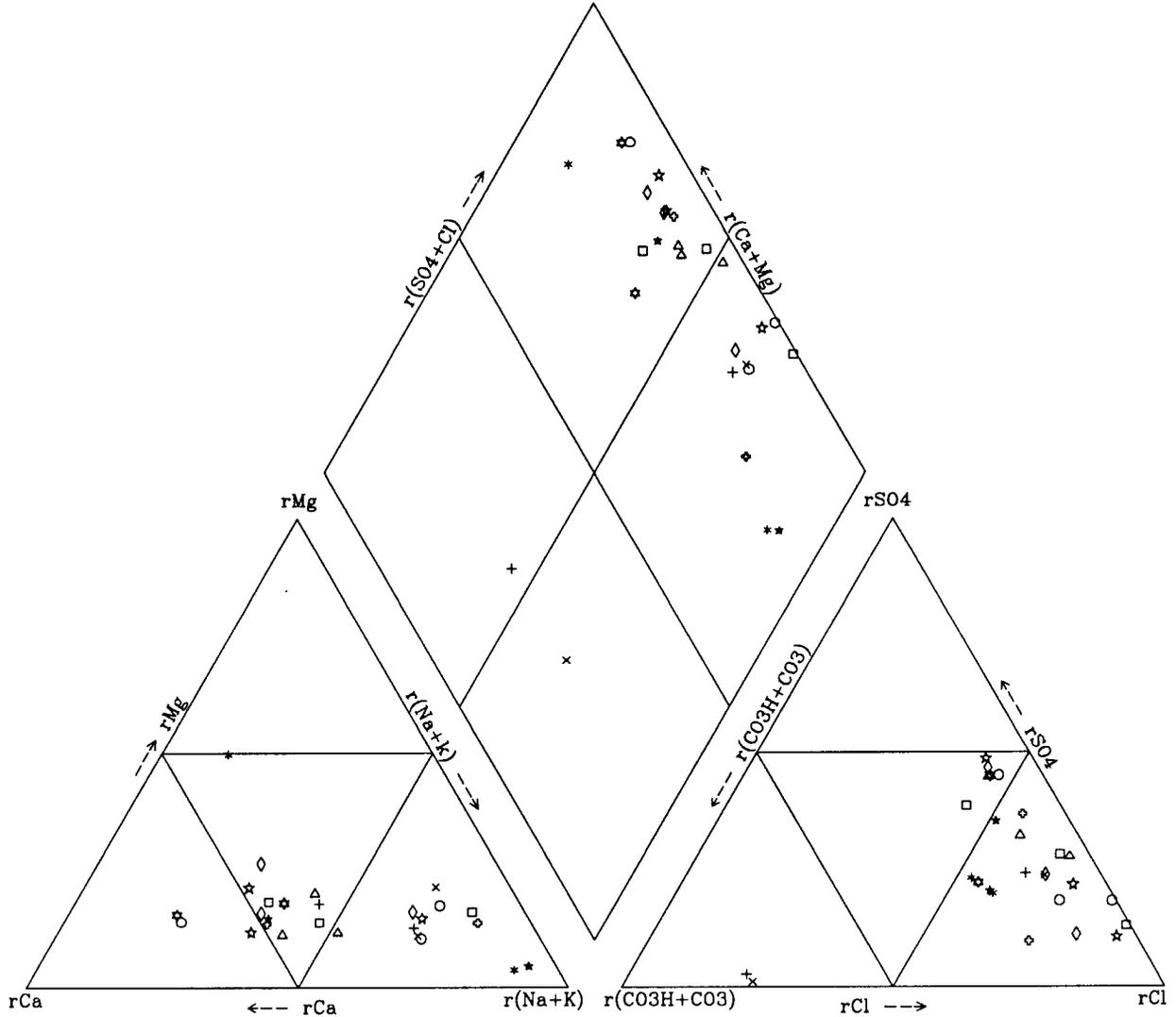
Acuífero: 05.57 entre 01-01-95 y 01-01-96



- |                      |                      |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| ○ 114420005 03-05-95 | ◇ 114460042 13-11-95 | * 114460086 27-03-95 |
| □ 114420005 13-11-95 | ♠ 114460063 03-05-95 | * 114460086 13-11-95 |
| △ 114420036 27-03-95 | ○ 114460063 13-11-95 |                      |
| ◇ 114420036 13-11-95 | □ 114460079 03-05-95 |                      |
| ★ 114460010 27-03-95 | △ 114460079 13-11-95 |                      |
| + 114460010 13-11-95 | ◇ 114460083 27-03-95 |                      |
| × 114460013 03-05-95 | ★ 114460083 13-11-95 |                      |
| * 114460013 13-11-95 | + 114460085 27-03-95 |                      |
| ★ 114460042 03-05-95 | × 114460085 13-11-95 |                      |

# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

Acuífero: 05.57 entre 01-01-99 y 01-01-00

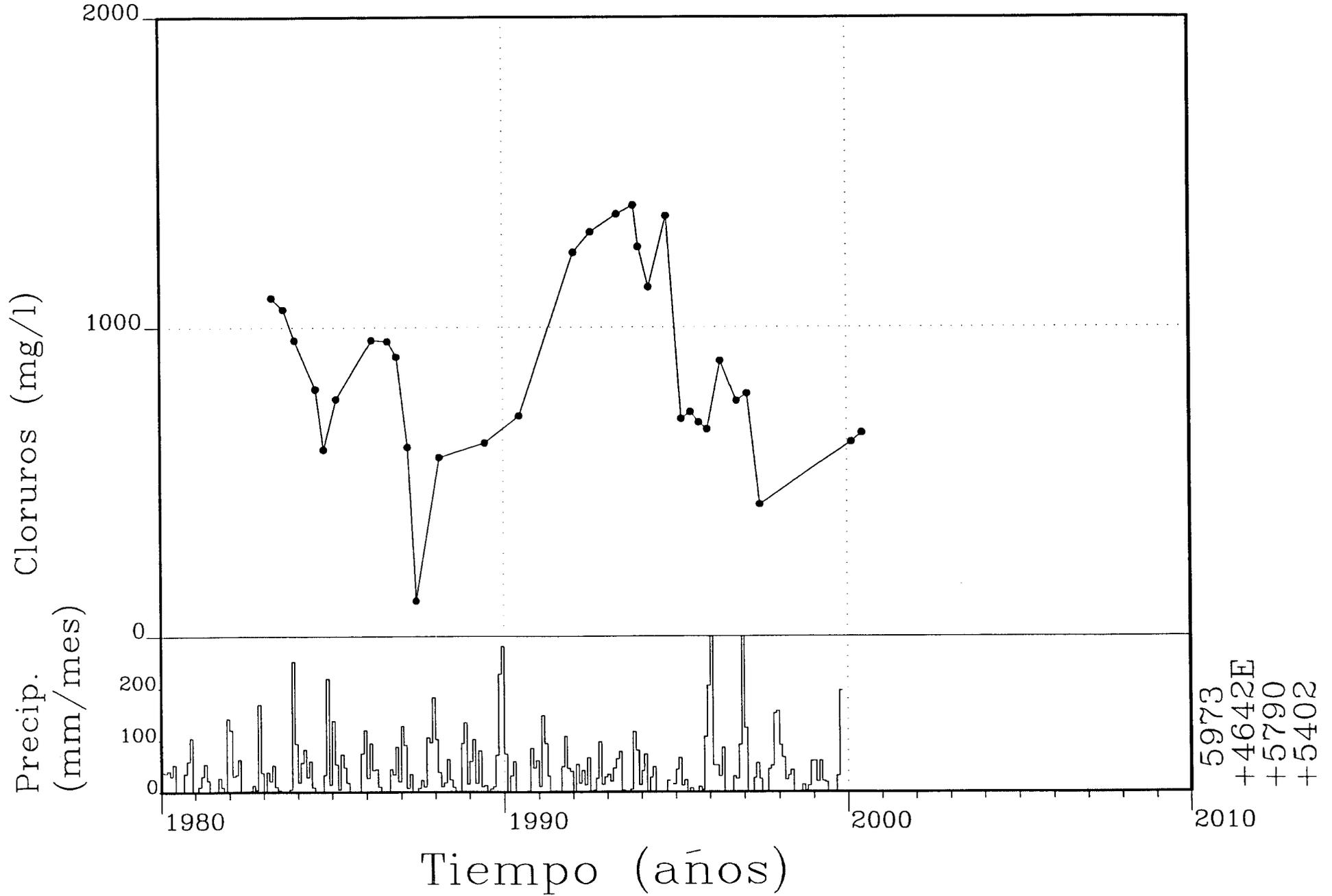


○ 114420027 13-05-99	◇ 114460042 04-10-99	* 114460086 13-05-99
□ 114420027 04-10-99	♣ 114460063 11-05-99	* 114460086 04-10-99
△ 114420036 04-10-99	○ 114460063 04-10-99	◇ 114460087 13-05-99
◇ 114460010 13-05-99	□ 114460079 13-05-99	♣ 114460088 13-05-99
☆ 114460010 04-10-99	△ 114460079 04-10-99	○ 114460088 04-10-99
+ 114460013 13-05-99	◇ 114460083 13-05-99	□ 114460095 11-05-99
x 114460013 04-10-99	☆ 114460083 04-10-99	△ 114460095 04-10-99
* 114460021 11-05-99	+ 114460085 13-05-99	◇ 114460100 13-05-99
☆ 114460042 11-05-99	x 114460085 04-10-99	☆ 114460100 04-10-99

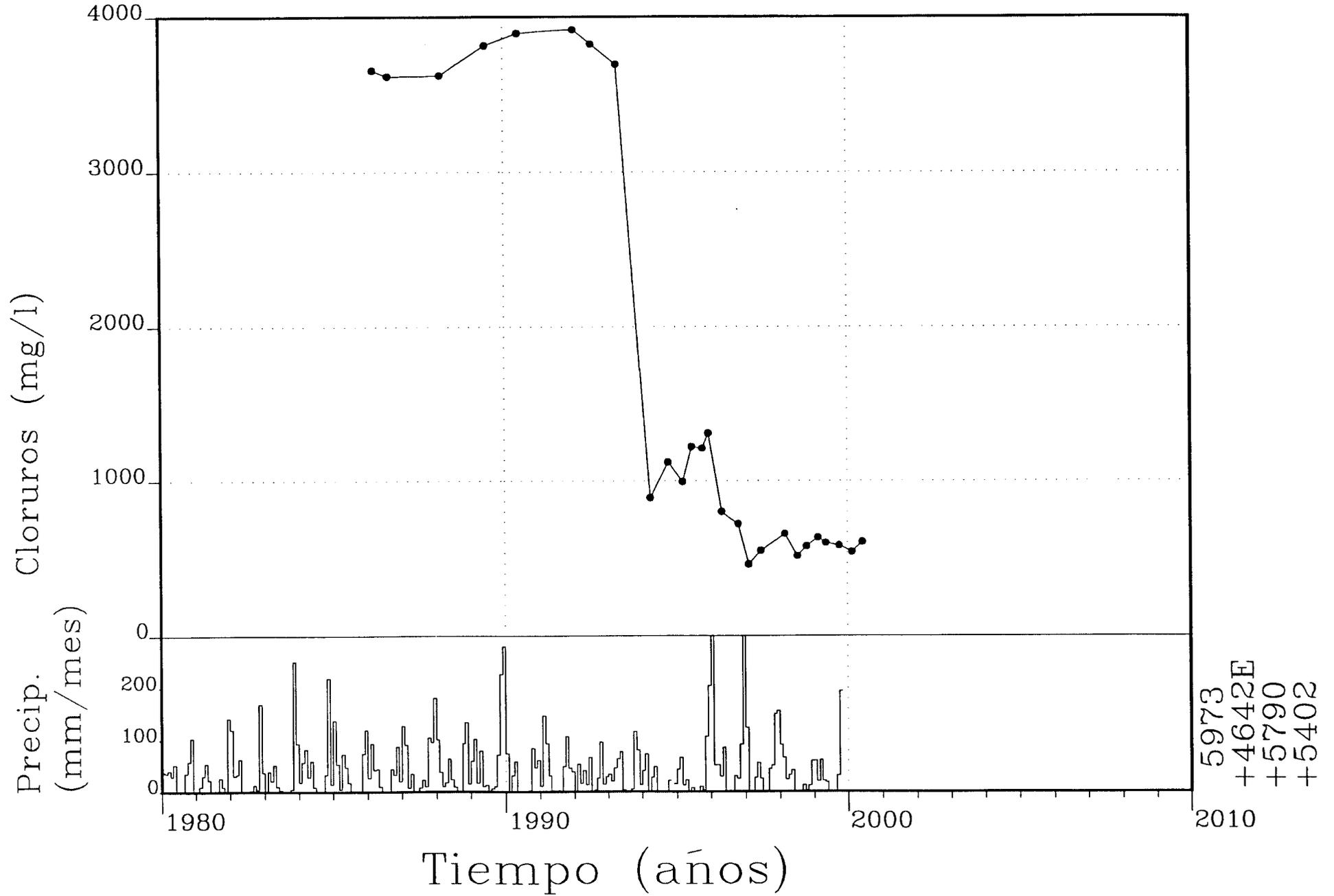
ANEXO IV

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS

Punto: 114420005

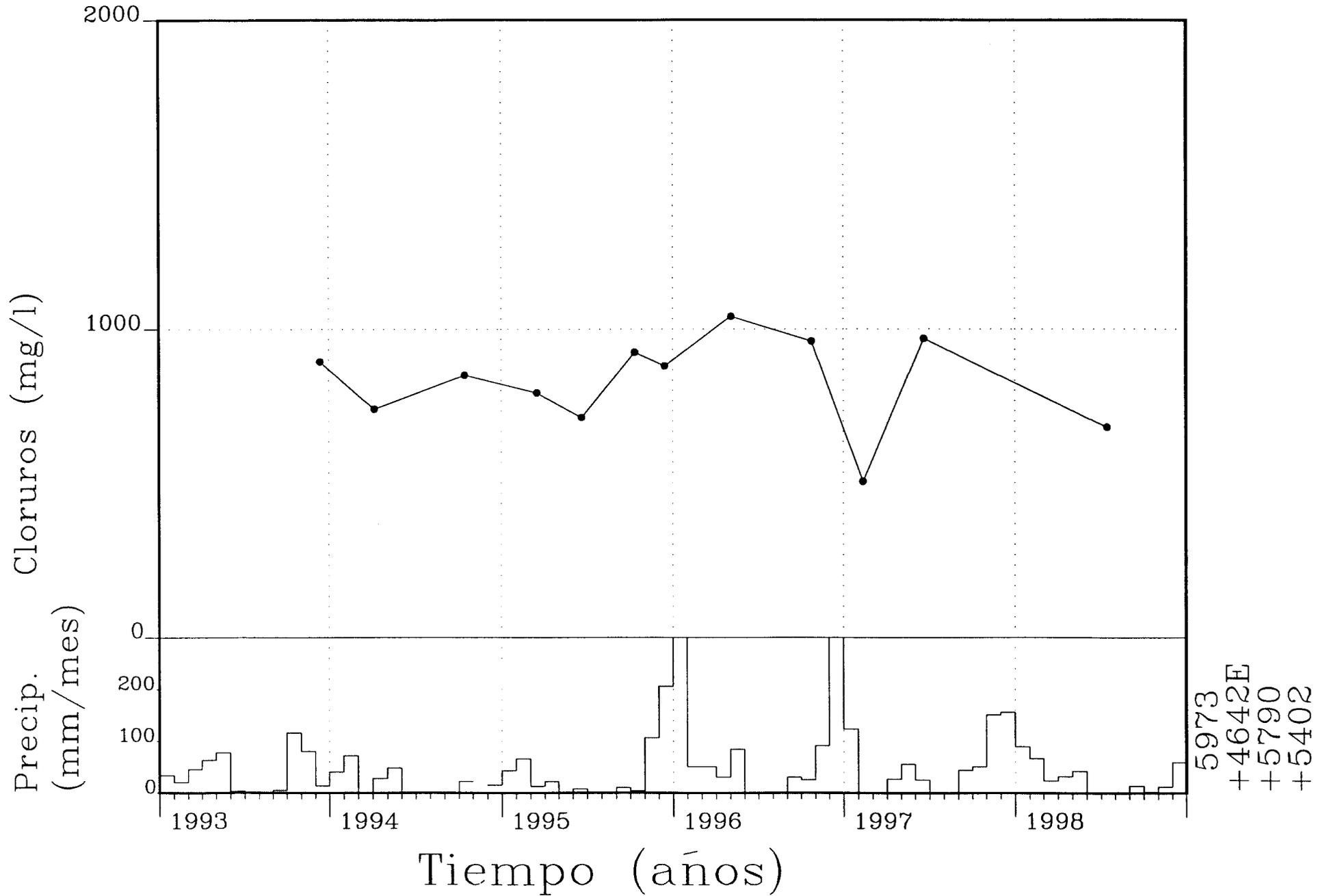


Punto: 114420027

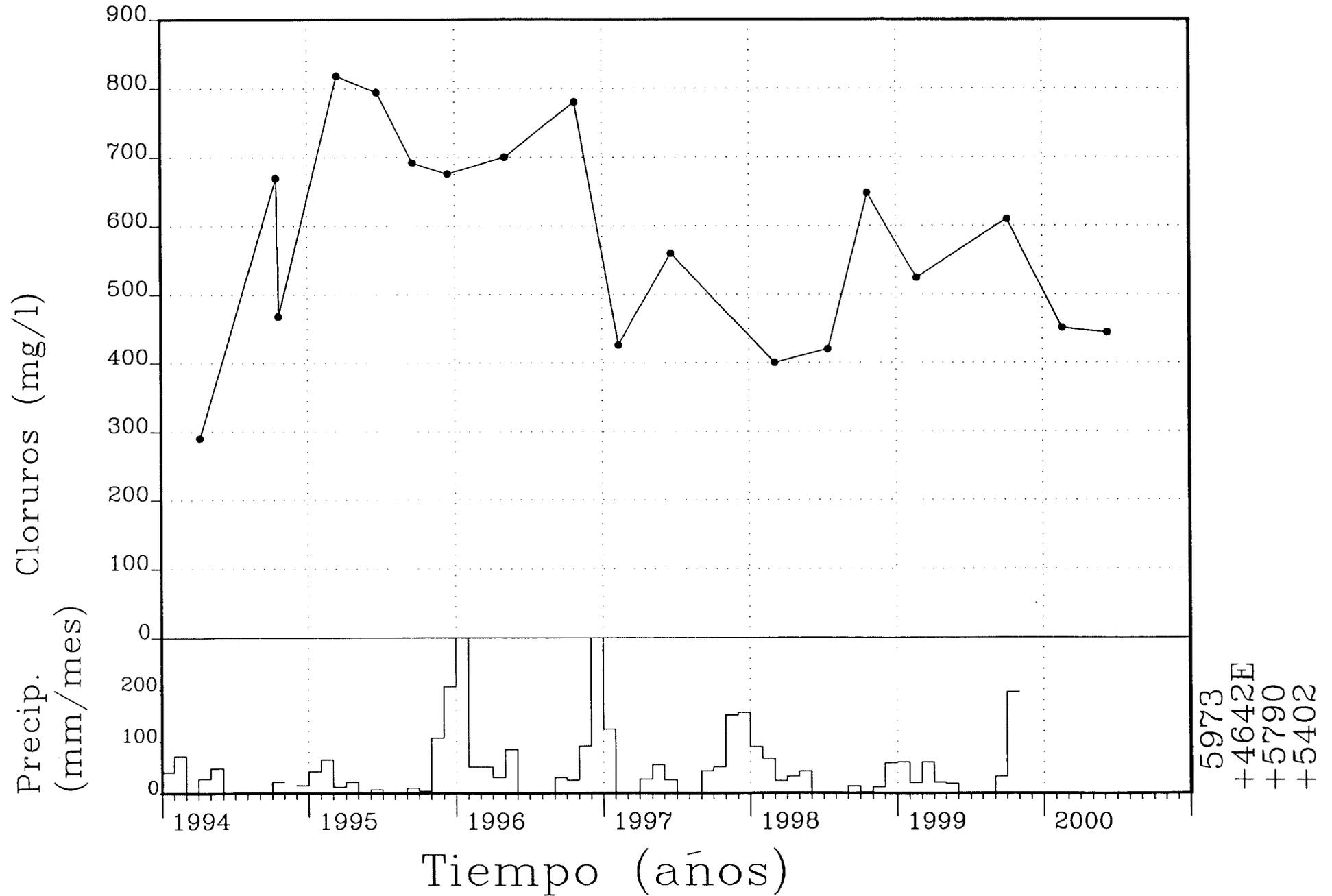


5973  
+4642E  
+5790  
+5402

Punto: 114420035

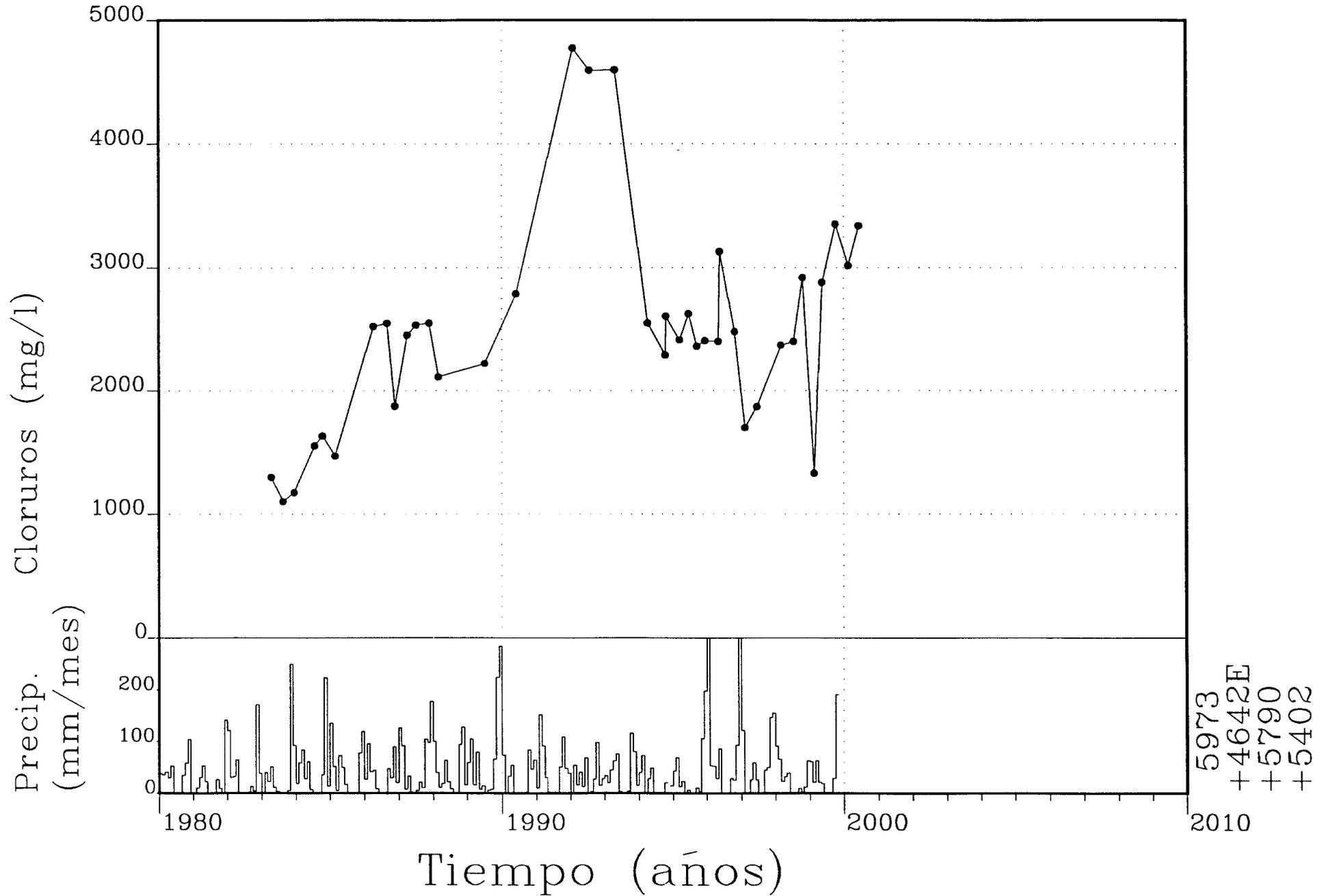


Punto: 114420036

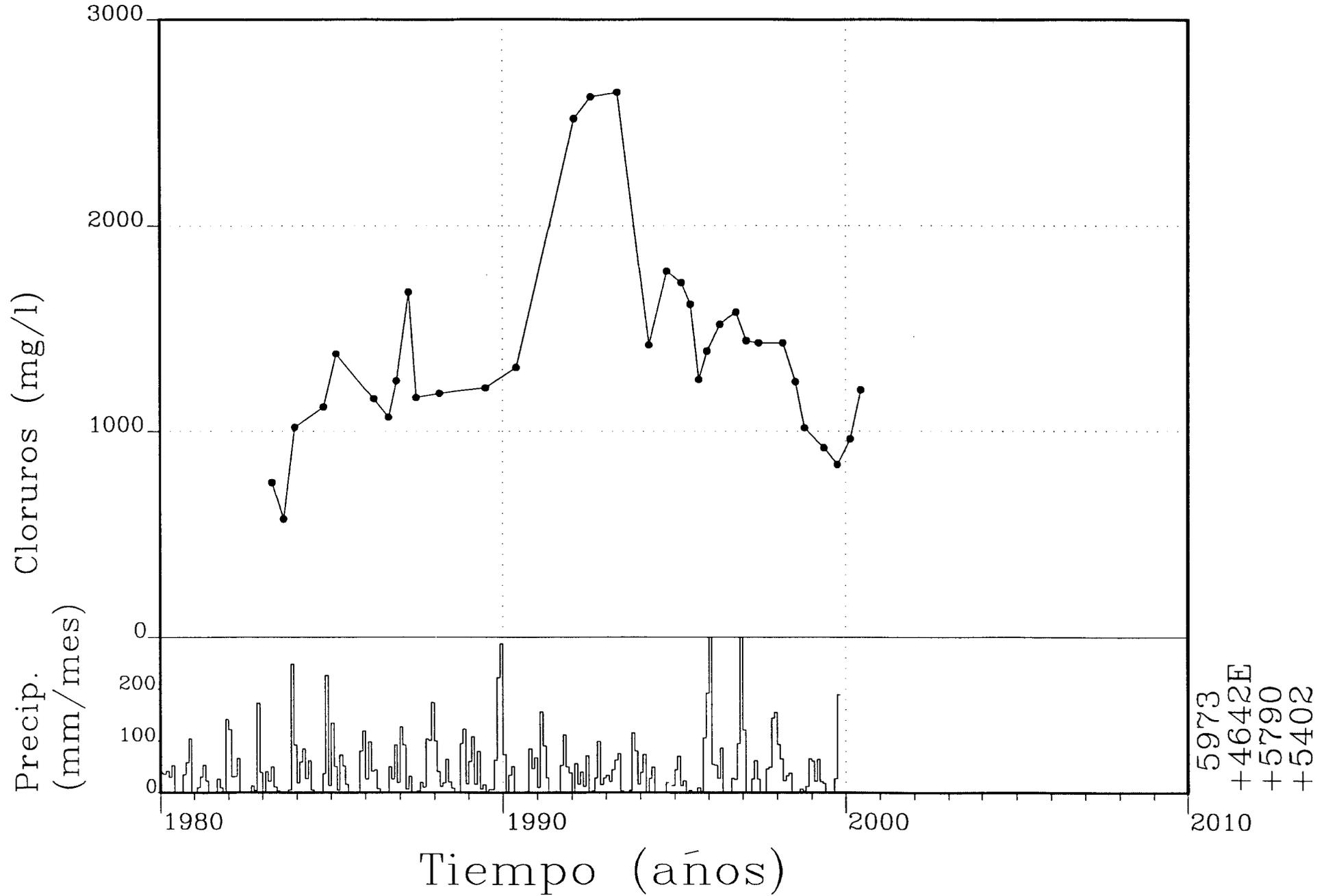


5973  
+4642E  
+5790  
+5402

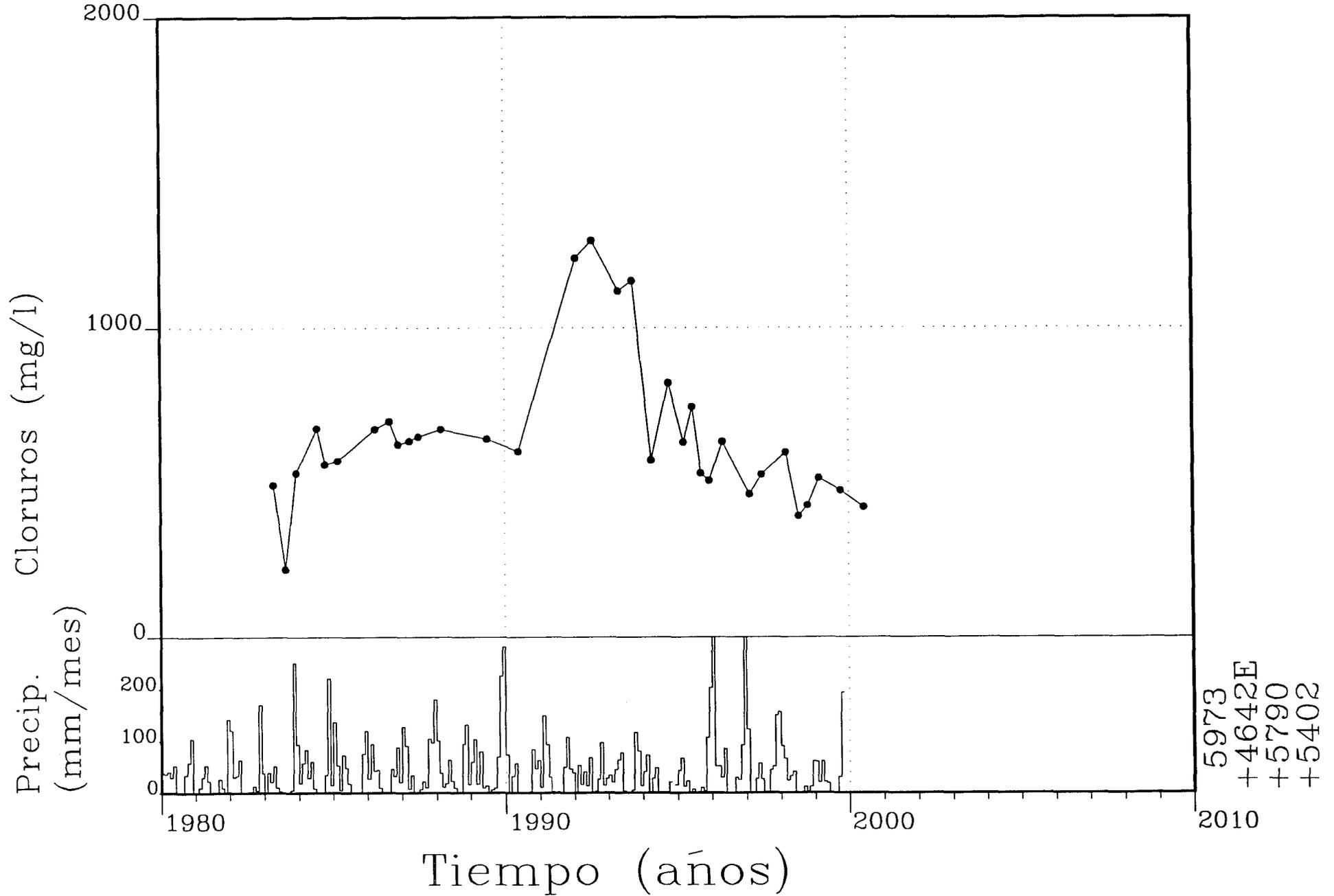
Punto: 114460010



Punto: 114460013

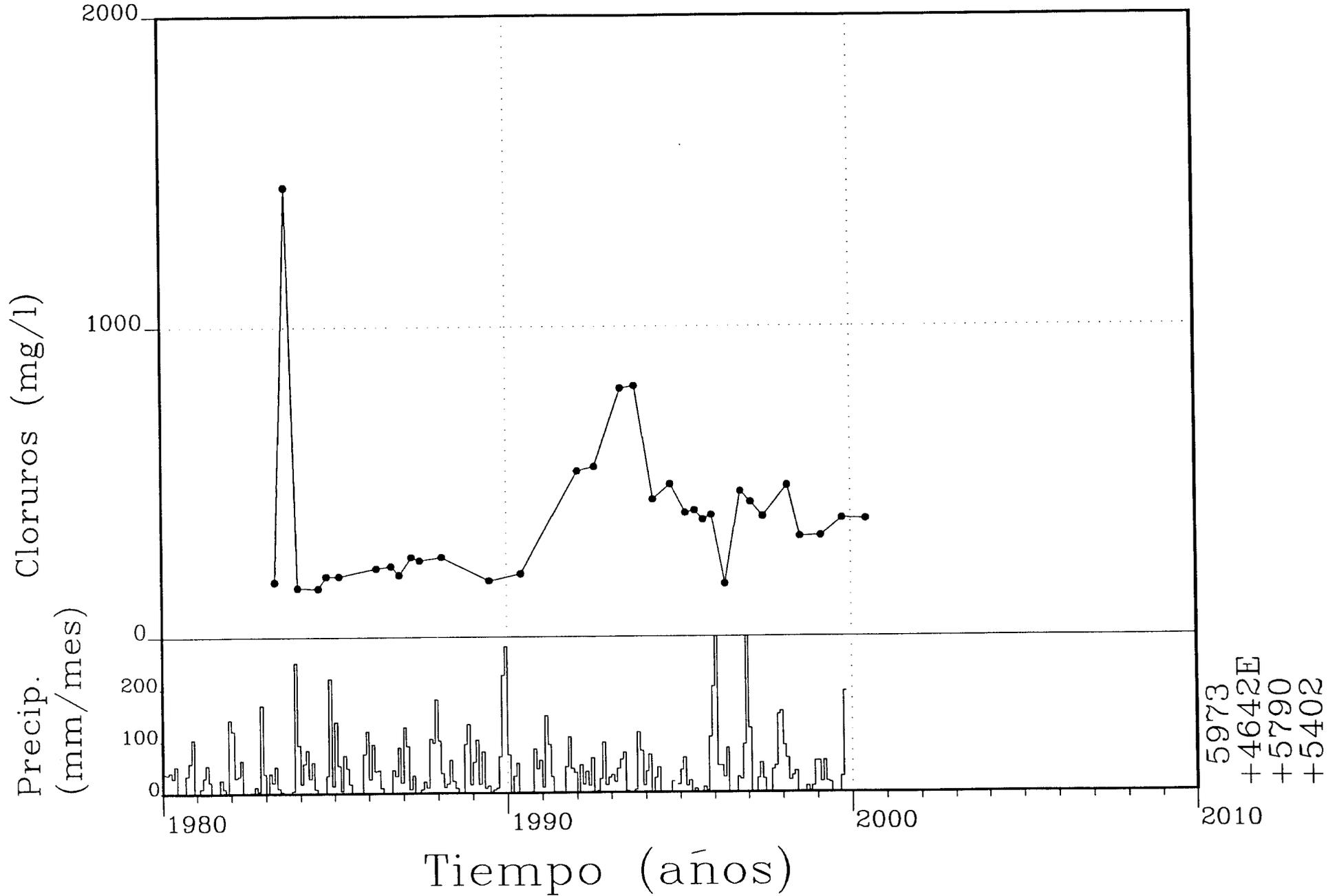


Punto: 114460042

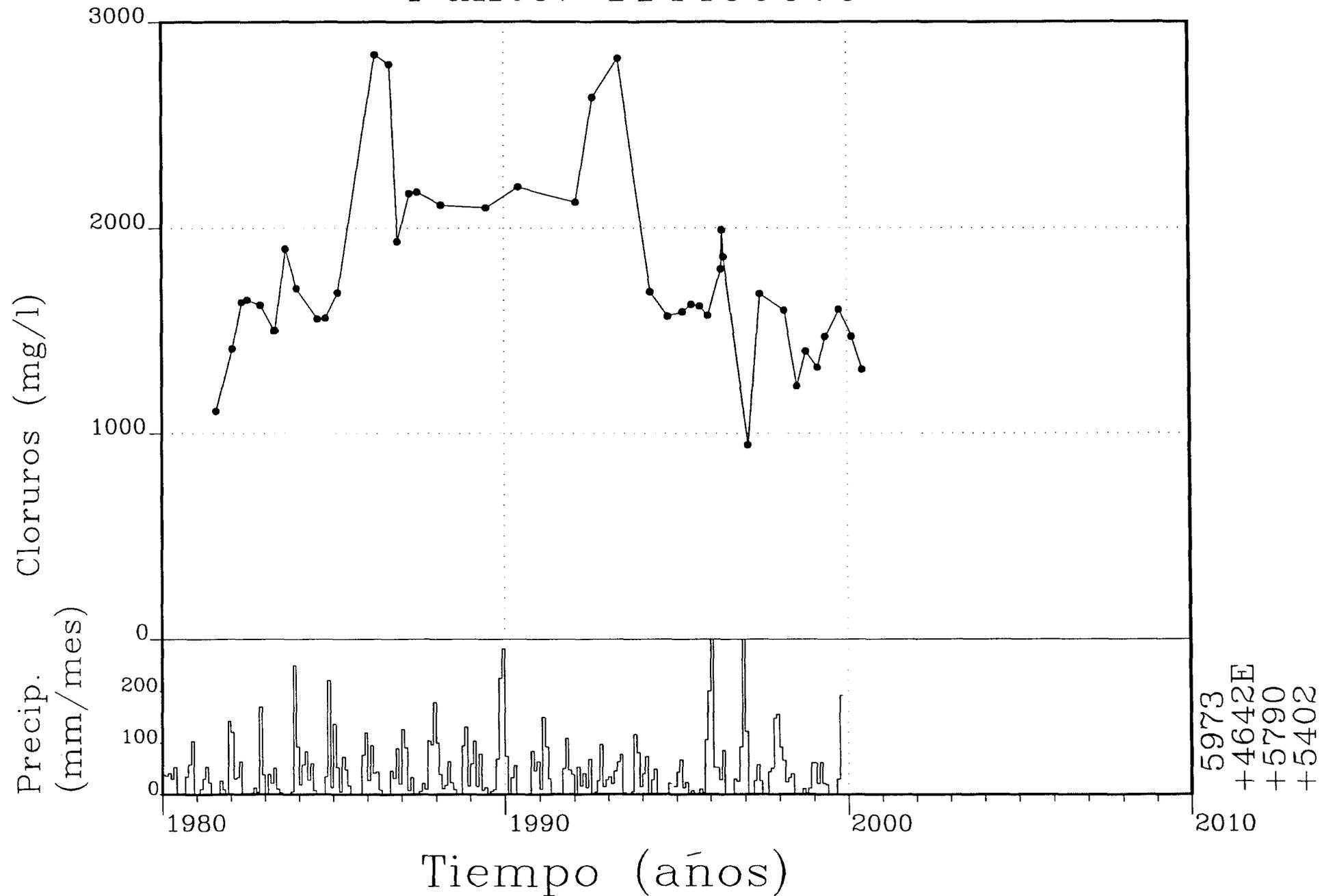


5973  
+4642E  
+5790  
+5402

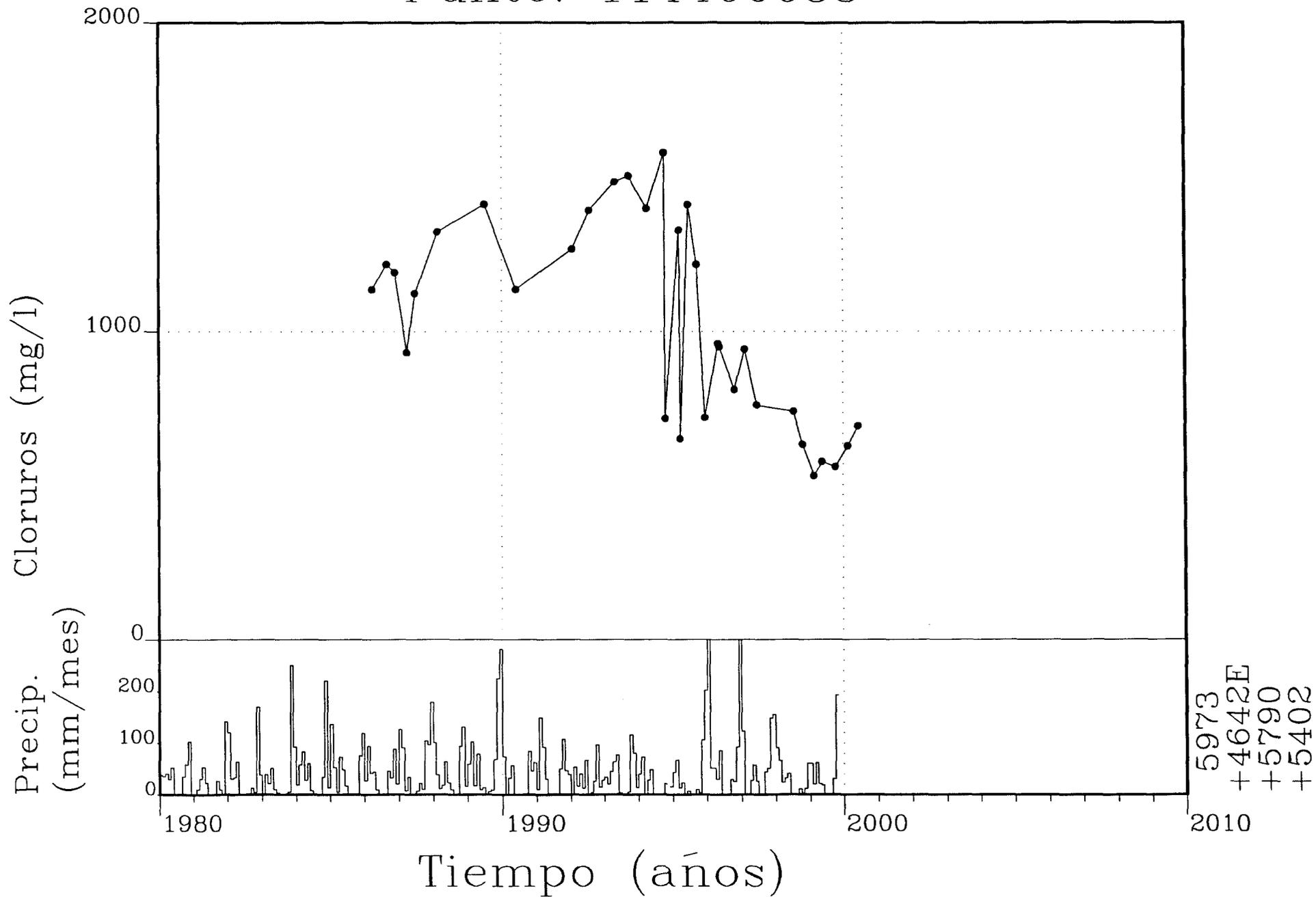
Punto: 114460063



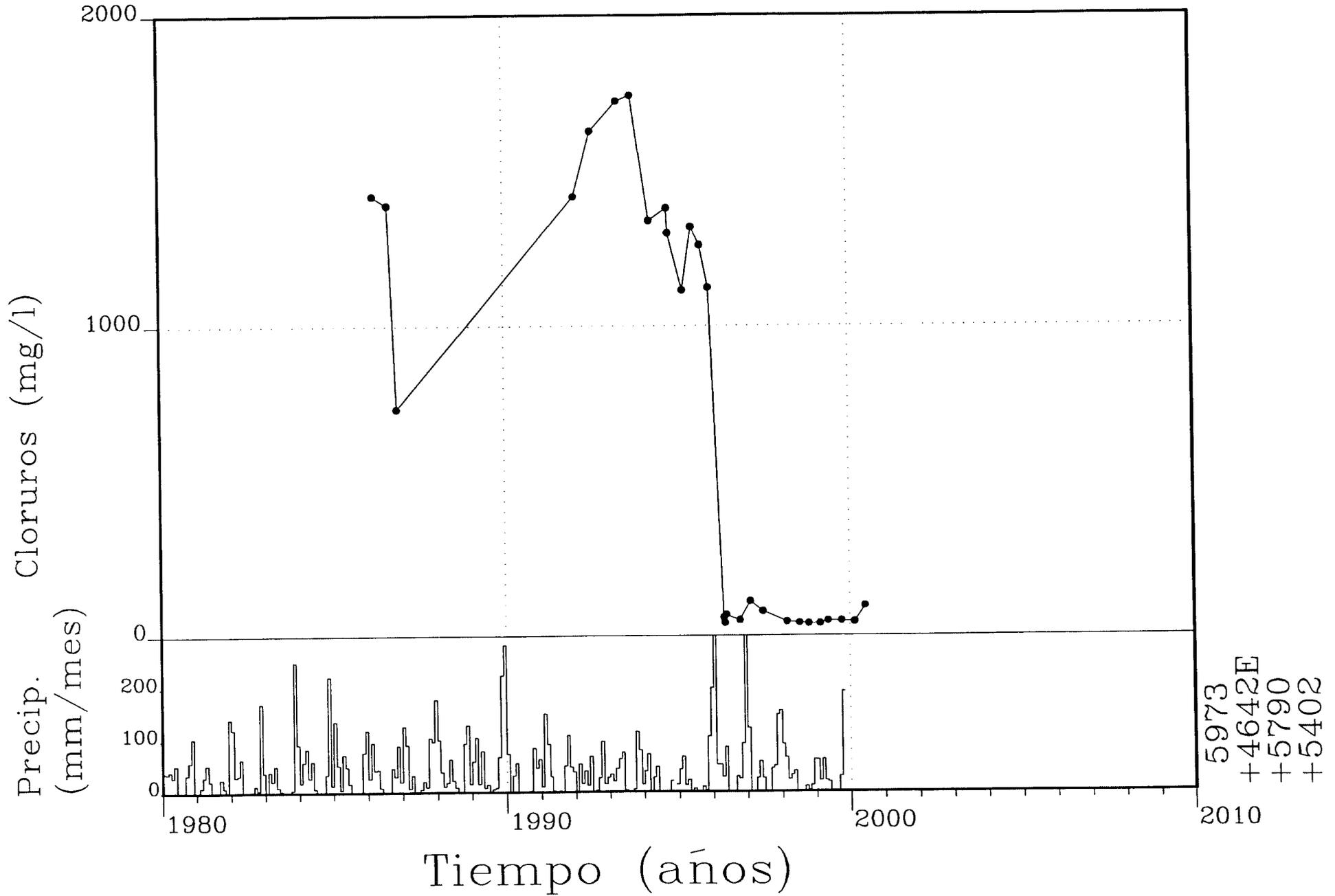
Punto: 114460079



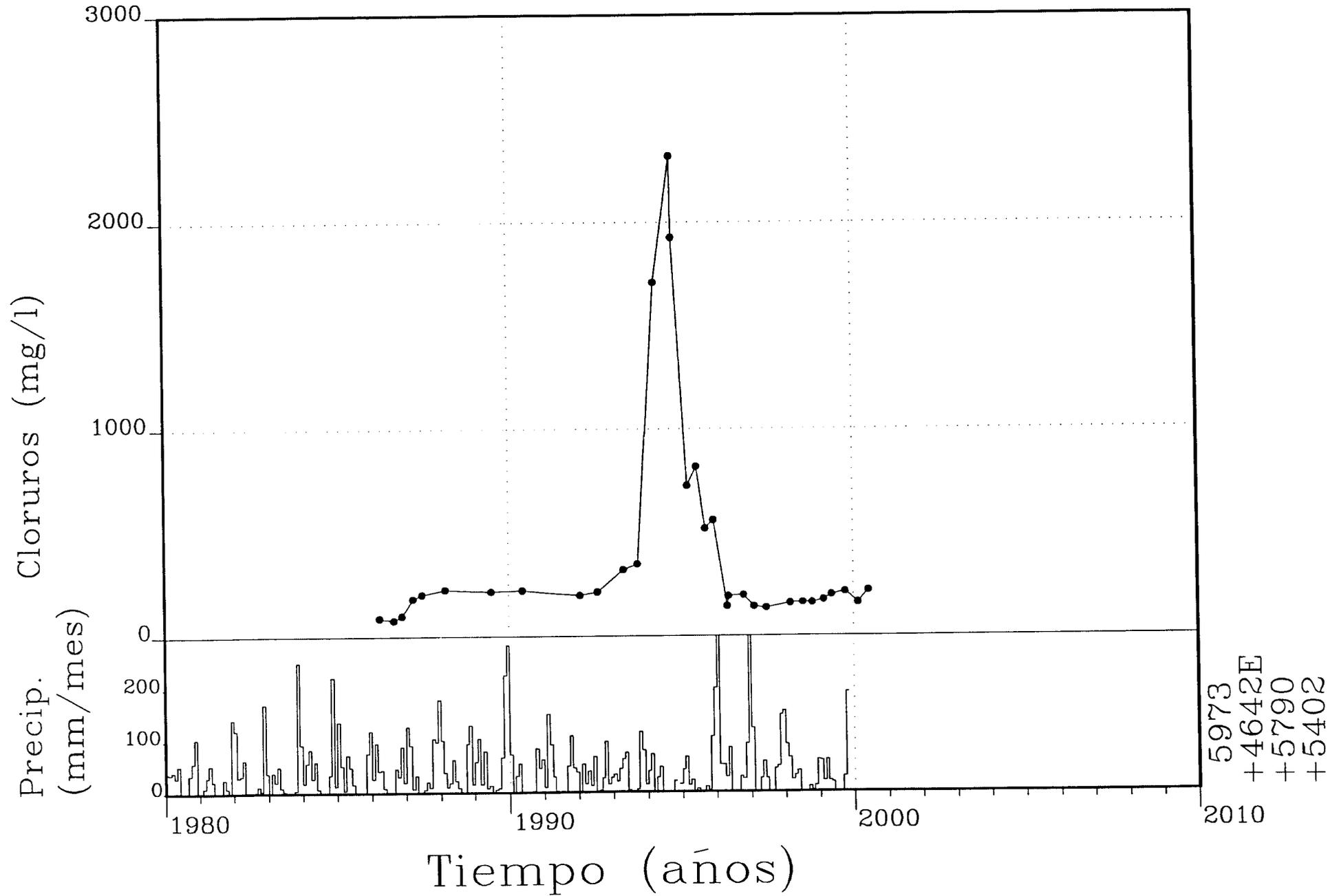
Punto: 114460083



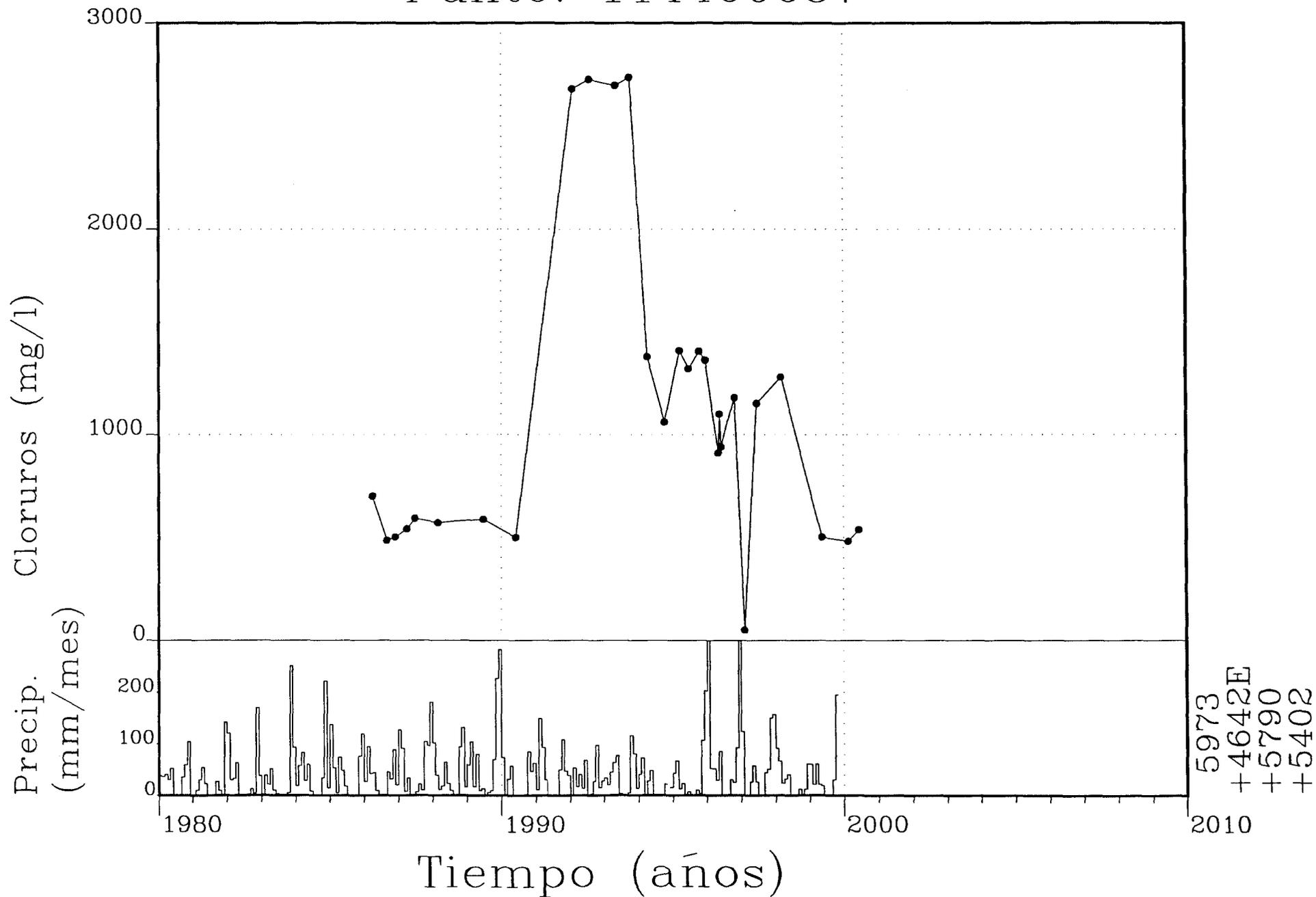
Punto: 114460085



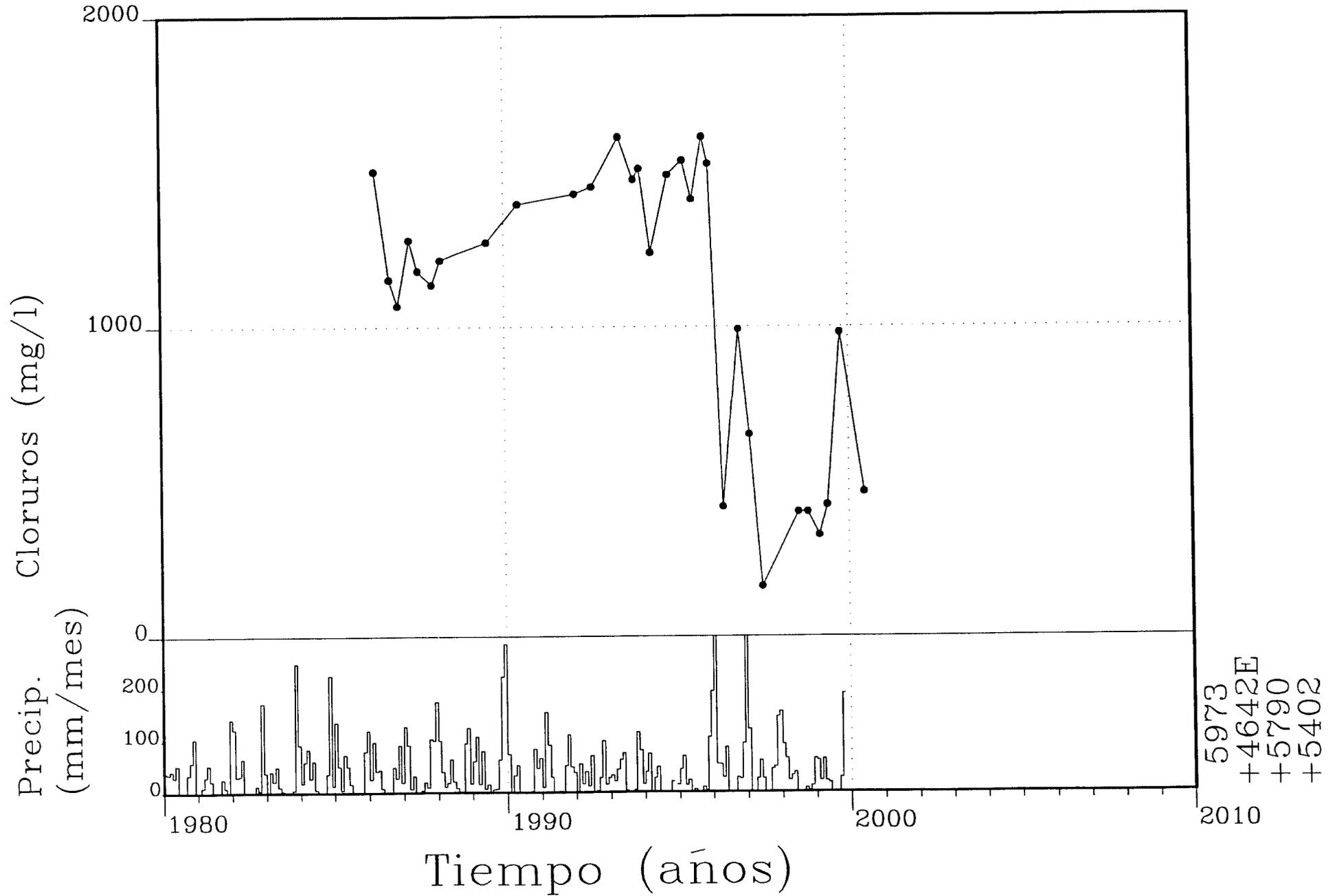
Punto: 114460086



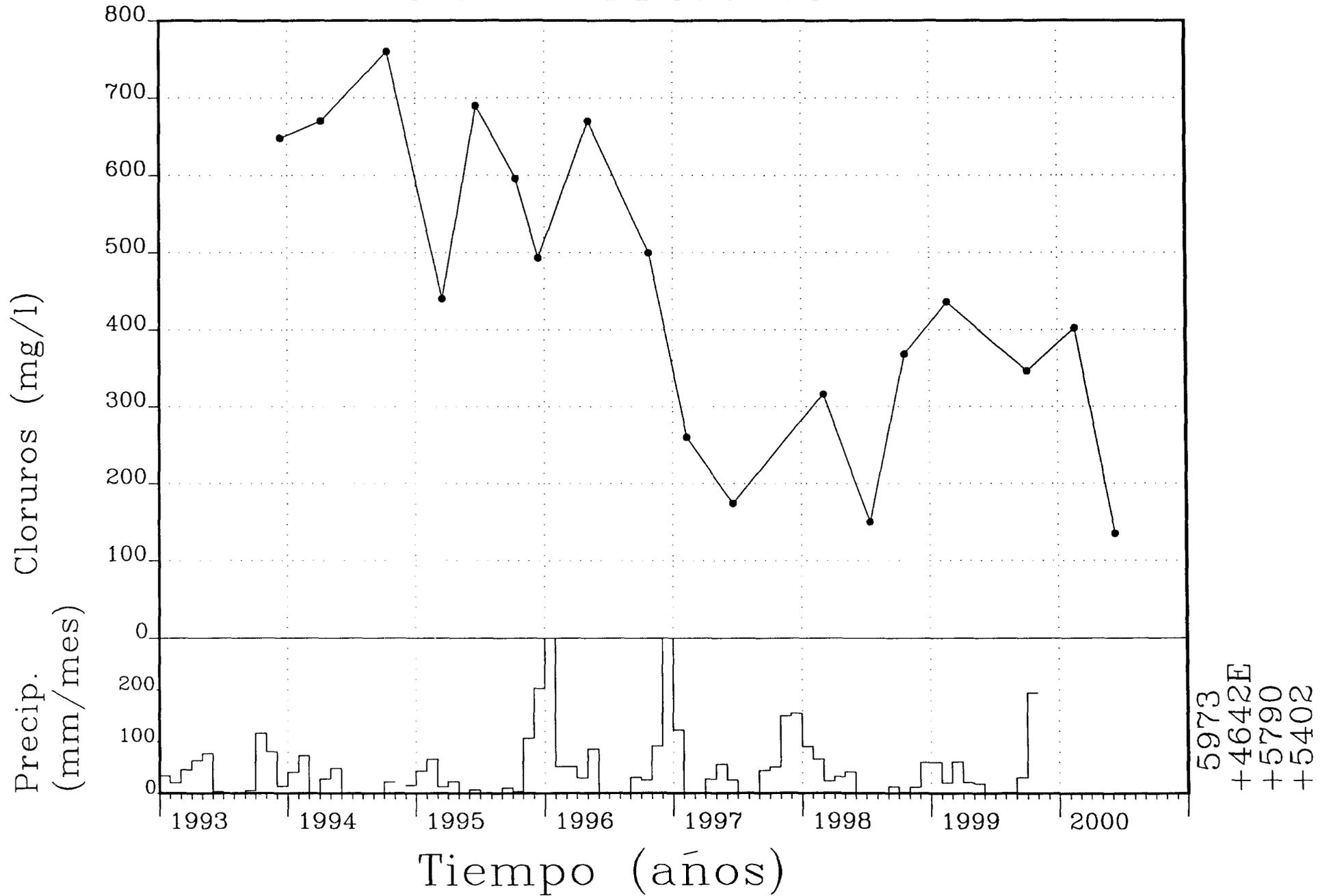
Punto: 114460087



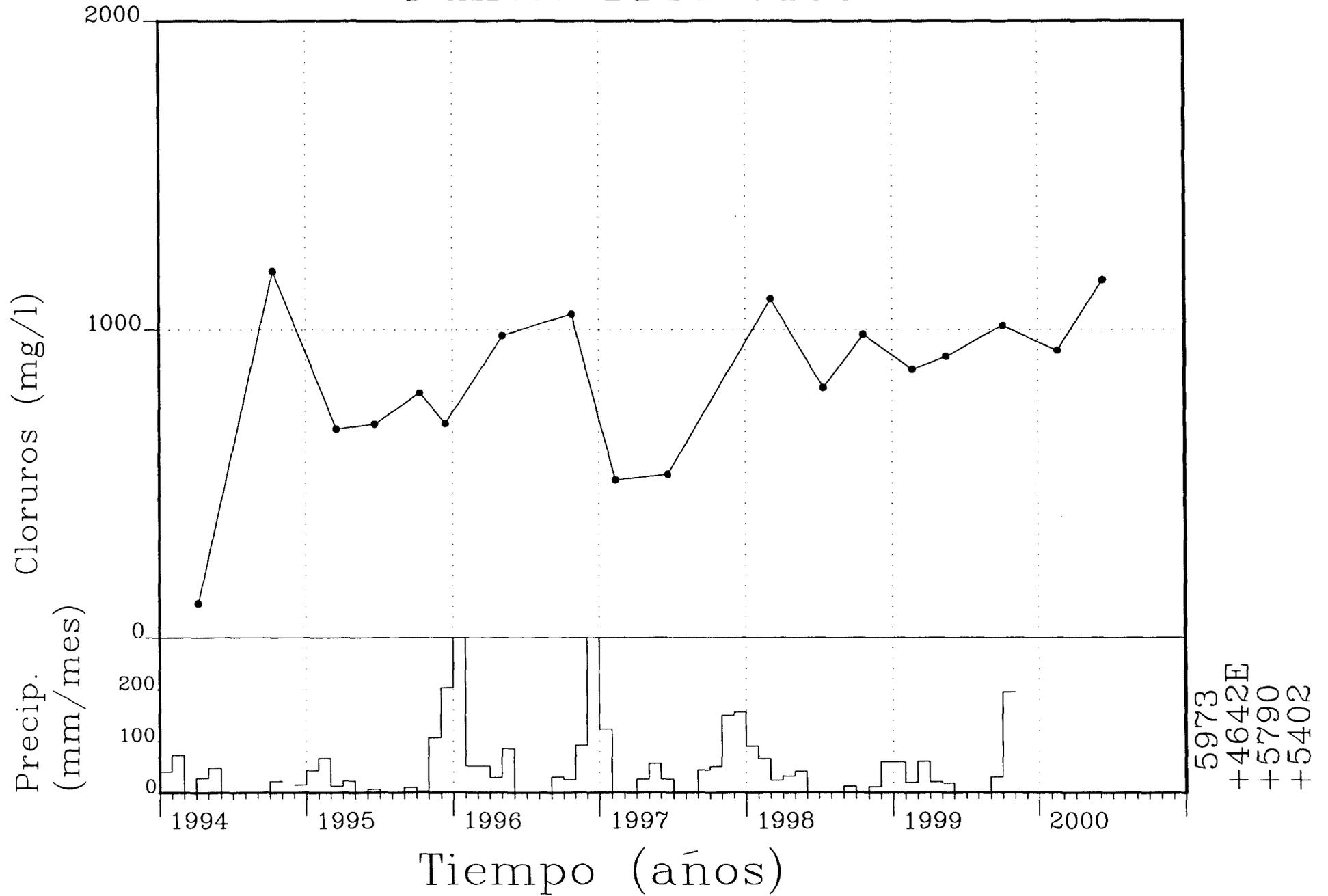
Punto: 114460088



# Punto: 114460095



Punto: 114460100



## **5.2 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.58 PUERTO DE SANTA MARÍA**

### **5.2.1 Situación y límites.**

La Unidad hidrogeológica 05.58 (Pto. de Sta. María), se sitúa en la Cuenca Baja del Guadalquivir; en concreto, en la desembocadura del río Guadalete. Se extiende a lo largo de la costa atlántica de la provincia de Cádiz, entre el arroyo Salado de Rota, y la desembocadura del río Guadalete, queda enmarcada en el sector costero de la comarca Campiña de Jerez. La superficie del mismo es de 40 km<sup>2</sup>. El núcleo de población existente en la misma es Puerto de Santa María.

La Unidad está limitada por el arroyo Salado de Rota, al Oeste, el río Guadalete, al Sur, afloramientos subbéticos al Este y el océano Atlántico al Suroeste.

### **5.2.2 Descripción hidrogeológica.**

La Unidad 05.58 está ubicada en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas (Zona Subbética), entre la desembocadura del río Guadalete y el arroyo Salado de Rota. Los materiales subbéticos presentes, que son parte del sustrato impermeable, están constituidos sobre todo por arcillas y margas yesíferas triásicas; también están presentes las areniscas del Aljibe en la zona meridional. Sobre estos se depositaron, en principio, margas silíceas blancas con carácter para-autóctono. A continuación, ya con carácter autóctono, se depositó una serie detrítica desde el Mioceno al Cuaternario.

Las características de dichos materiales postorogénicos se detallan a continuación:

- Formación para-autóctona: margas silíceas blancas; se denominan localmente albarizas o moronitas; edad burdigaliense-andaluciense; se comportan como impermeables y constituyen, junto a los materiales subbéticos, el sustrato impermeable de la Unidad.
- Mioceno: serie constituida por calcarenitas.
- Plioceno: principalmente arenas amarillas y biocalcareniticas; también presentes limos y margas arenosas; de edad pliocuaternario, conglomerados cementados con ostras; aflora a lo largo de la costa formando una franja de aproximadamente 1 km. de anchura; su potencia oscila entre 5 y 20 m; comportamiento hidrogeológico como acuífero.
- Cuaternario: conglomerados, cantos, arenas, limos y arcillas; depósitos de glaciares de cobertera, terrazas y aluviales, dunas, flechas litorales y marisma, entre otros; las marismas se localizan en las desembocaduras del Guadalete y Salado de Conil y, sobre todo, en la bahía de Cádiz, entre Puerto Real y Chiclana; comportamiento hidrogeológico como acuífero, excepto las arcillas y limos de marisma, que son impermeables.

La Unidad hidrogeológica 05.58 constituye un acuífero detrítico, permeable por porosidad y con carácter libre en toda su extensión, excepto en las áreas de marisma, en las que los limos y arcillas de las marismas le dan un carácter confinado.

El sustrato impermeable está constituido por los materiales del Subbético, predominantemente de carácter margoso, y las margas blancas de la formación para-autóctona. En la serie detrítica autóctona los materiales son permeables, excepto las margas arenosas azules miocenas, que se comportan como acuitardo, y los limos y arcillas de marisma, que son impermeables.

La superficie de la Unidad asciende a 40 km<sup>2</sup>. Se extiende a lo largo de una franja de 12 km. de longitud a lo largo de la desembocadura del río Guadalete. El espesor es variable (10-30 m.). Los parámetros hidrogeológicos hallados en la Unidad son:

- Transmisividad: 10<sup>-2</sup> - 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s (10<sup>-2</sup> en las terrazas fluviales) (en base a comparaciones con formaciones análogas).
- Caudales máximos: 40 L/s.
- Gradiente hidráulico: 3 %.
- Coeficiente de almacenamiento: 0,05.

### 5.2.3 Análisis de la piezometría y su evolución.

El IGME controla, con frecuencia mensual, una red piezométrica compuesta por 5 puntos de agua, en el plano nº 1 del Anexo I se puede ver la situación de los mismos y en la TABLA I se describen las coordenadas U.T.M., cota y profundidad de ellos.

Del estudio de la piezometría reciente del acuífero, (junio 2000) así como de la comparación de ésta con la de años anteriores 1999 y 1995 (ver planos 2, 3, 4 y 5 del Anexo I) hay que destacar, que la dirección del flujo natural del agua subterránea es perpendicular a la costa y al río Guadalete.

La profundidad hasta el agua oscila entre 5 y 15 metros, en las áreas del acuífero más próximas a El Puerto de Santa María, mientras que en la zona de la sierra de San Cristóbal, la profundidad del agua es mayor, situándose entre los 17 y 55 metros.

De la comparación de los niveles, en los piezómetros del acuífero, comparando las fechas de junio/95 y junio/00 ponen de manifiesto que en la actualidad hay un ascenso medio del orden de los 2 metros, en el mismo.

**TABLA I. Puntos de agua de la red piezométrica**

REGISNAC	X	Y	COTA (msnm)	PROFUNDIDAD (m)
114540002	745770	4053546	44.53	30
114540004	747436	4055236	41.55	11.20
114540105	750650	4057875	52.5	109
124510026	751800	4057400	23	284
124510041	752000	4058950	88	100

#### 5.2.4 Análisis de la situación respecto a la intrusión marina.

La red de Intrusión del acuífero consta de dos puntos, situados al suroeste de El Puerto de Santa María, dichos puntos presentan unos valores de cloruros entre 100 y 200 mg/L, que se mantienen estable a lo largo del tiempo, en ambos puntos. Esto unido a que los niveles medidos, en los piezómetros controlados a lo largo de estos años, presentan una evolución estable, no habiéndose detectado problemas derivados de extracciones intensas que pudieran ocasionar problemas de conos de bombeos y de inversión del flujo que favorecieran la entrada de intrusión marina; Nos permite indicar que en el entorno de los puntos muestreados, no existe intrusión salina, como más adelante, comprobaremos a la luz de otros análisis y determinaciones.

#### 5.2.5 Caracterización de facies hidroquímicas.

En los diagramas de Piper, adjuntos en el Anexo III, se han reflejado los puntos de la red de calidad para los años 1995 y 1999. Los puntos presentan, una facie Bicarbonatada Clorurada Sulfatada Calcico-Sódica, con mineralización media, lo que indica como ya decíamos la ausencia de intrusión salina.

#### 5.2.6 Análisis de relaciones iónicas.

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99
114540002	0.856	0.806	0.404	0.532	0.387	0.737	0.770	0.839	5.07	5.55
114540049	0.728		0.795		1.119		0.577		3.10	
Agua de Mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

Del análisis de las relaciones iónicas que observamos, en el cuadro anterior, también podemos comprobar que no se deducen de ellas, efectos de intrusión salina, ya que los valores que para el agua de mar se indican, distan mucho de los que se obtienen de las aguas del acuífero.

#### 5.2.7 Diagnostico del estado actual del acuífero.

El acuífero de Puerto de Santa María presenta en la actualidad aguas de calidad regular, excepto en el área de la sierra de san Cristóbal que es de calidad buena, con mineralización media y muy duras y riesgo de salinización, C-2, (medio). El acuífero no presenta afecciones importantes por la intrusión marina, siendo la evolución de los cloruros de total normalidad.

Del análisis de las relaciones iónicas tampoco parece desprenderse que exista intrusión del agua de mar en el acuífero.

### **5.2.8 Evolución previsible y posibles actuaciones.**

La tendencia observada a partir de los datos obtenidos en las redes de control, nos indica que el estado del acuífero, se encuentra bastante estable y que por lo tanto, caso de mantenerse las actuales condiciones de explotación del mismo no parece que se desarrollen problemas derivados de la intrusión salina.

Sería necesario la reestructuración de las redes establecidas en la U.H., ya que parece insuficiente el número de ellos, así como la distribución espacial de los mismos.

## **ANEXOS UH 05.58**

**ANEXO I: RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS**

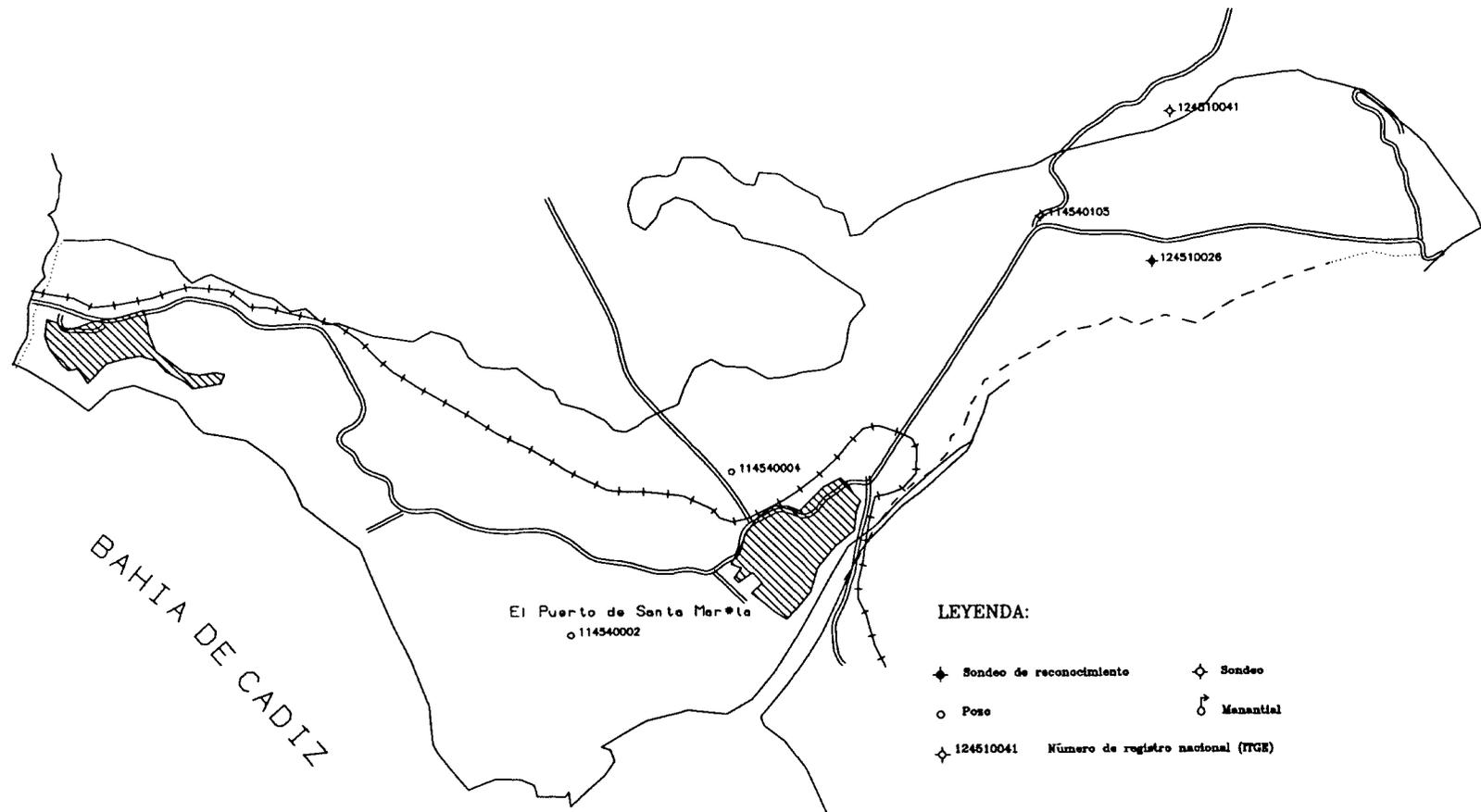
**ANEXO II: RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN. EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS**

**ANEXO III: DIAGRAMAS DE PIPER**

**ANEXO IV: GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS**

ANEXO I

RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS



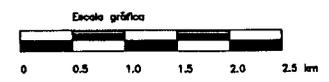
BAHIA DE CADIZ

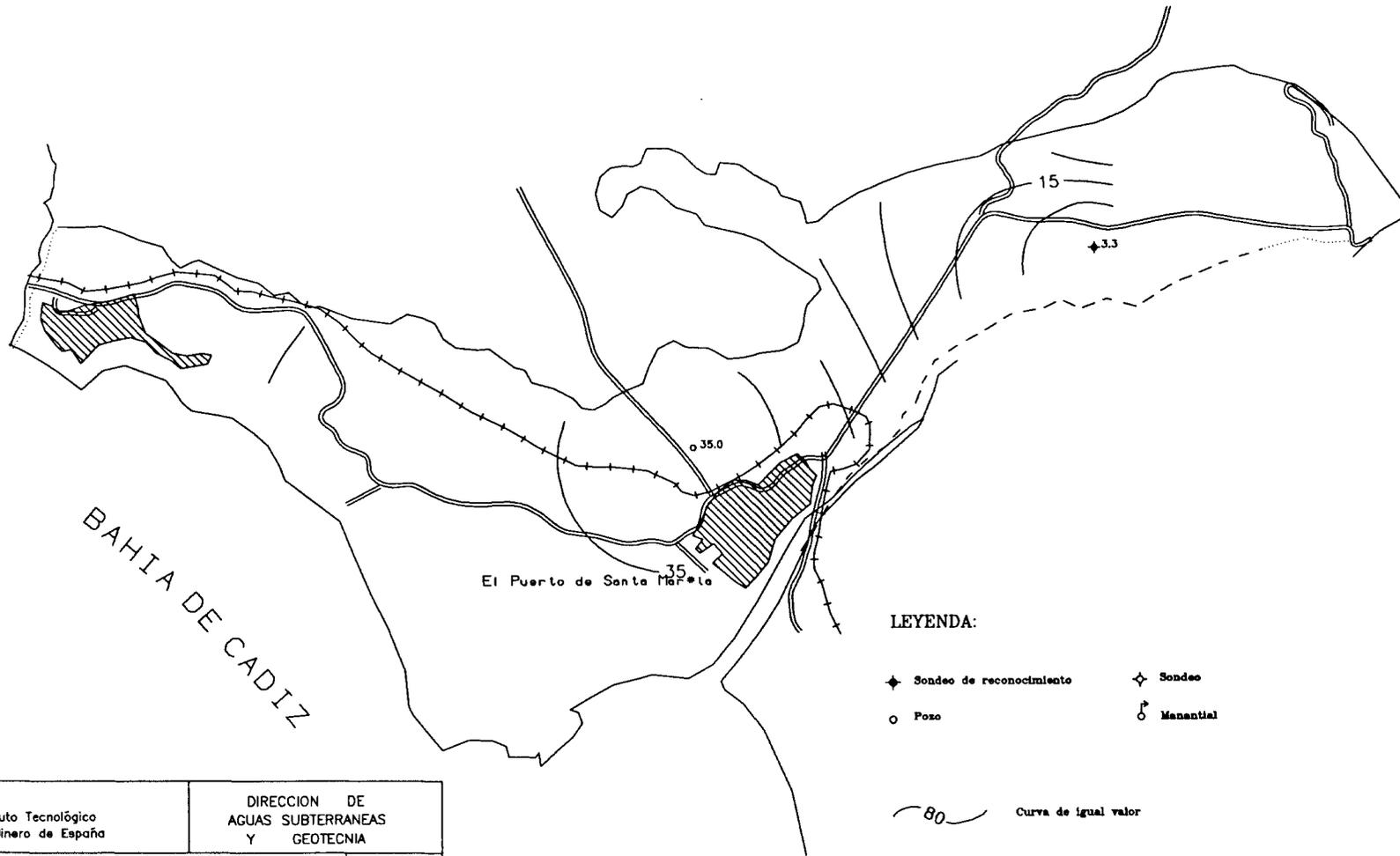
El Puerto de Santa María  
o 114540002

LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ♁ Manantial
- ◆ 124510041 Número de registro nacional (ITGE)

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA	
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto de Santa María	ESCALA 1:50000	
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 1	





LEYENDA:

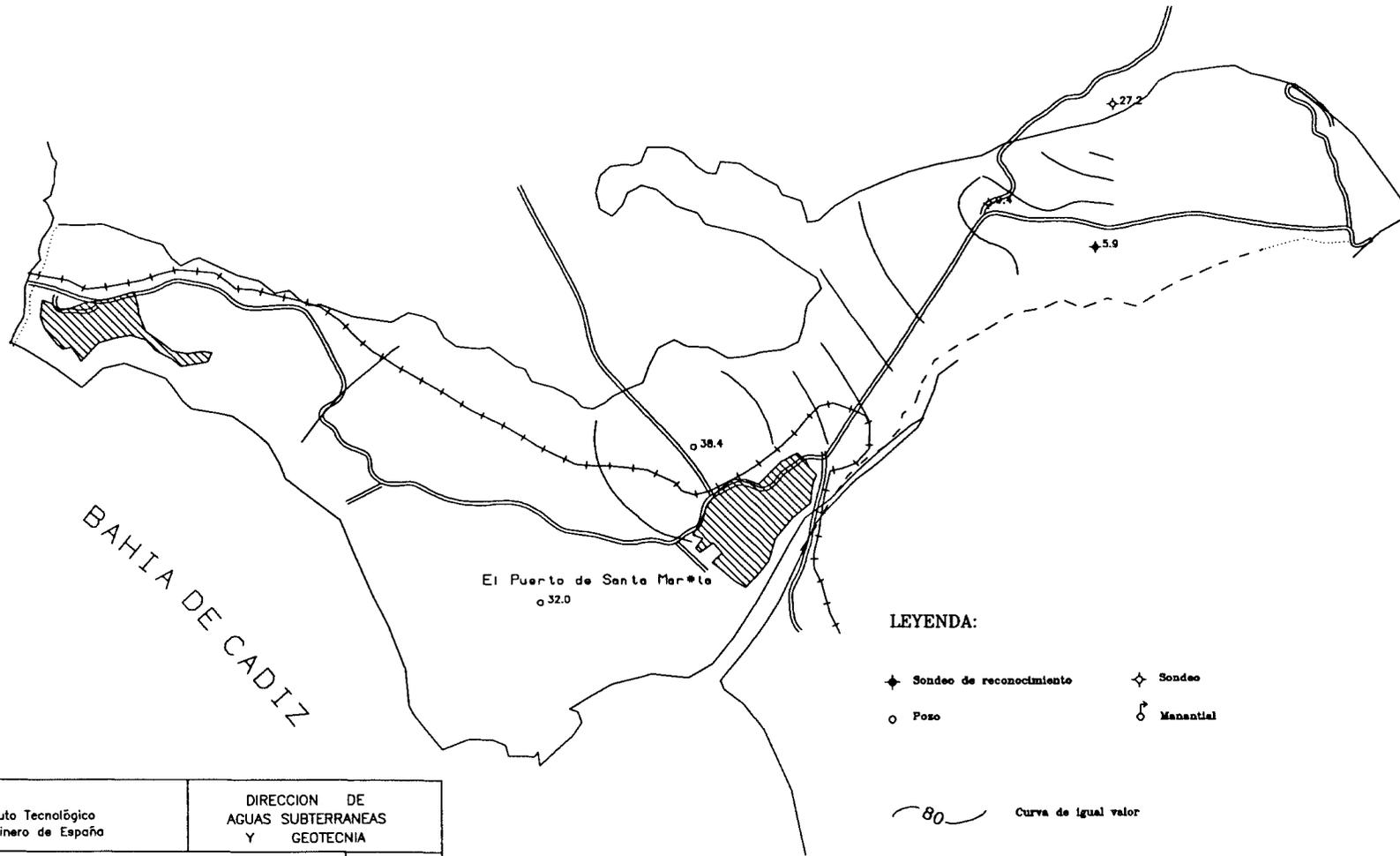
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ♂ Manantial
- o Pozo

80 Curva de igual valor

Escala gráfica



 Instituto Tecnológico Geomínero de España	DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA	
	AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto de Santa María
FECHA 30-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-95 y 01-07-95	No DE PLANO 2

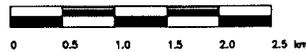


LEYENDA:

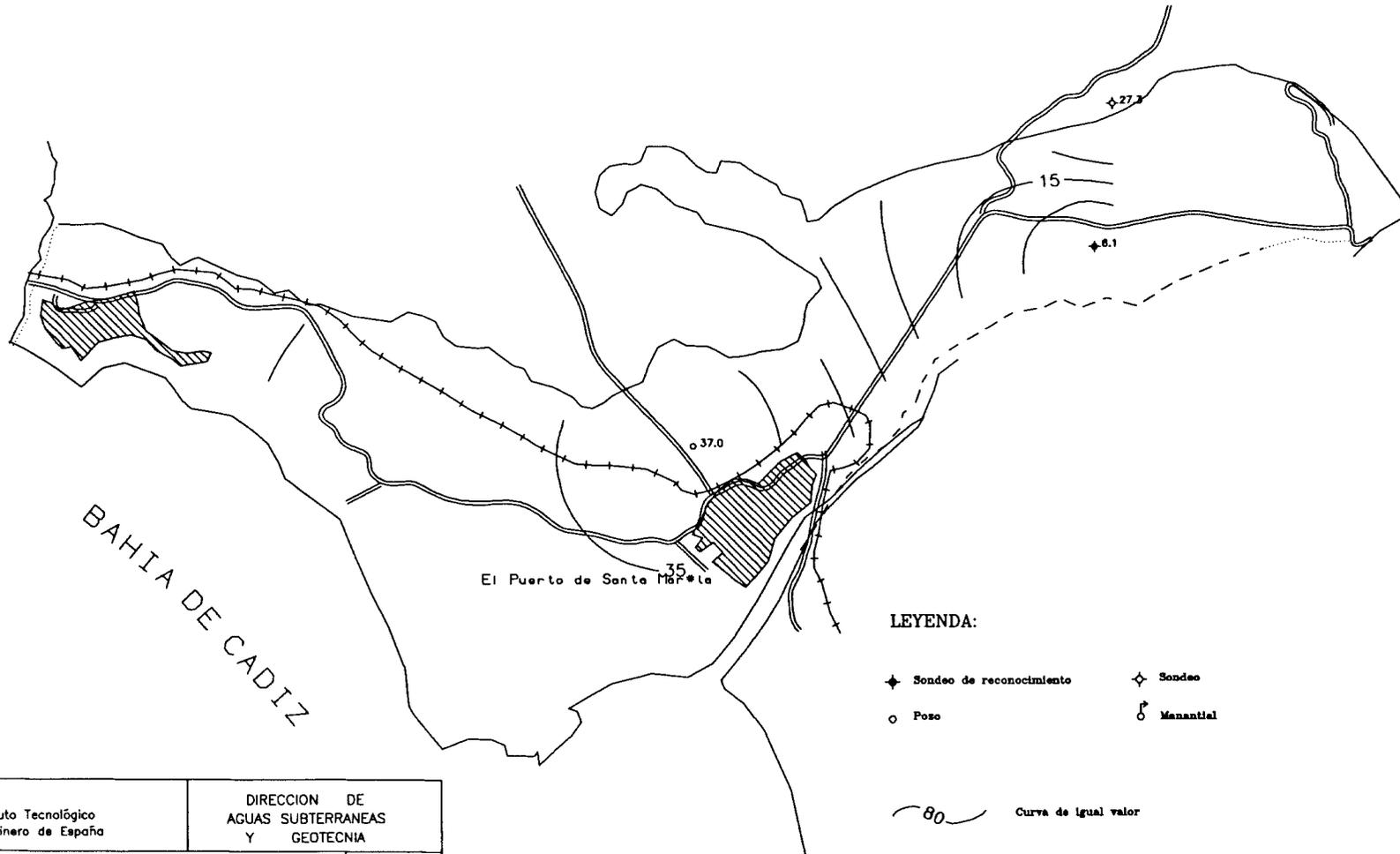
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ♁ Manantial

80 Curva de igual valor

Escala gráfica



 Instituto Tecnológico GeoMínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto de Santa María	ESCALA 1:50000
FECHA 30-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-99 y 01-07-99	No DE PLANO 3

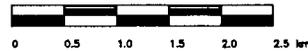


LEYENDA:

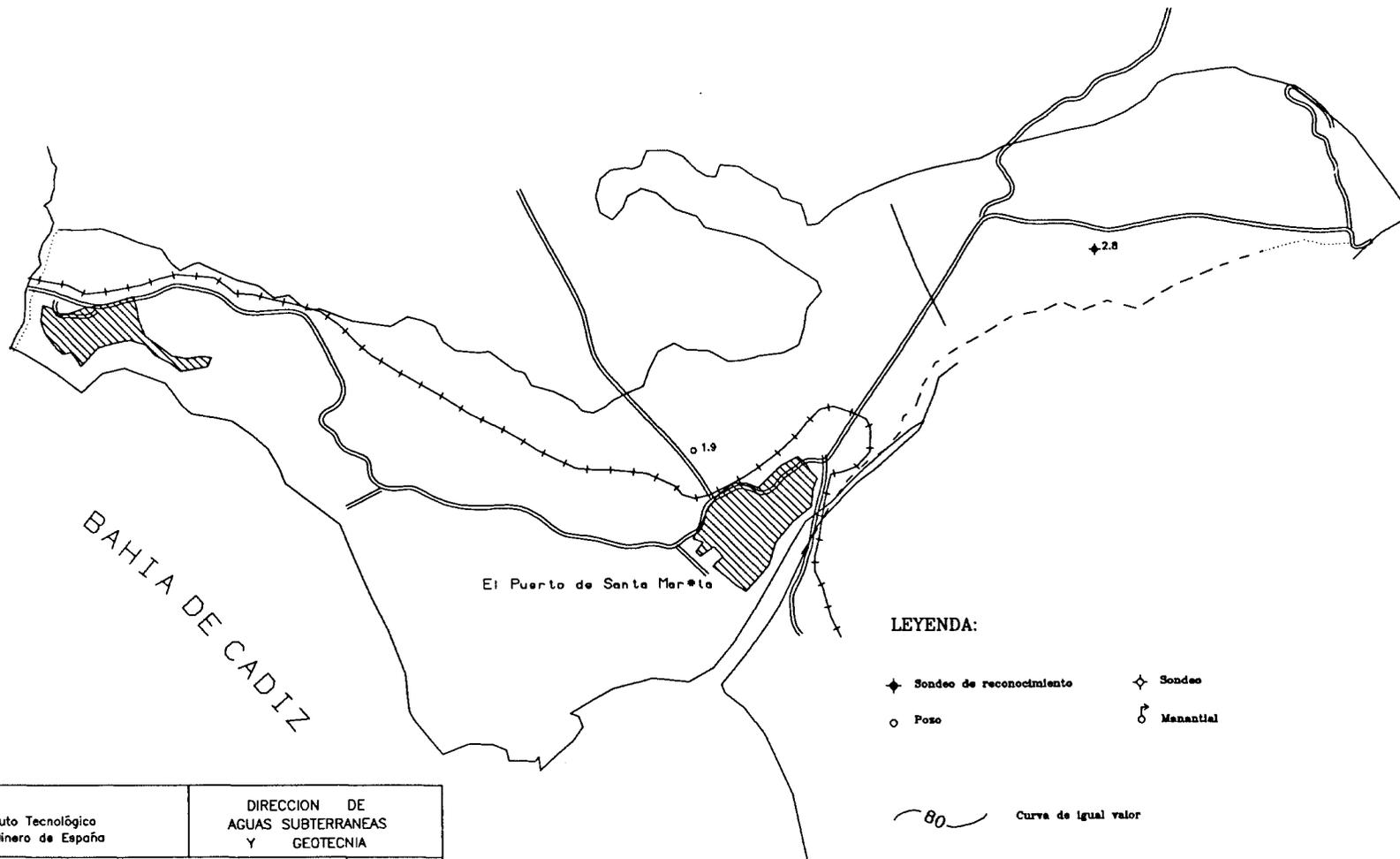
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ♁ Manantial

80 Curva de igual valor

Escala gráfica



 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA	
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto de Santa María	ESCALA 1:50000	
FECHA 30-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 4	



LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊥ Manantial

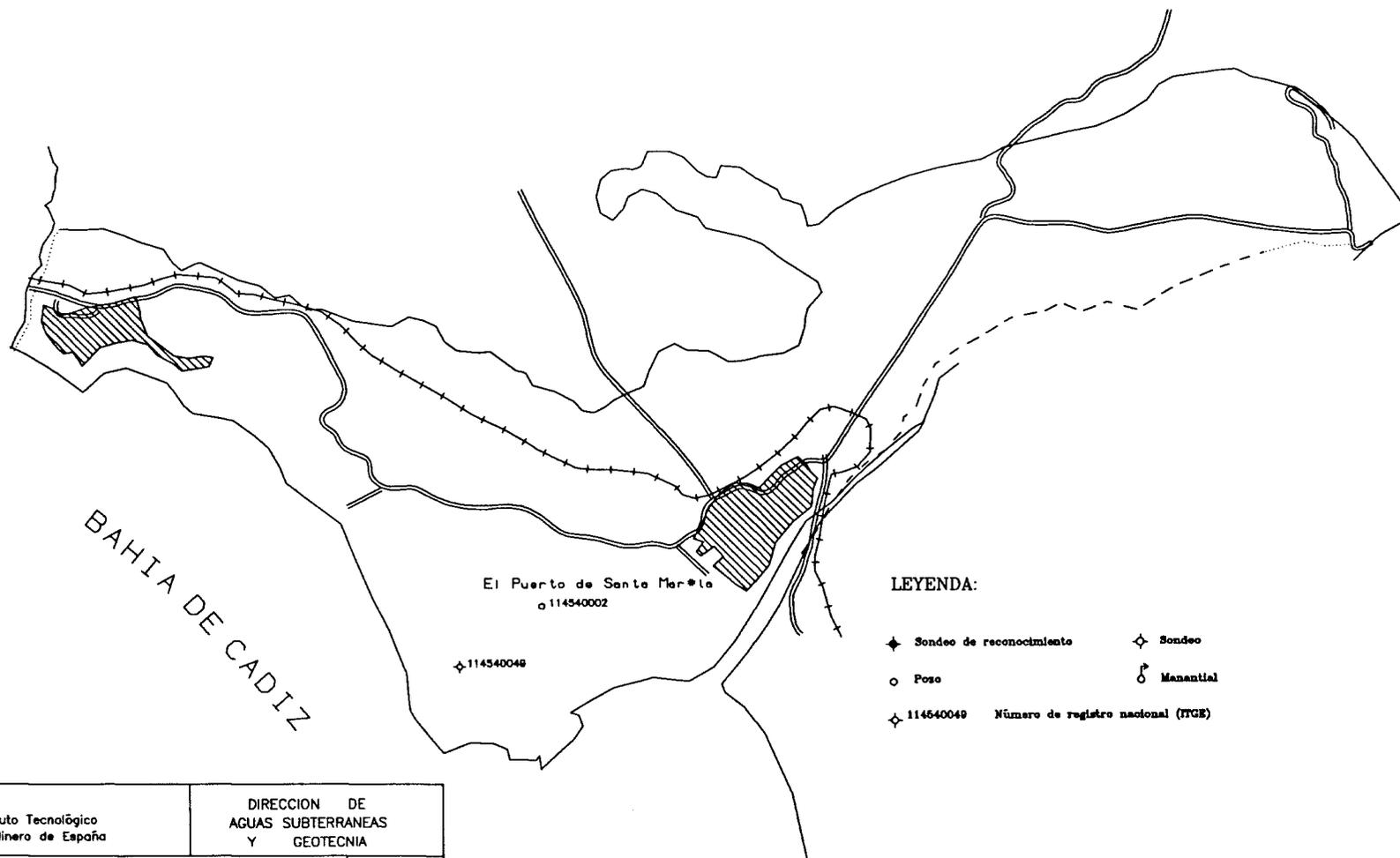
80 Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto de Santa María	ESCALA 1:50000
FECHA 30-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Diferencia entre Junio-95 y Junio-00	No DE PLANO 5



ANEXO II

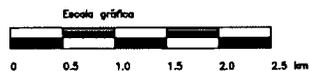
RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN, EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS



LEYENDA:

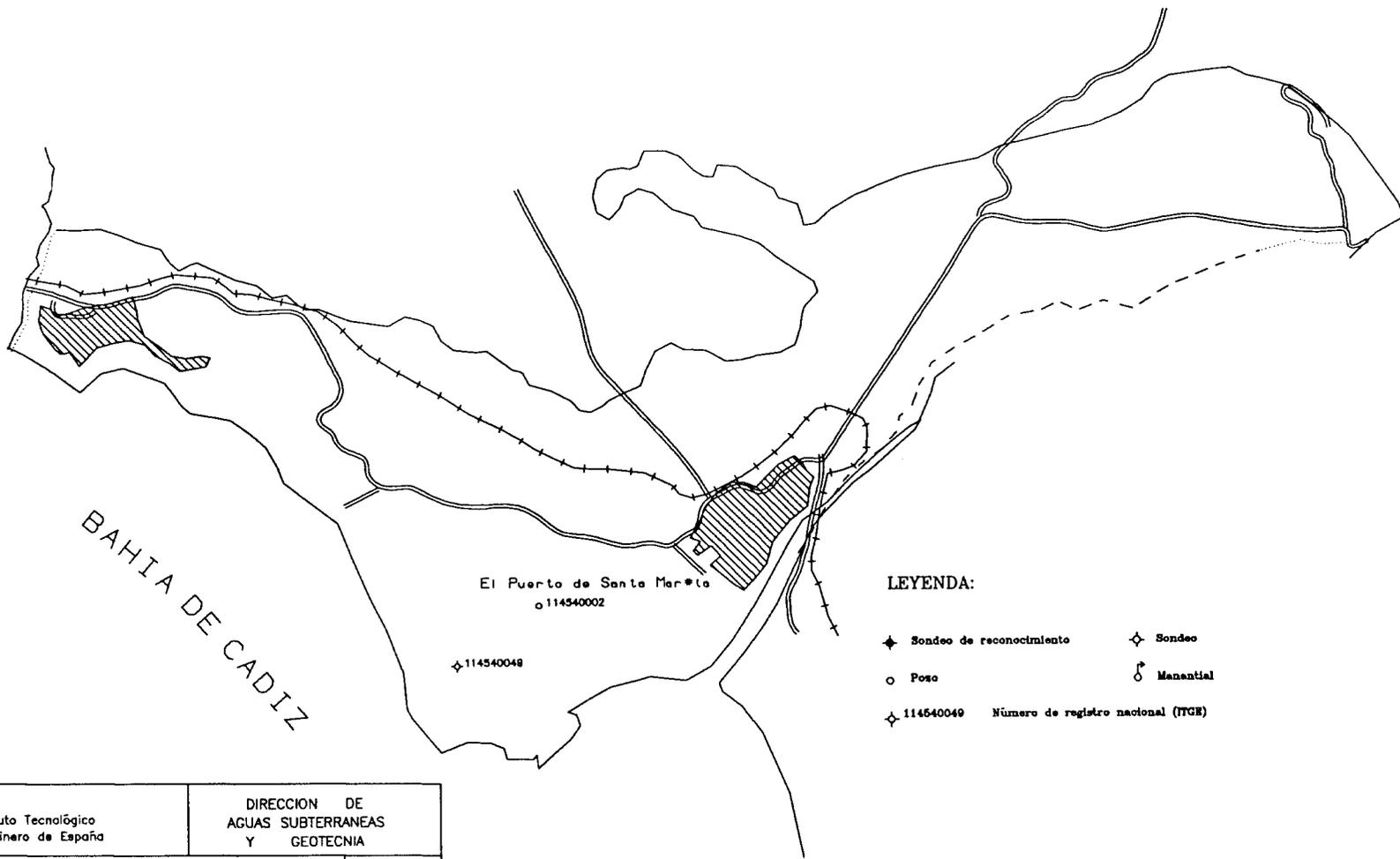
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- ◆ 114540048 Número de registro nacional (ITGE)

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUÍVIR Puerto de Santa María	ESCALA 1:50000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 6



ANEXO III

PLANO DE SITUACIÓN DE LA RED DE CALIDAD  
DIAGRAMAS DE PIPER



BAHIA DE CADIZ

El Puerto de Santa María  
o 114540002

◆ 114540049

LEYENDA:

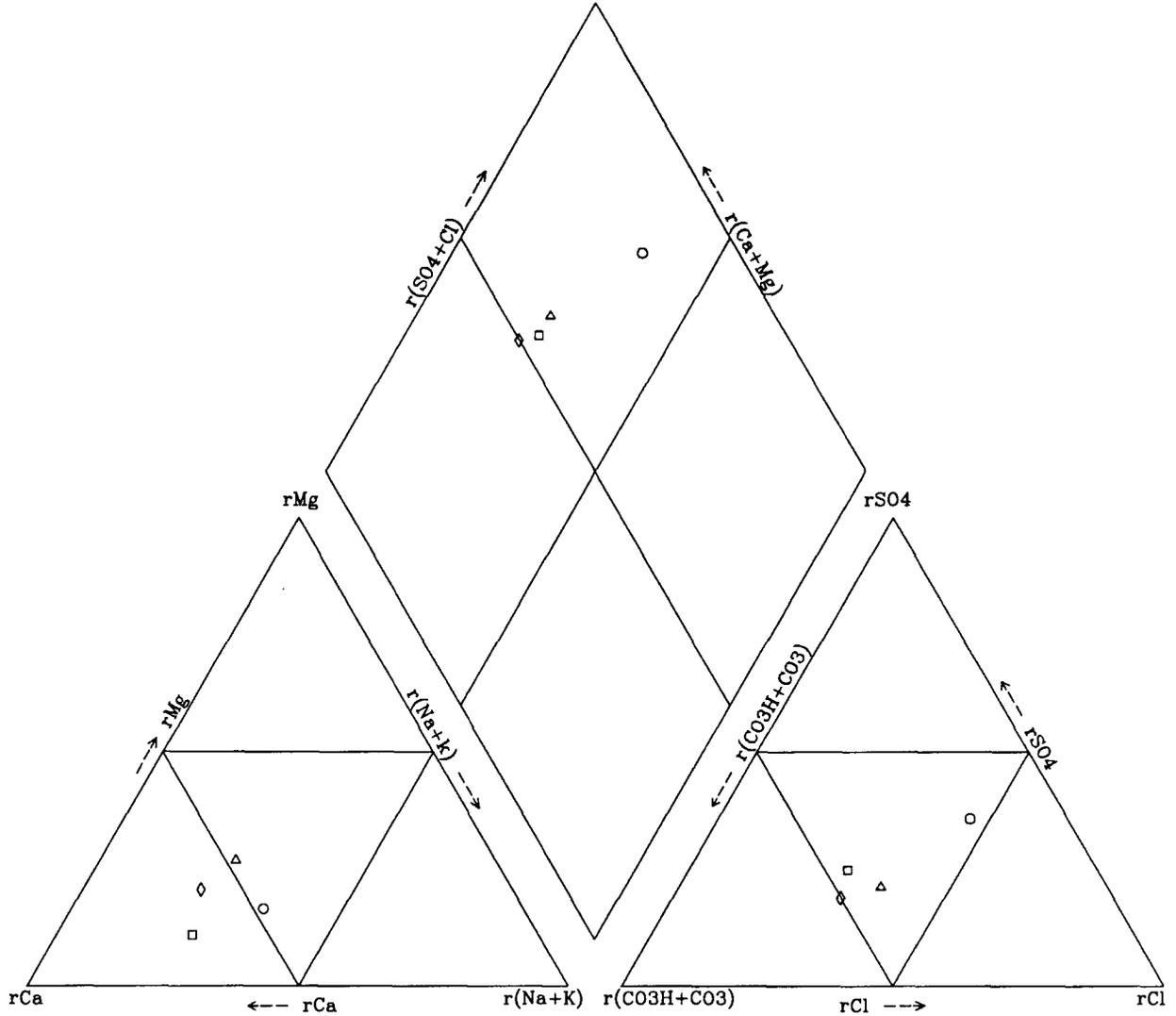
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◆ Sondeo
- Pozo
- ♣ Manantial
- ◆ 114540049 Número de registro nacional (ITGE)

 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto de Santa María	ESCALA 1:50000
FECHA 09-11-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de calidad Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 7



# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

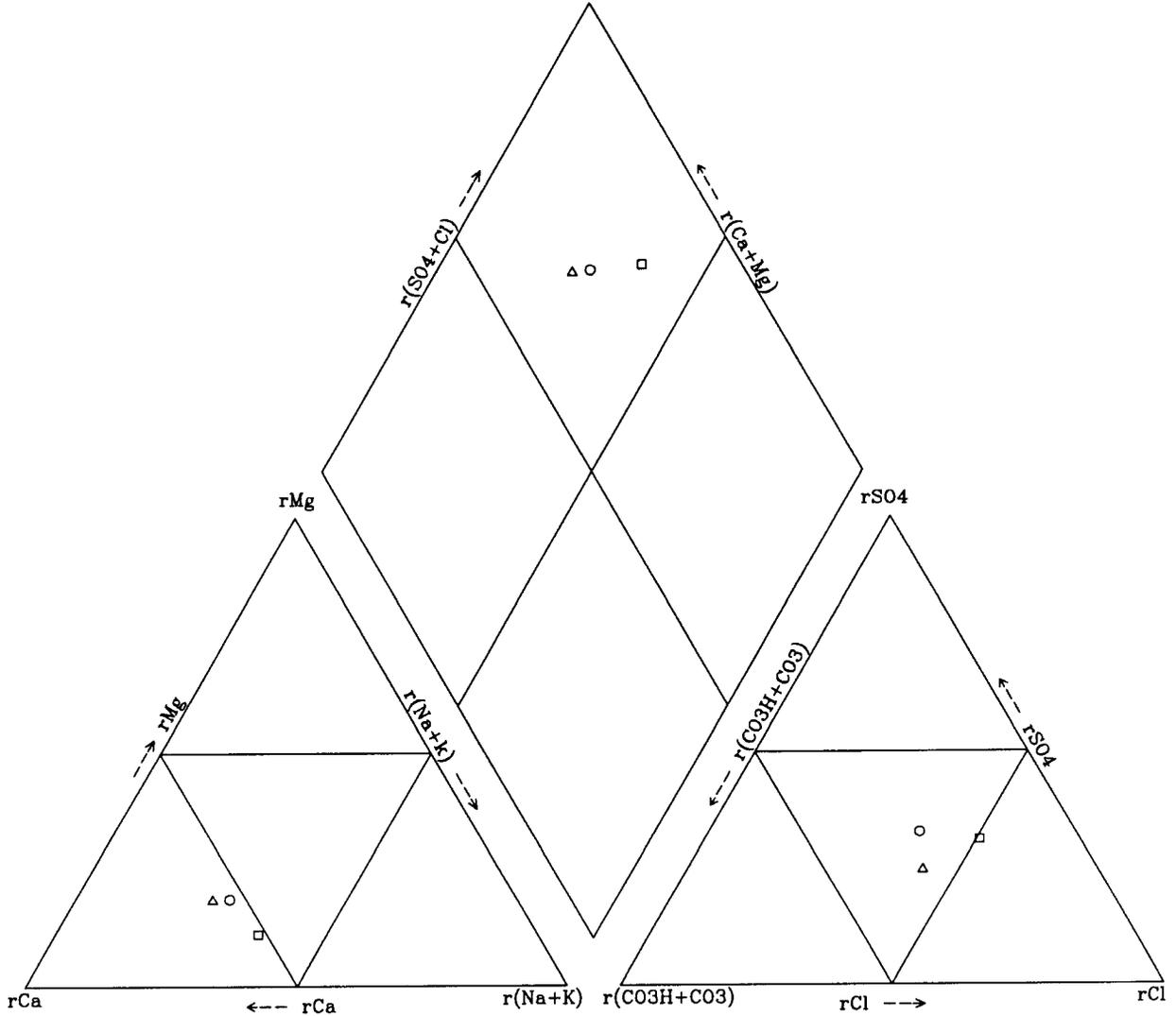
Acuífero: 05.58 entre 01-01-95 y 01-01-96



- 114540002 18-05-95
- 114540002 13-11-95
- △ 114540049 18-05-95
- ◇ 114540049 13-11-95

# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

Acuífero: 05.58 entre 01-01-99 y 01-01-00

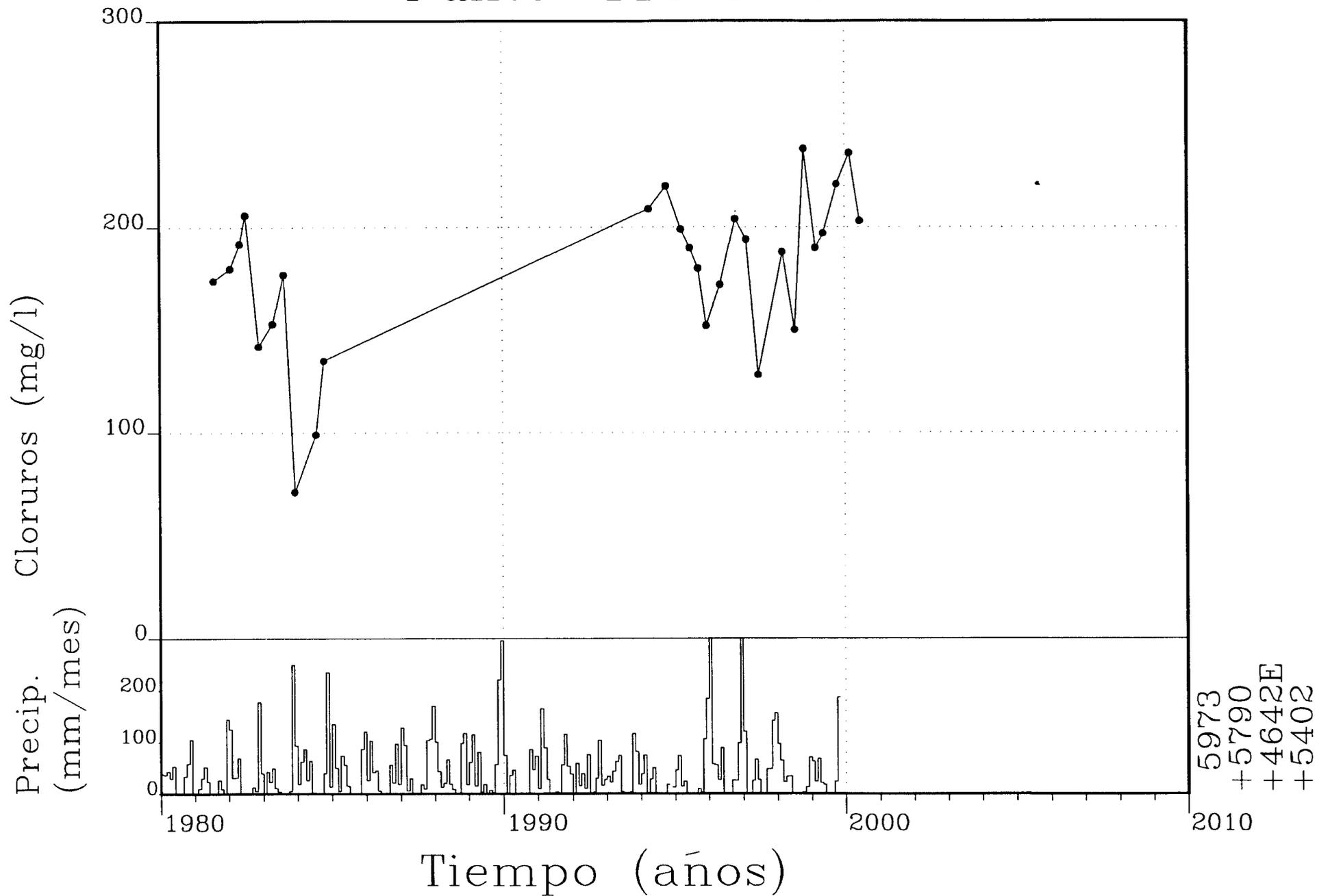


- 114540002 13-05-99
- 114540002 04-10-99
- △ 114540049 04-10-99

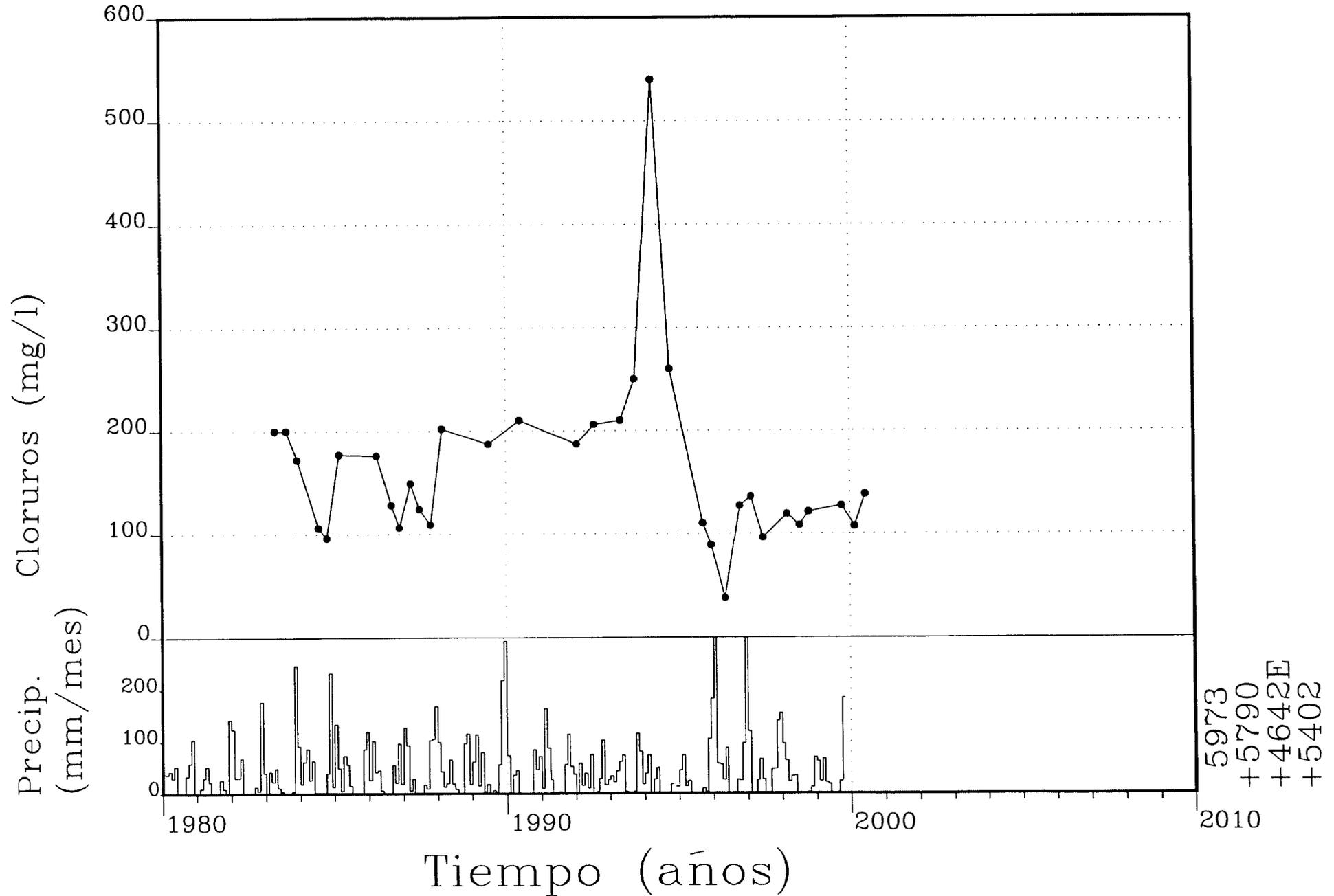
ANEXO IV

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS

Punto: 114540002



Punto: 114540049



## **5.3 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.59 PUERTO REAL - CONIL**

### **5.3.1 Situación y límites.**

La Unidad hidrogeológica 05.59 (Puerto Real-Conil) se sitúa en la Cuenca Baja del Guadalquivir, en concreto en la Cuenca del Guadalete y tiene una superficie de 210 km<sup>2</sup>.

Se extiende a lo largo de la costa atlántica de la provincia de Cádiz, entre las desembocaduras de los ríos Guadalete y Salado de Conil. Queda enmarcada en el sector Sur de la comarca Costa Noroeste y el sector costero de la comarca Campiña de Jerez. Los núcleos de población existentes en la misma son, de Norte a Sur, Pto. Real, Cádiz, Chiclana, Sancti Petri (Chiclana), San Fernando y Conil de la Frontera.

La Unidad está limitada por el río Guadalete, al Norte, el río Salado de Conil, al Sur, afloramientos subbéticos y margas blancas subbéticas, al Norte y Este y el Océano Atlántico al Oeste.

### **5.3.2 Descripción hidrogeológica.**

La Unidad Puerto Real-Conil está ubicada en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas (Zona Subbética), entre las desembocaduras de los ríos Guadalete y Salado de Conil. Los materiales subbéticos presentes, que son parte del sustrato impermeable, están constituidos sobre todo por arcillas y margas triásicas; también están presentes las areniscas del Aljibe en la zona meridional. Sobre estos se depositaron, en principio, margas silíceas blancas con carácter para-autóctono. A continuación, ya con carácter autóctono, se depositó una serie detrítica desde el Mioceno al Cuaternario. Las características de dichos materiales postorogénicos se detallan a continuación:

- Formación para-autóctona: margas silíceas blancas; se denominan localmente albarizas o moronitas; edad burdigaliense-andaluciense; se comportan como impermeables y constituyen, junto a los materiales subbéticos, el sustrato impermeable de la Unidad.
- Mioceno: serie constituida, de muro a techo, por margas arenosas azules, que se comportan como acuitardo, alternancia de margas y calcarenitas y, por último, calcarenitas.
- Plioceno: principalmente arenas amarillas y biocalcareniticas; también presentes limos y margas arenosas; de edad pliocuaternario, conglomerados cementados con ostras; aflora a lo largo de la costa formando una franja de aproximadamente 1 km. de anchura; su potencia oscila entre 5 y 20 m; comportamiento hidrogeológico como acuífero.
- Cuaternario: conglomerados, cantos, arenas, limos y arcillas; depósitos de glaciares de cobertera, terrazas y aluviales, dunas, flechas litorales y marisma, entre otros; las marismas se localizan en las desembocaduras del Guadalete y Salado de Conil y, sobre todo, en la bahía de Cádiz, entre Puerto Real y Chiclana; comportamiento

hidrogeológico como acuífero, excepto las arcillas y limos de marisma, que son impermeables.

La Unidad hidrogeológica 05.59 constituye un acuífero detrítico, permeable por porosidad y con carácter libre en toda su extensión, excepto en las áreas de marismas, en las que los limos y arcillas de marismas le dan un carácter confinado.

El sustrato impermeable está constituido por los materiales del Subbético, predominantemente de carácter margoso, y las margas blancas de la formación para-autóctona. En la serie detrítica autóctona los materiales son permeables, excepto las margas arenosas azules miocenas, que se comportan como acuitardo, y los limos y arcillas de marisma, que son impermeables.

La Unidad presenta una forma alargada según dirección N-S, desde el río Guadalete al Salado de Conil, con una anchura media de 7 km. El espesor, muy variable, es mayor en las partes centrales (30-40 m de media) y menor en las partes oeste y este (5-15 m. de media). Los parámetros hidrogeológicos de la Unidad son:

- Transmisividad:  $10^{-3}$  -  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. (en base a comparaciones con formaciones análogas).  
En Llanos de Guerra:  $3 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (en base a ensayos de bombeo).
- Caudales:
  - máximo: 30 L/s.
  - más frecuentes: 10 - 15 L/s.
- Gradiente hidráulico: 1% (medio) y 4% (máximo).

La Unidad presenta carácter libre, excepto en las áreas de marisma, en las que presenta carácter confinado. Las entradas al sistema se producen por las siguientes vías:

- infiltración del agua de lluvia.
- retorno de agua de regadíos.

Las vías por las que se efectúan las salidas de agua subterránea son:

- bombeos con destino a regadíos y abastecimiento público.
- drenaje natural hacia ríos, arroyos y el mar.

Limita al Norte con la Unidad 05.58 (Pto. Sta. M<sup>a</sup>), mediante las marismas del río Guadalete. Al Sur limita con la Unidad 61 (Vejer-Barbate) mediante el río Salado de Conil, cuyas marismas separan a ambas hidráulicamente.

### **5.3.3 Análisis de la piezometría y su evolución.**

El IGME controla, con frecuencia mensual, una red piezométrica compuesta por 17 puntos de agua, en el plano nº 1 de l Anexo I se puede ver la situación de los mismos y en la TABLA I se describen las coordenadas U.T.M., cota y profundidad de ellos.

**TABLA I. Puntos de agua de la red piezométrica**

<b>REGISNAC</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>COTA</b>	<b>PROFUN</b>
124550012	756988	4046846	41,77	8.00
124550023	758049	4043824	43,98	19.50
124550038	755250	4045350	20	27.00
124610007	758206	4036949	33,63	13.18
124610010	757150	4036050	24,17	20.00
124610021	758091	4041604	12,89	8.34
124610023	759074	4042898	32,65	14.00
124610035	757235	4041285	5	24.00
124610038	758000	4036400	30	6.26
124610047	758490	4041510	13,5	32.00
124610049	757500	4035500	25,3	12.47
124650011	758715	4030732	31,21	6.81
124650034	757160	4027632	22,04	9.75
124650069	752631	4030757	9	5.00
124650074	756700	4031150	20	30.00
124720007	761518	4024646	56,16	11.00
124720075	761500	4024759	50	7.45

Las líneas isopiezas se adaptan, de forma general a las curvas de nivel, lo que refleja un sentido general de flujo subterráneo desde las zonas interiores a la costa. La profundidad hasta el agua predominante es entre 5 y 10 metros, si bien en la zona Sur oscila entre 2 y 20 m.

De la comparación de las campañas de piezometría, que aparecen en los planos del Anexo II y que corresponden a los meses de Junio de 1995, 1999 y 2000, así como del plano de diferencia de nivel entre Junio del 95 y Junio de 2000, se deduce que el acuífero está en condiciones de estabilidad ya que los descensos o ascensos son inferiores o iguales a 1 metro, en según que área del mismo. Siendo la zona situada al suroeste de Chiclana de la Frontera, la que presenta una cierta tendencia descendente, debido a bombeos para riego.

#### **5.3.4 Análisis de la situación respecto a la intrusión marina.**

Del estudio de los mapas de isocloruros (ver Anexo II) se desprende que, actualmente en la zona situada al suroeste de Chiclana de la Frontera, en las inmediaciones del coto de San José y la "playa de la Barrosa", es donde se observan los más altos contenidos en cloruros, de todo el acuífero y coincidente con una depresión del nivel piezométrico, como ya se había indicado en el apartado anterior, provocada por los bombeos. En esta área, el contenido de los mismos alcanza los 600 mg/L, mientras que en el resto del acuífero las concentraciones son inferiores, normalmente, entre los 100-200 mg/L. Observándose en los mapas de concentración de cloruros un cierto empeoramiento, en el área referida, desde el año 95 a la actualidad.

#### **5.3.5 Caracterización de facies hidroquímicas.**

En los diagramas de Piper adjuntos en el Anexo III, se han reflejado los puntos de la red de calidad para los años 1995 y 1999. Los puntos presentan facies bicarbonatada clorurada cálcico-sódica, y clorurada bicarbonatada cálcico-sódica, con mineralización media y muy

dura. La analítica de los puntos de la red de calidad no nos indica que en el acuífero se esté produciendo intrusión marina dada la caracterización bicarbonatada de las aguas.

### 5.3.6 Análisis de relaciones iónicas.

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCL		rCl	
	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99
124720025	1.509	1.119	0.434	0.371	1.297	1.165	0.730	0.371	2.65	4.42
124720057	1.457	1.359	0.416		1.334	1.255	0.738	0.650	2.56	3.32
Agua de Mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

Del análisis de las relaciones iónicas, de los puntos de la red de calidad, se observa que no existen indicios de que se produzca intrusión en el acuífero, ya que los valores, como se comprueba, corresponden a aguas continentales y que están muy por debajo de los valores que presentan las aguas salobres.

### 5.3.7 Diagnostico del estado actual del acuífero.

El acuífero presenta en la actualidad aguas de calidad regular, en la que la presencia de nitratos, en el agua viene a indicarnos una contaminación de las mismas por productos procedentes del abonado de las tierras, con fines agrícolas.

La situación en cuanto a la explotación presenta un cierto abatimiento de los niveles, en determinadas zonas situadas al sur de Chiclana de la Frontera y en el área de la Barrosa, lo que puede provocar problemas de intrusión, ya que los valores más alto de cloruros se dan en este área.

### 5.3.8 Evolución previsible y posibles actuaciones.

La tendencia observada a partir de los datos obtenidos en las redes de control, hacen pensar que de mantenerse las condiciones actuales de explotación, de aguas subterráneas, puede producirse el proceso de intrusión en la zona del Coto de San José y La Barrosa. Así mismo se puede producir un empeoramiento de la calidad del agua por los productos nitrogenados, empleados en las prácticas agrícolas.

Dado que en el acuífero las extracciones se producen, de un modo desordenado a través de múltiples captaciones, generalmente pozos a cielo abierto, muy próximos entre sí y que provocan una cierta sobreexplotación local, sería conveniente la ejecución de un plan general de ordenación que controlará y regulará la explotación, principalmente en los sectores antes descrito, del coto de San José y la Barrosa, a fin de evitar, problemas de intrusión.

Sería aconsejable aumentar el número de puntos de control, tanto en la red de intrusión, como en la de calidad, principalmente, en las áreas costeras.

## **ANEXOS UH 05.59**

ANEXO I: RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS

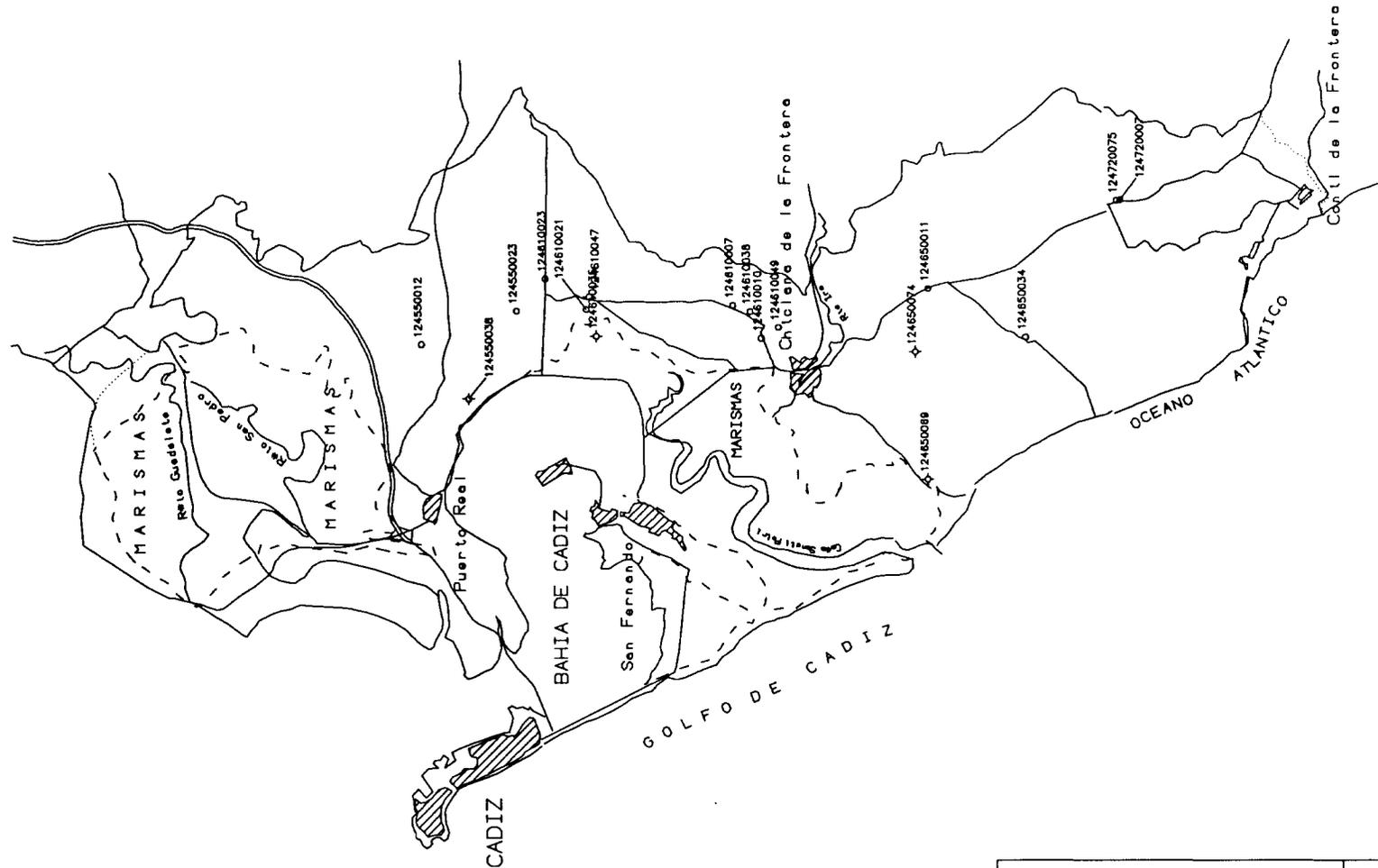
ANEXO II: RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN. EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS

ANEXO III: DIAGRAMAS DE PIPER

ANEXO IV: GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS

ANEXO I

RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS

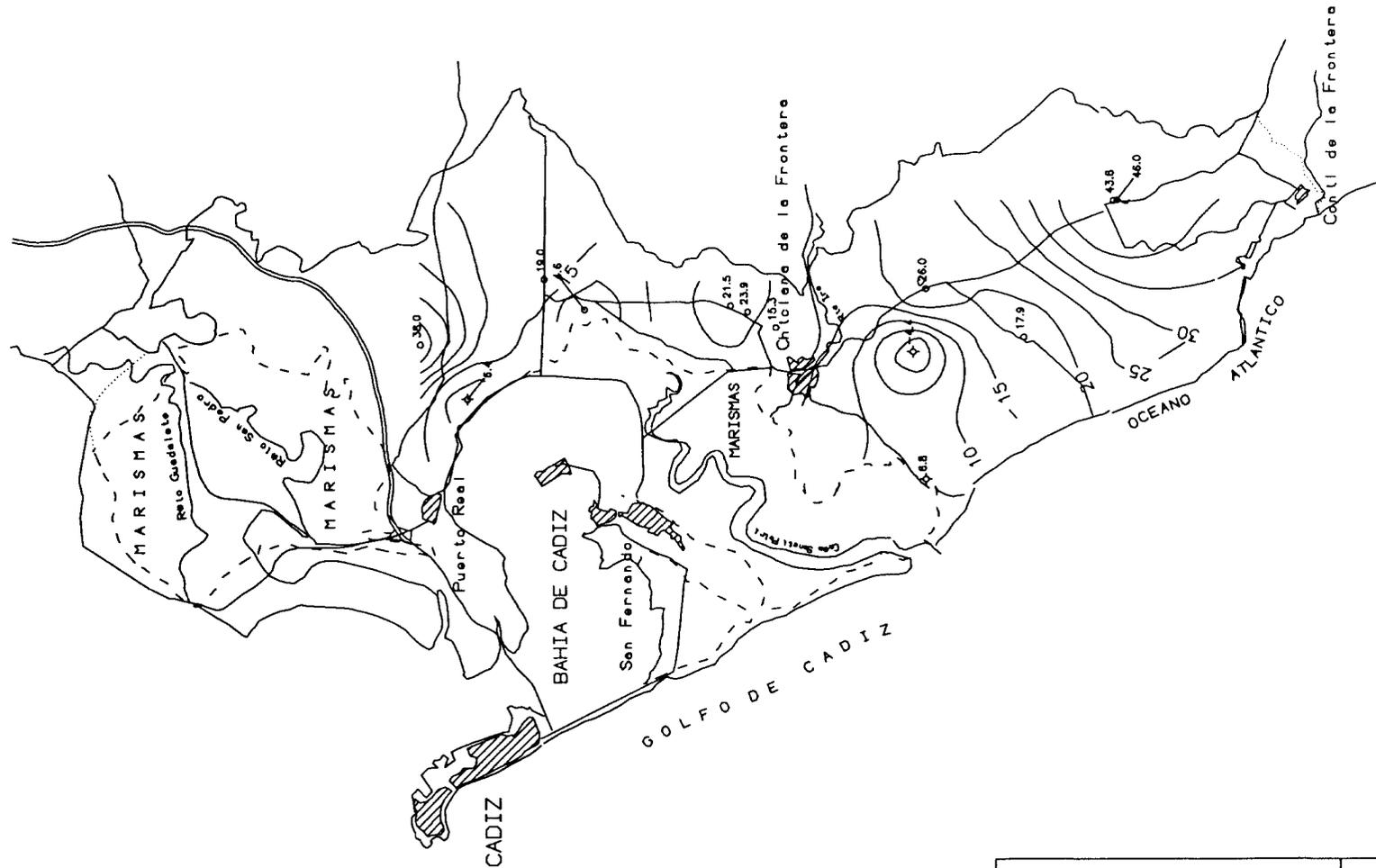


**LEYENDA:**

- ◆ Sondeo de reconocimiento      ◆ Sondeo
- Pozo      ☉ Manantial
- ◆ 124720075      Número de registro nacional (ITGE)



Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 1



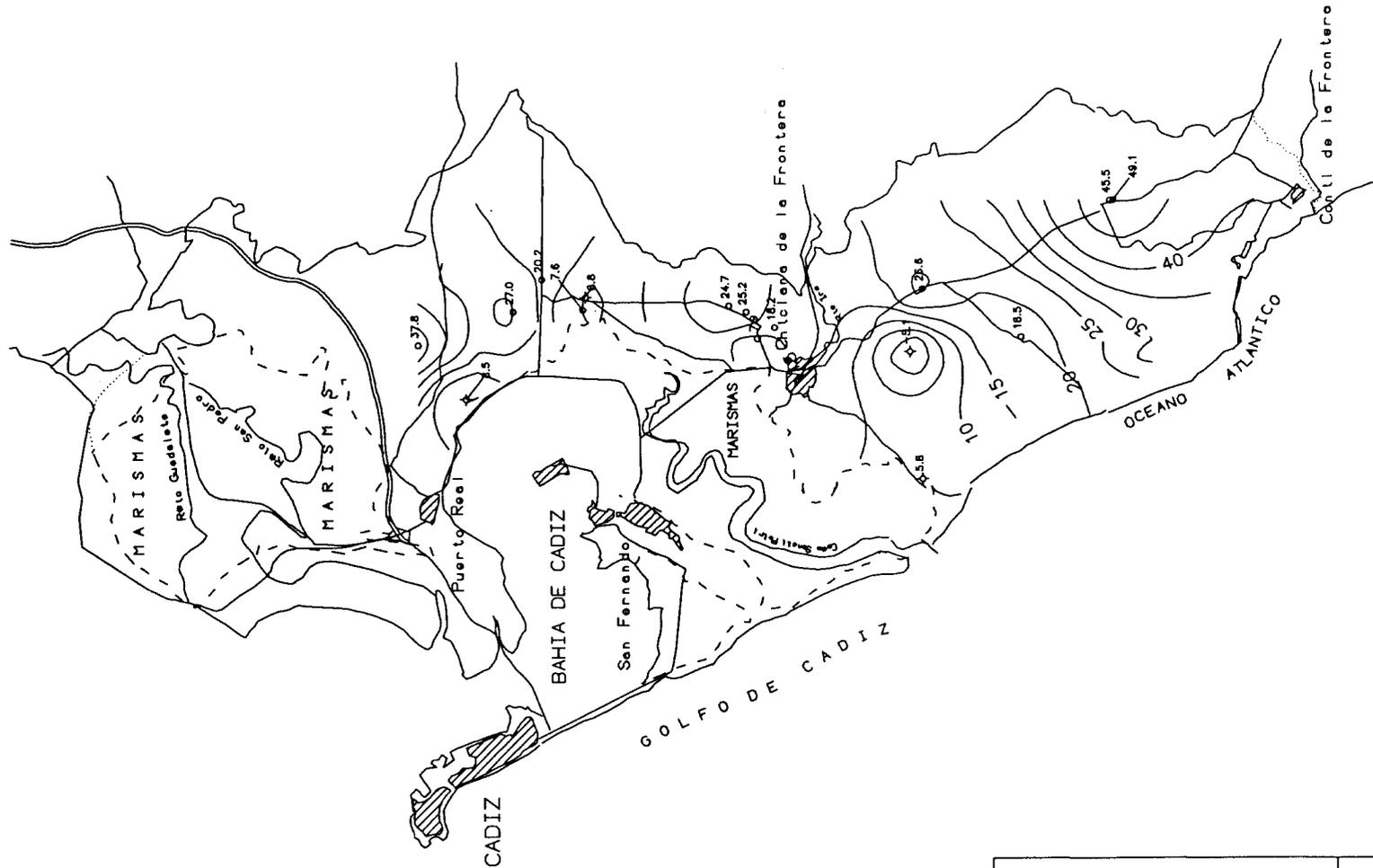
LEYENDA:

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- ◇ Sondaje
- Pozo
- ⊙ Manantial

80 Curva de igual valor



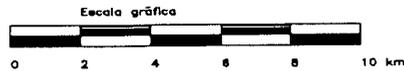
 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-95 y 01-07-95	No DE PLANO 2



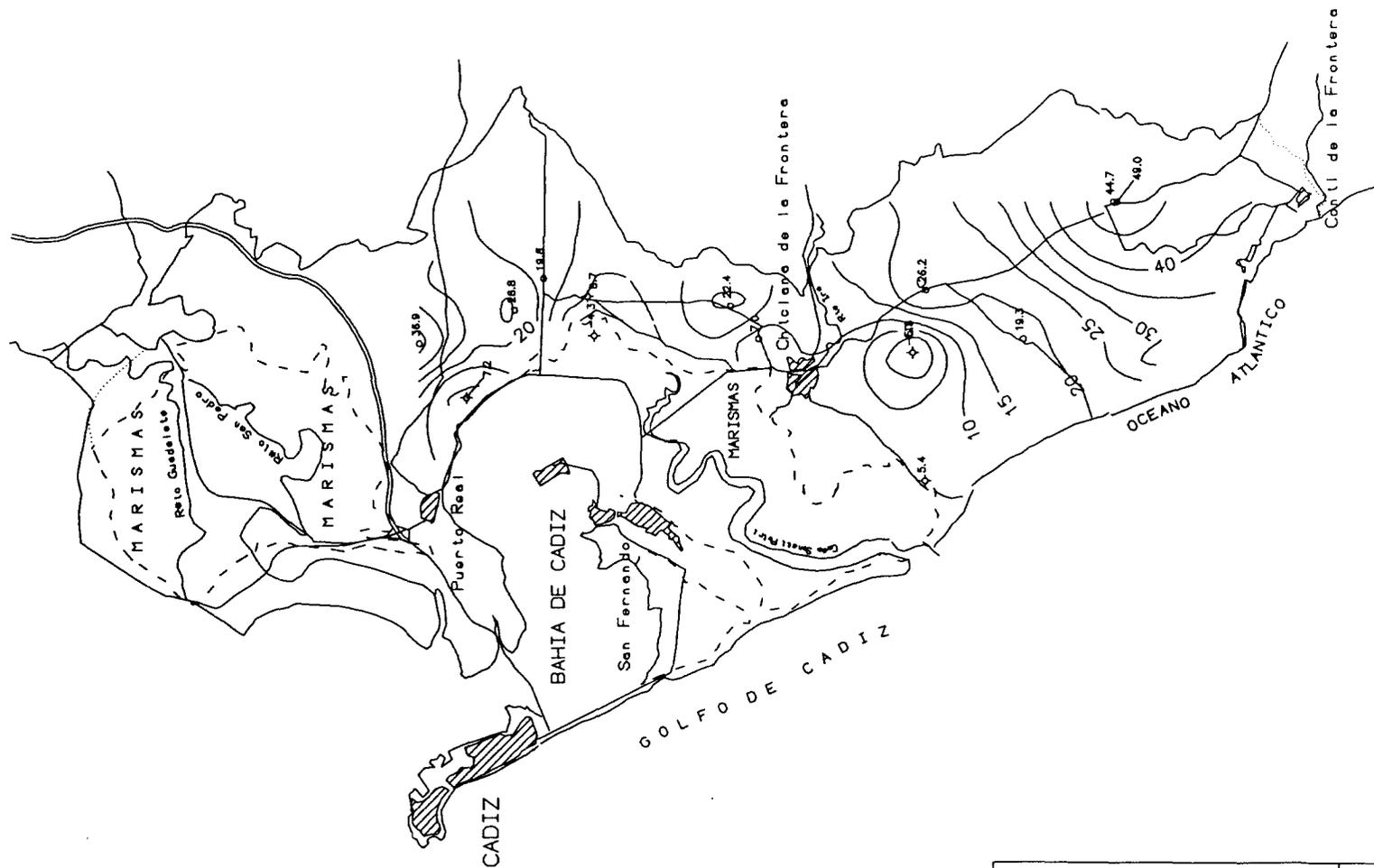
LEYENDA:

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- Pozo
- ◇ Sondaje
- ⊕ Manantial

80 Curva de igual valor



 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (manm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-99 y 01-07-99	No DE PLANO 3



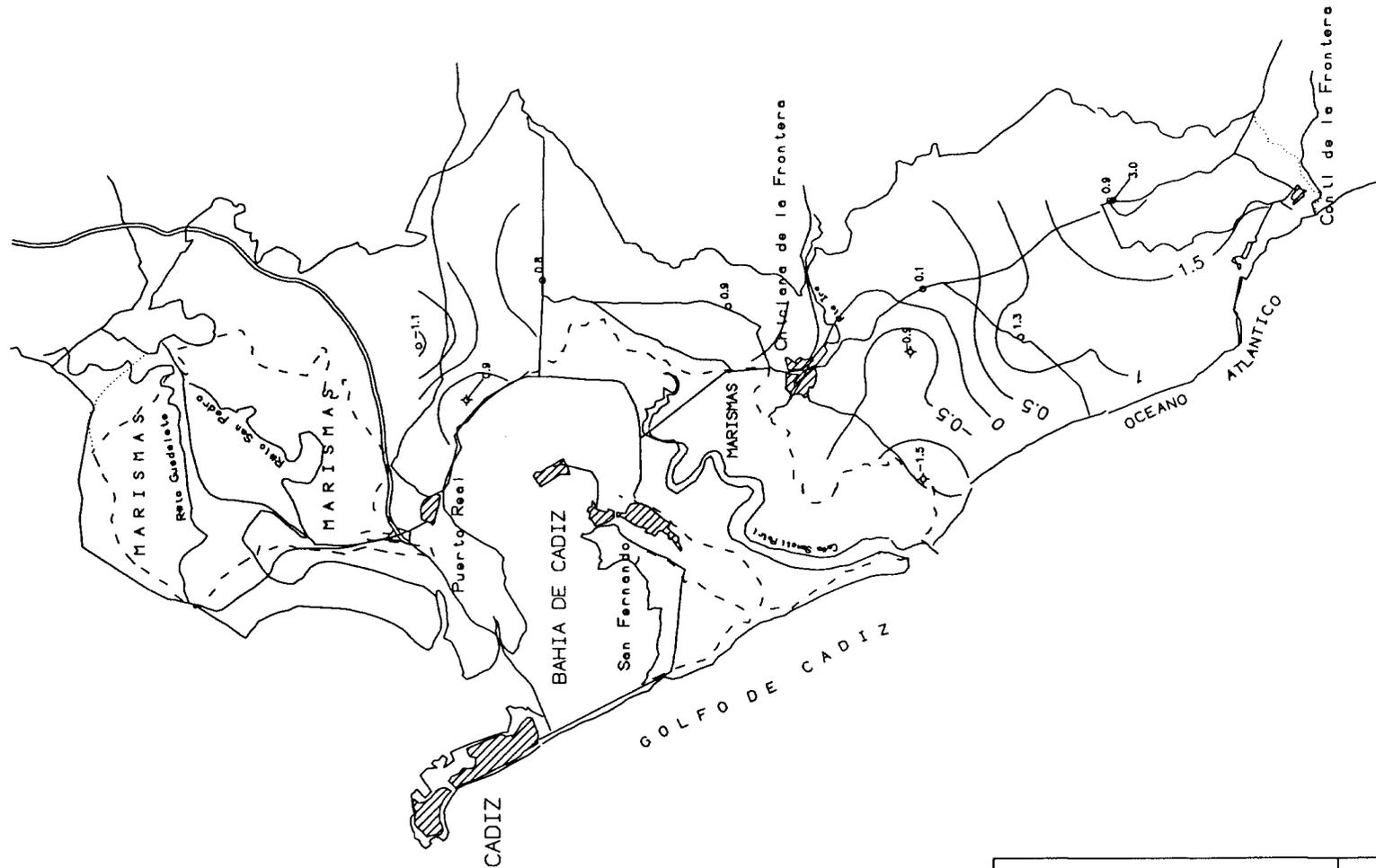
**LEYENDA:**

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- Pozo
- ◆ Sondaje
- ♁ Manantial

80 Curva de igual valor



 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 4



**LEYENDA:**

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- Pozo
- ◇ Sondaje
- ⊕ Manantial

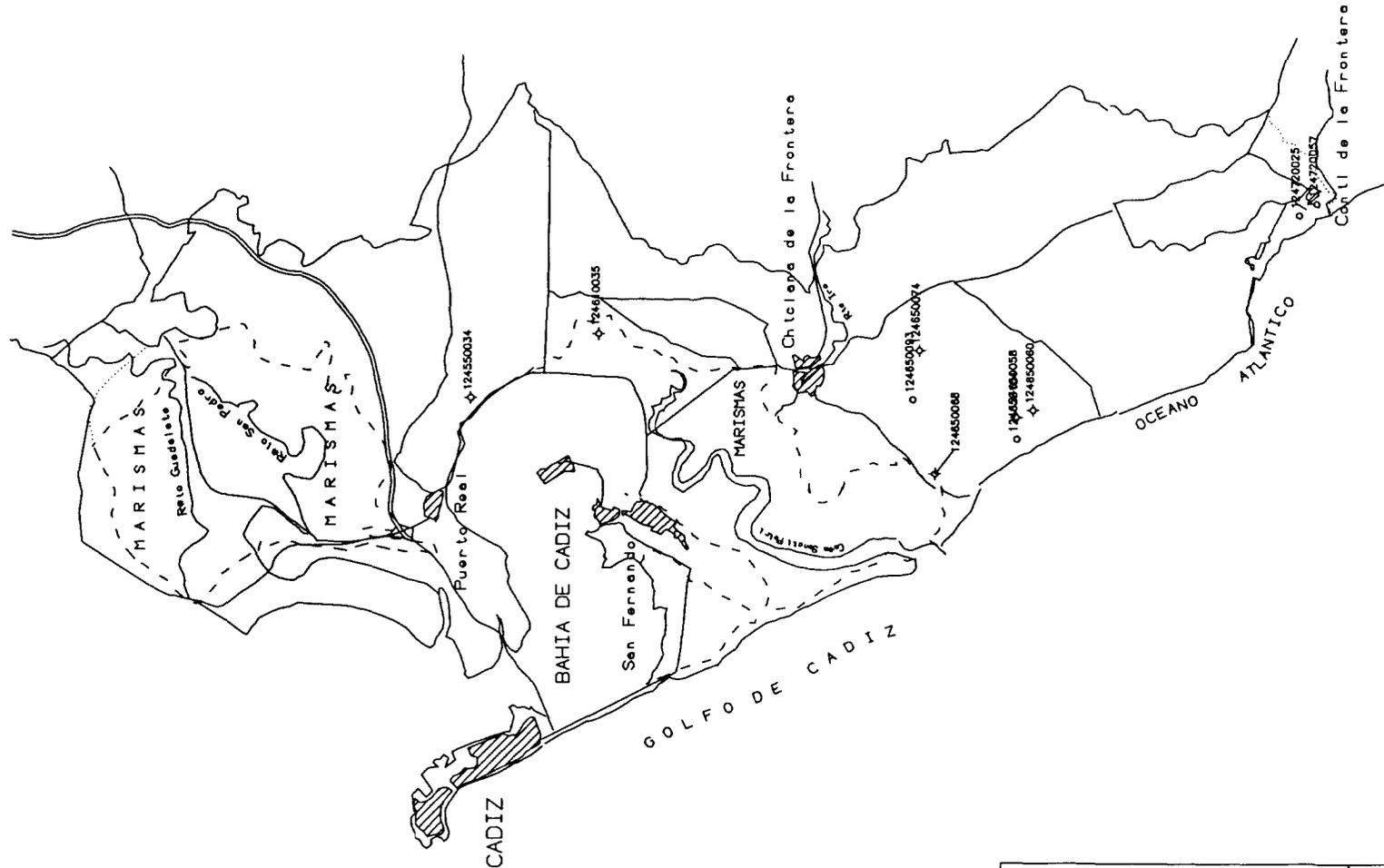
80 Curva de igual valor



 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Diferencia entre Junio-95 y Junio-00	No DE PLANO 5

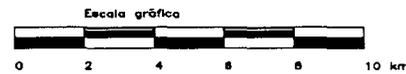
ANEXO II

RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN, EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS

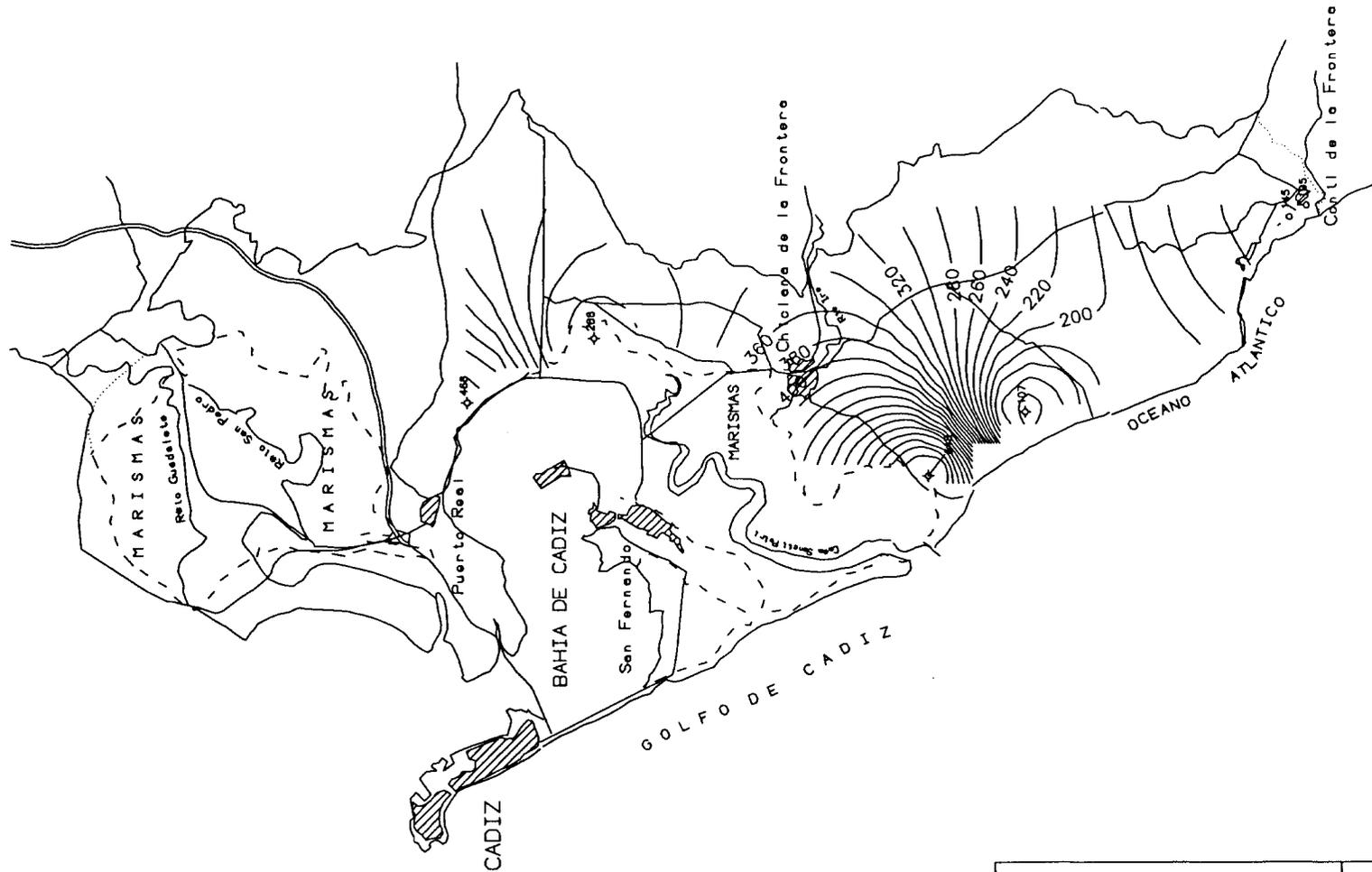


**LEYENDA:**

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- ◆ 124720087 Número de registro nacional (ITGE)



 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO -6



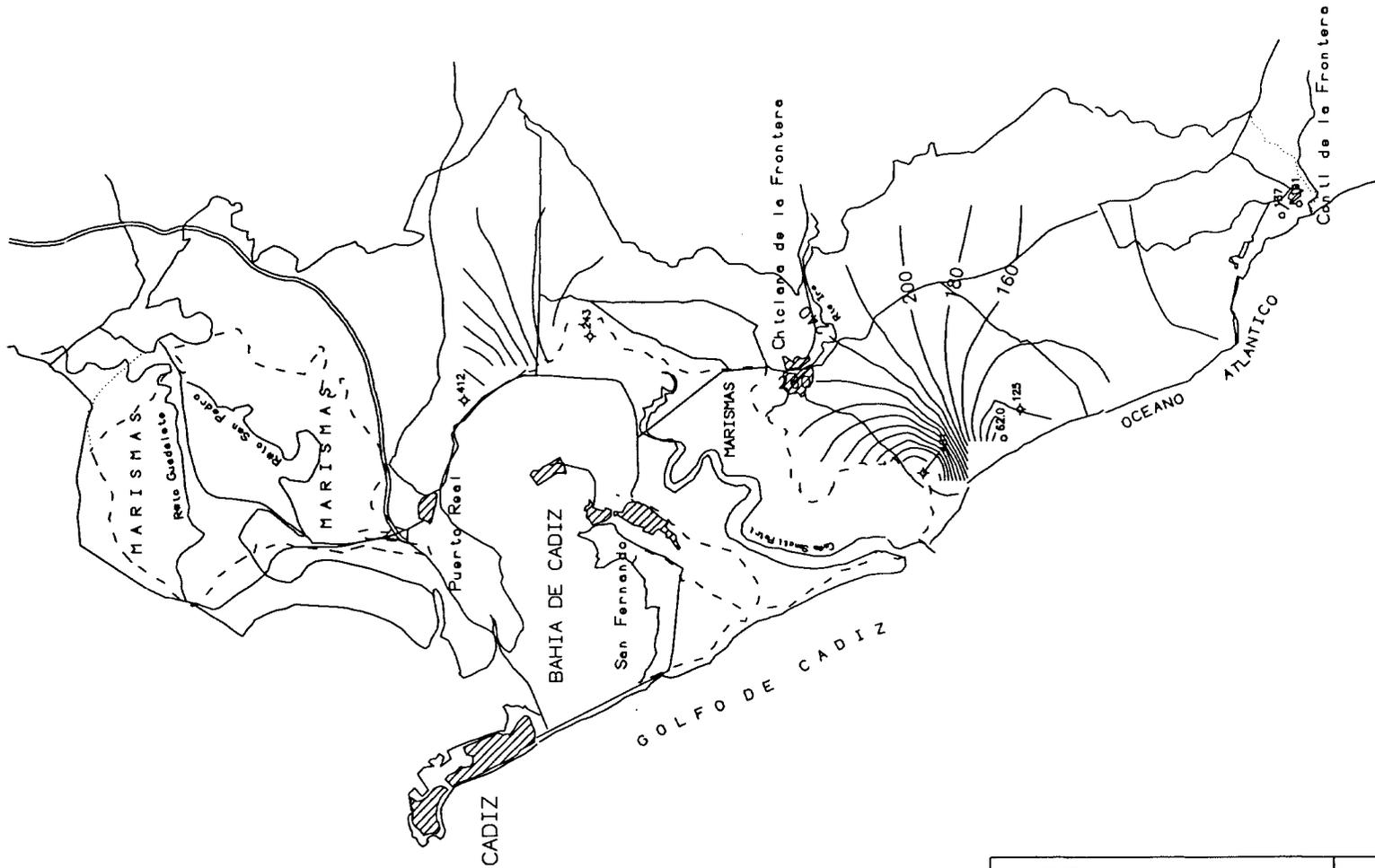
**LEYENDA:**

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- Pozo
- ◆ Sondaje
- Manantial

80 Curva de igual valor



 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 7



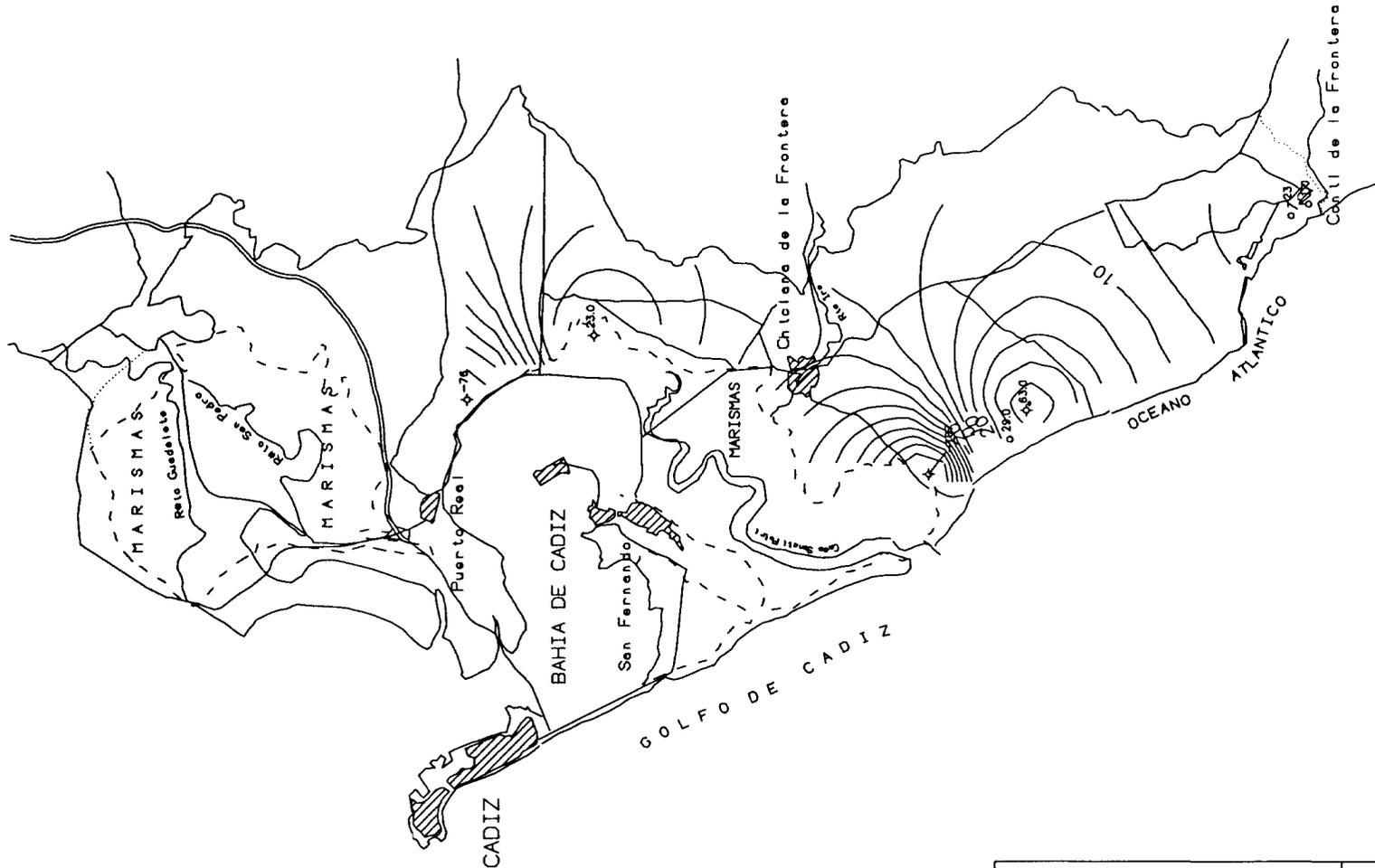
**LEYENDA:**

- ◆ Sondaje de reconocimiento
- Pozo
- ◇ Sondaje
- ⊕ Manantial

80 Curva de igual valor

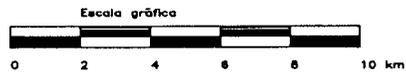


 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-02-00 y 01-03-00	No DE PLANO 8



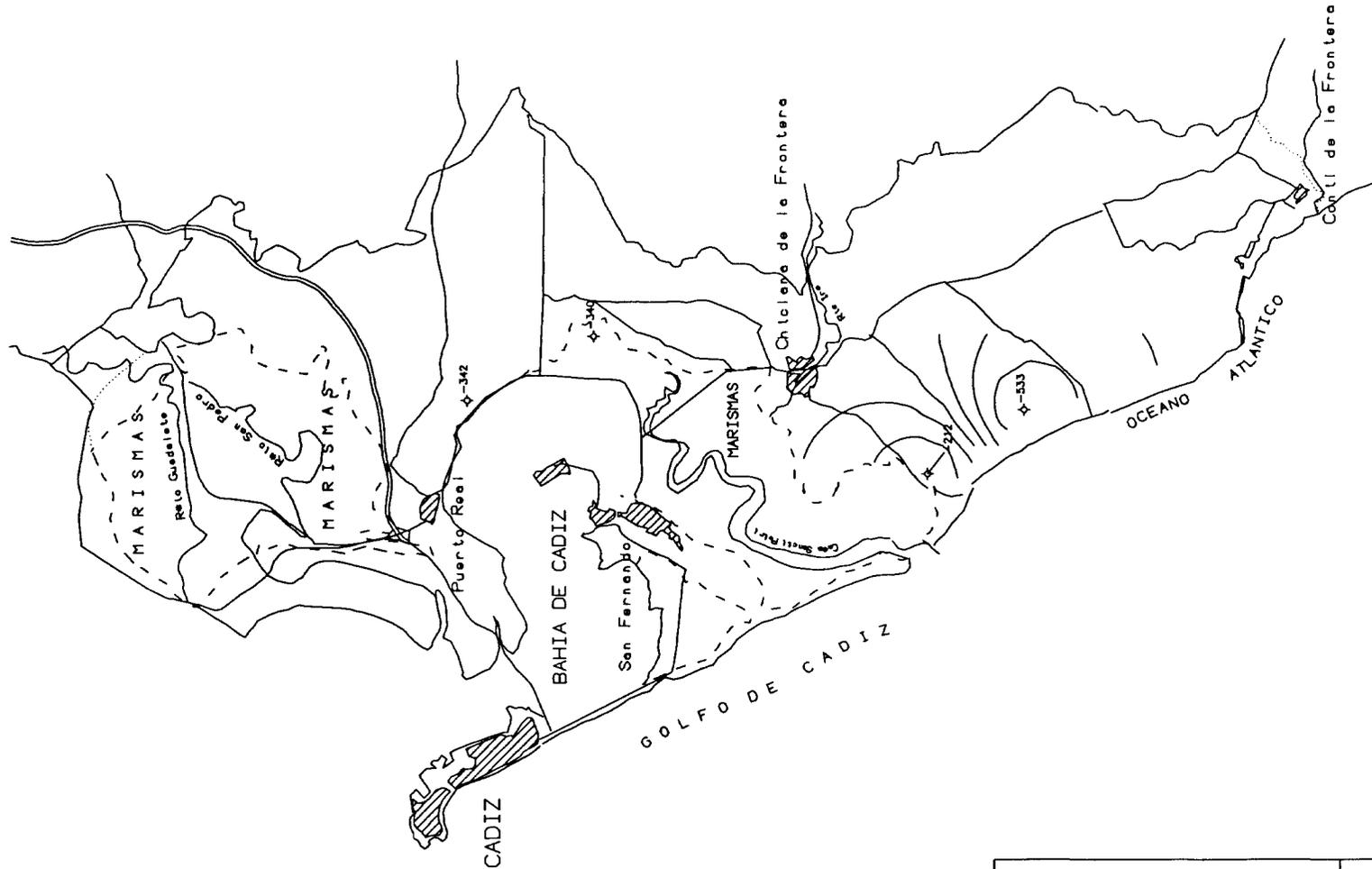
**LEYENDA:**

- ◆ Sondos de reconocimiento
- Poso
- ◇ Sondos
- ⊕ Manantial



80 Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Diferencia entre Febrero-99 y Febrero-00	No DE PLANO -9
FECHA 18-08-00		



**LEYENDA:**

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- Pozo
- ◇ Sondeo
- ♁ Manantial

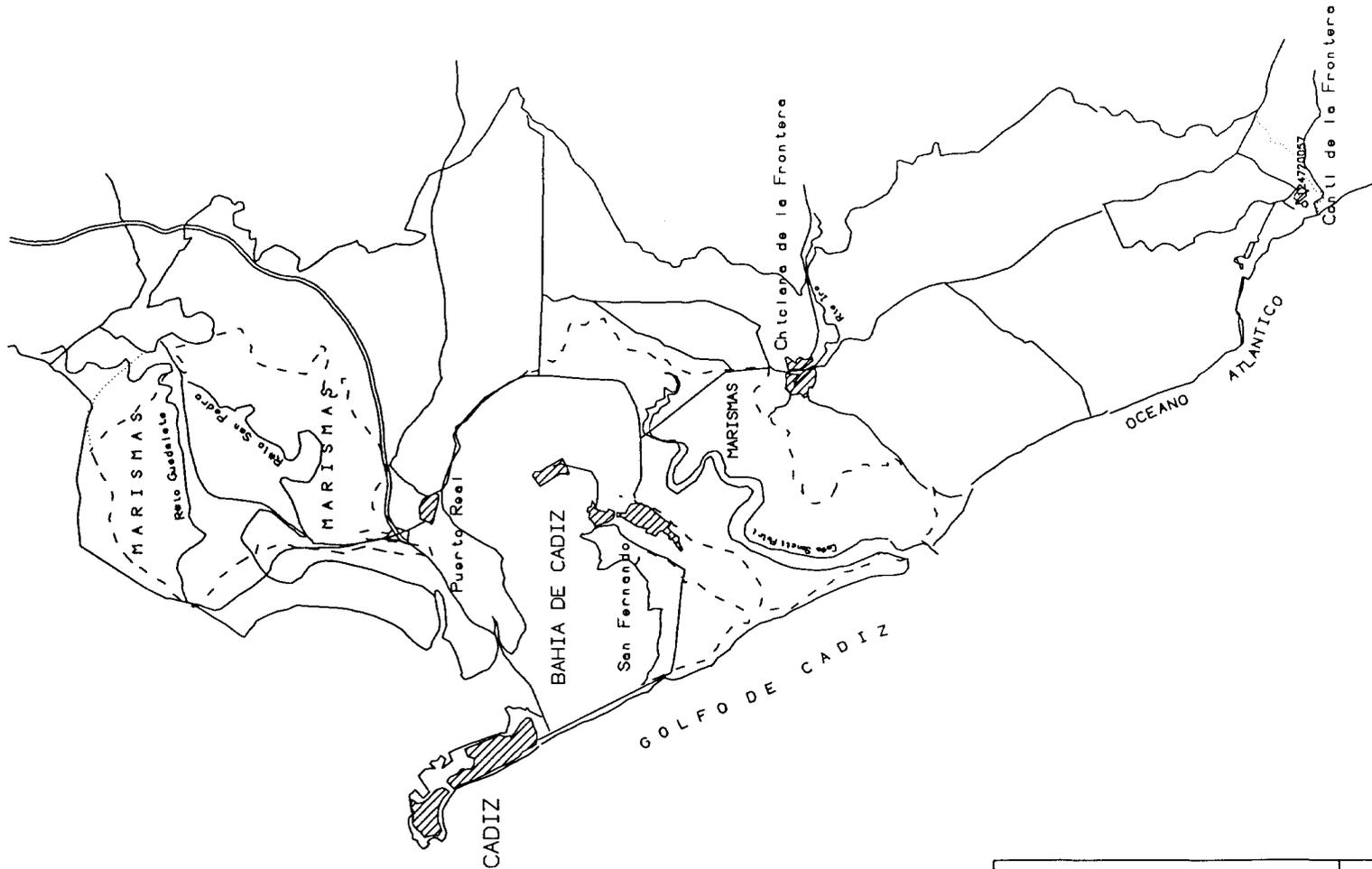
80 Curva de igual valor



 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera.	ESCALA 1:150000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Diferencia entre Junio-95 y Junio-00	No DE PLANO 10

ANEXO III

PLANO DE SITUACIÓN DE LA RED DE CALIDAD  
DIAGRAMAS DE PIPER



**LEYENDA:**

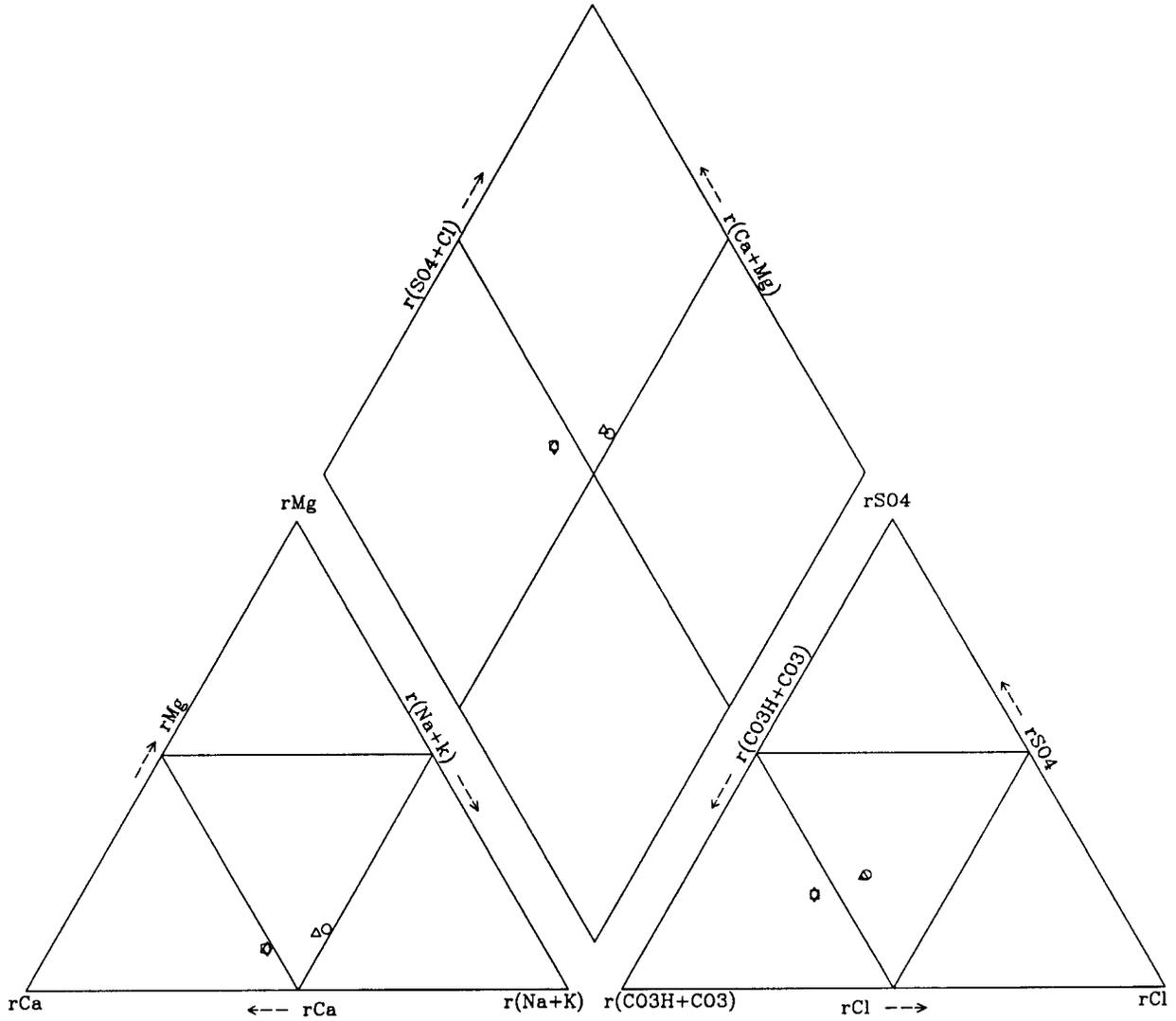
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- Pozo
- ◆ 124720057 Número de registro nacional (ITGE)
- ◆ Sondeo
- ⊕ Manantial



 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Puerto Real - Conil de la Frontera	ESCALA 1:150000
FECHA 09-11-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de calidad Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 11

# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

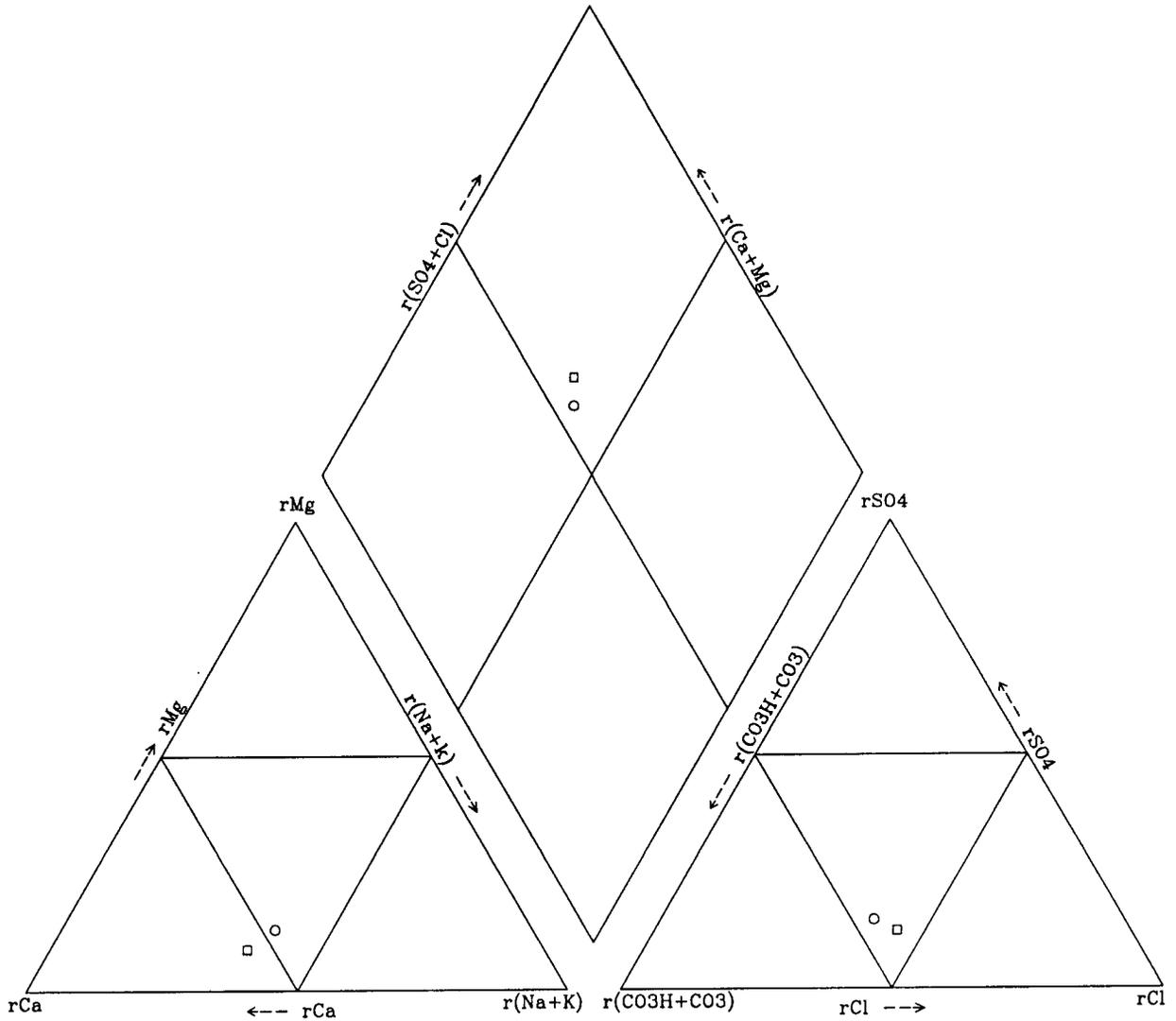
Acuífero: 05.59 entre 01-01-95 y 01-01-96



- 124720025 18-05-95
- 124720025 13-11-95
- △ 124720057 18-05-95
- ◇ 124720057 13-11-95

# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

Acuífero: 05.59 entre 01-01-99 y 01-01-00



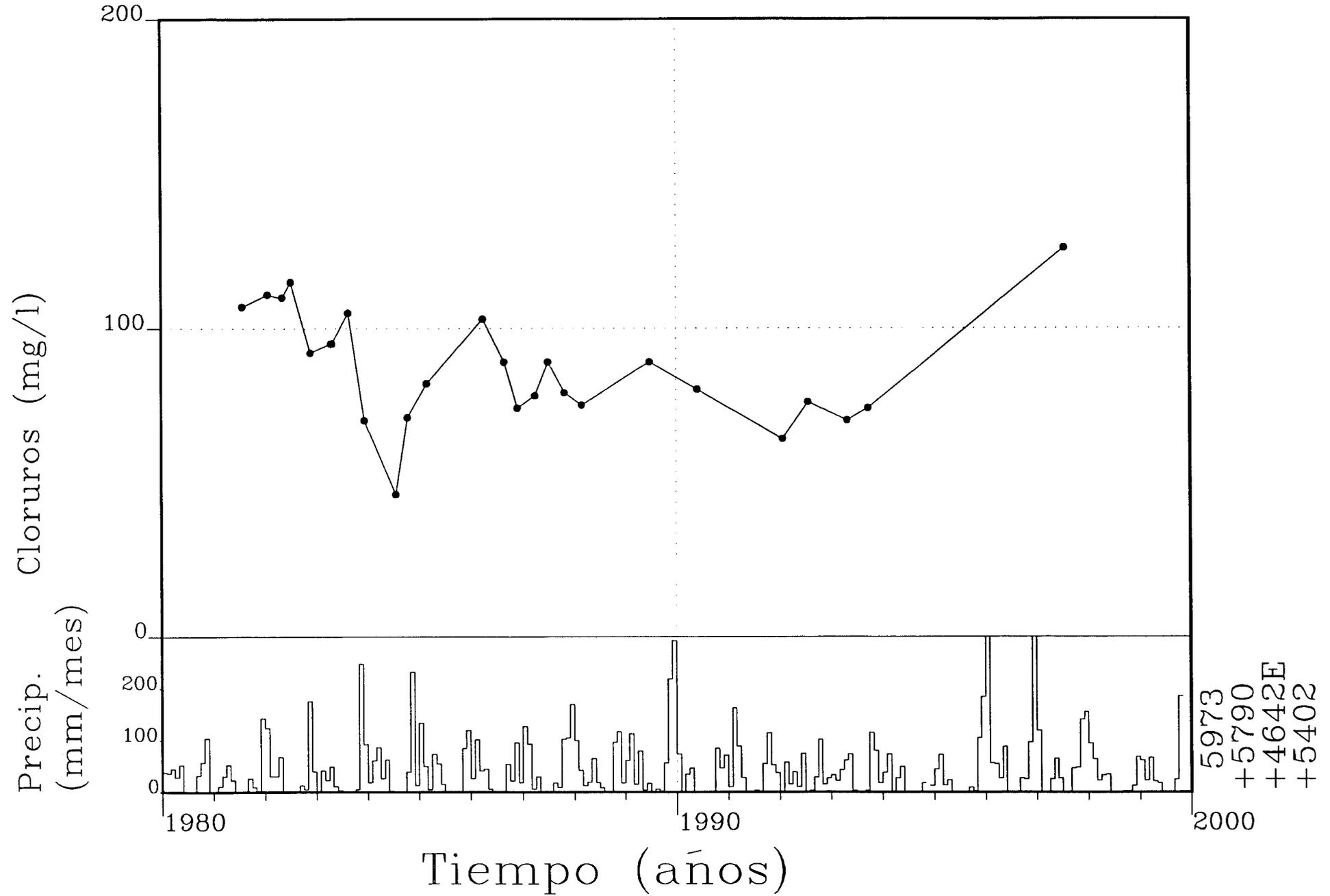
○ 124720025 29-04-99

□ 124720025 15-11-99

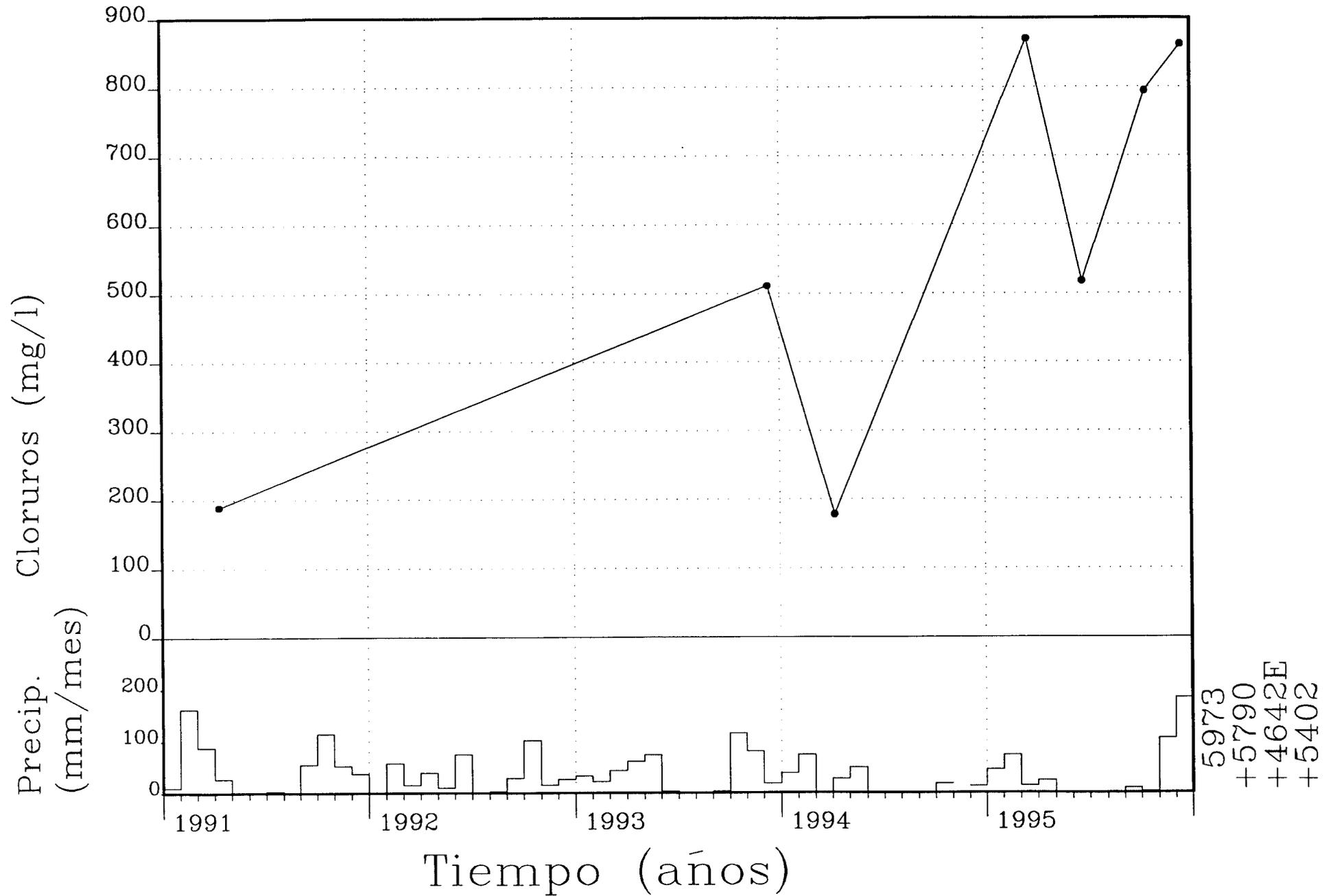
ANEXO IV

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS

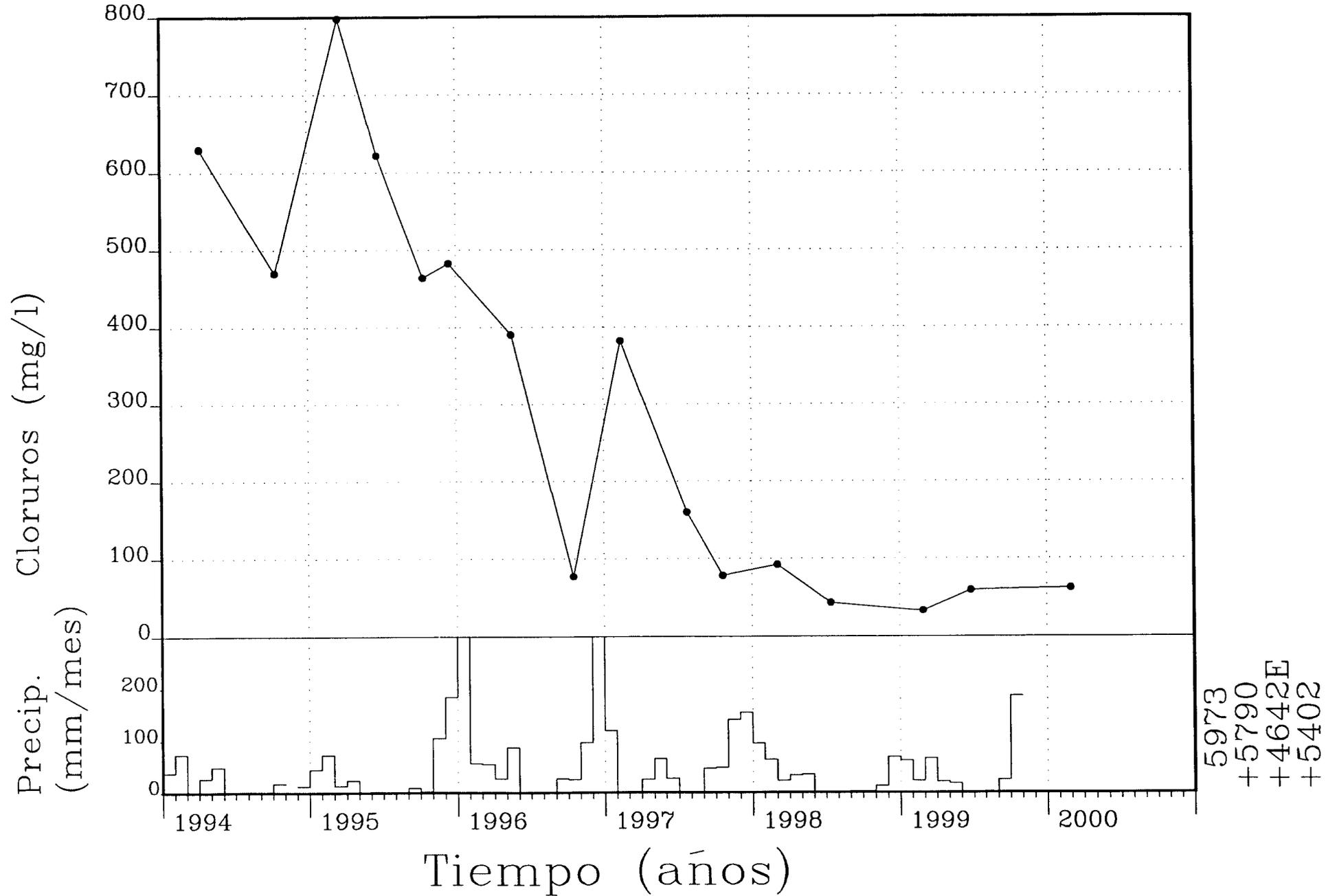
Punto: 124650074



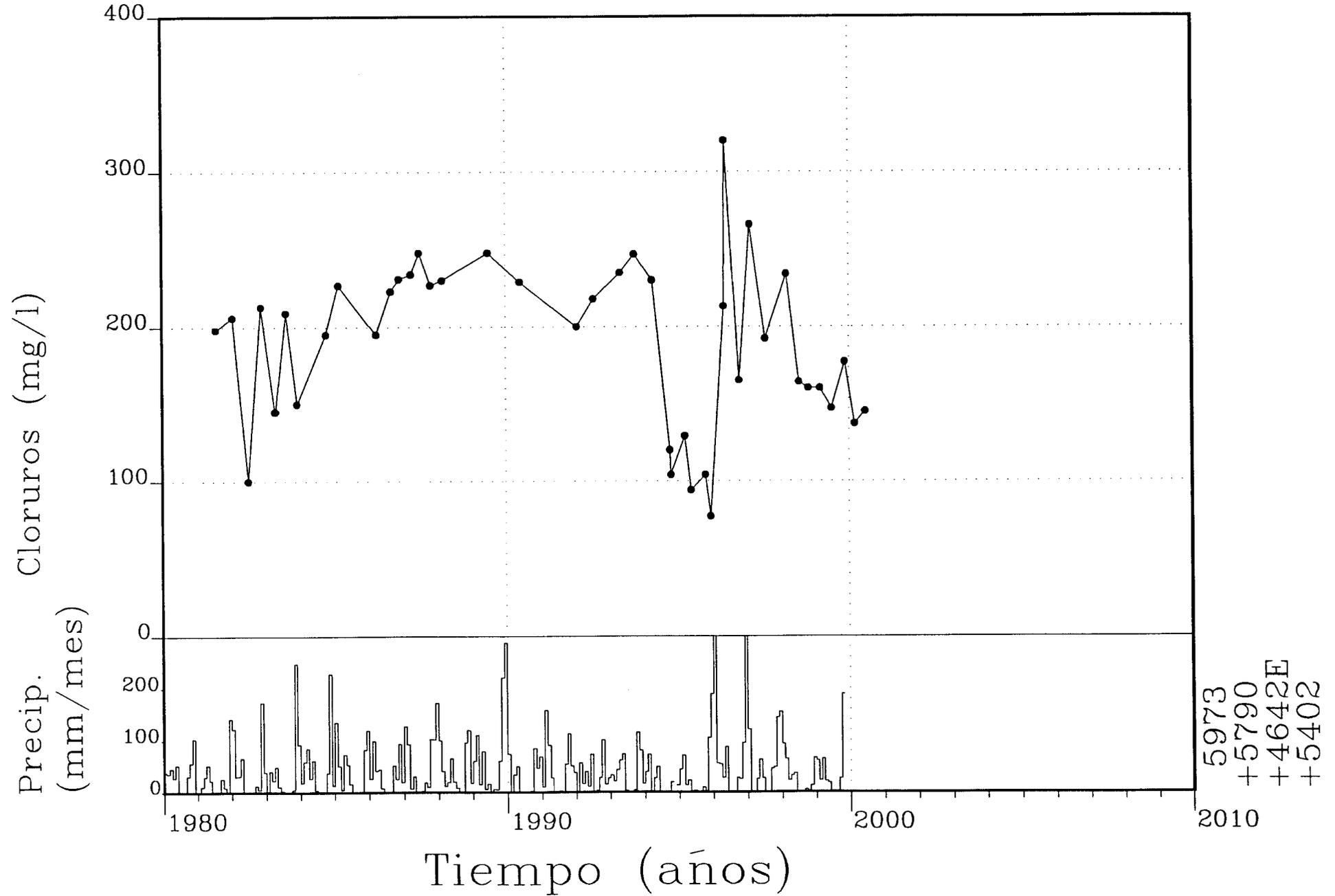
Punto: 124650093



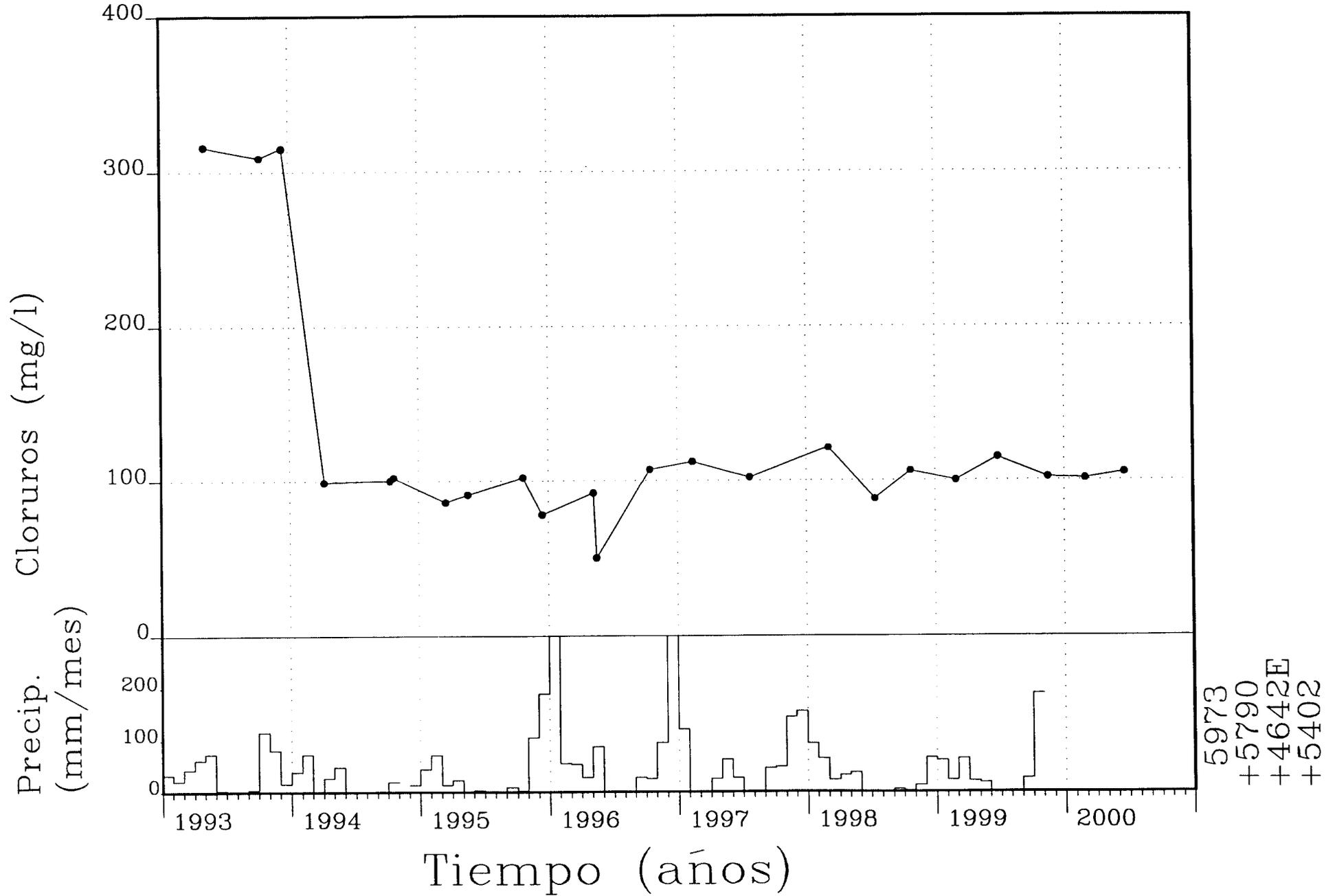
Punto: 124650104



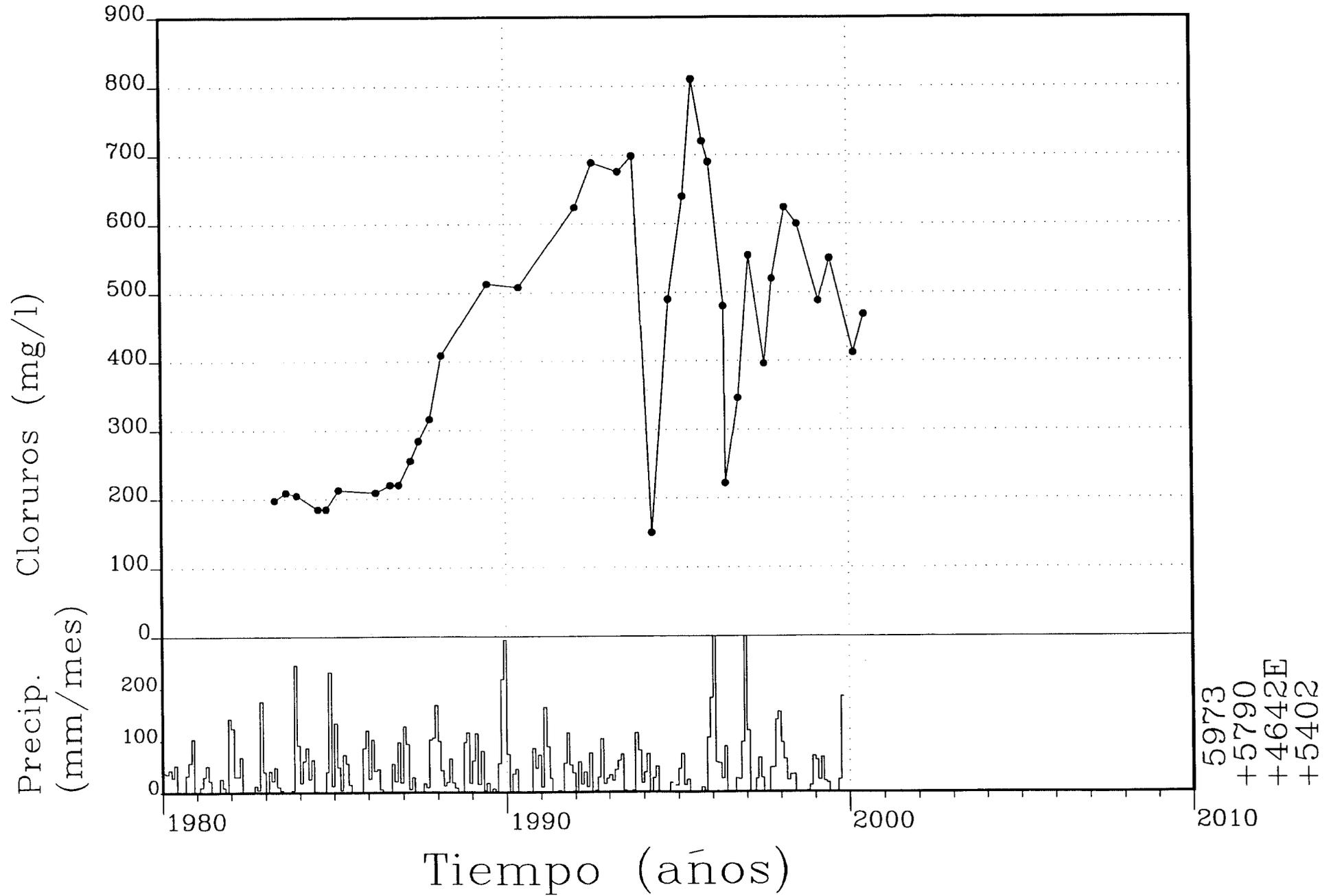
Punto: 124720025



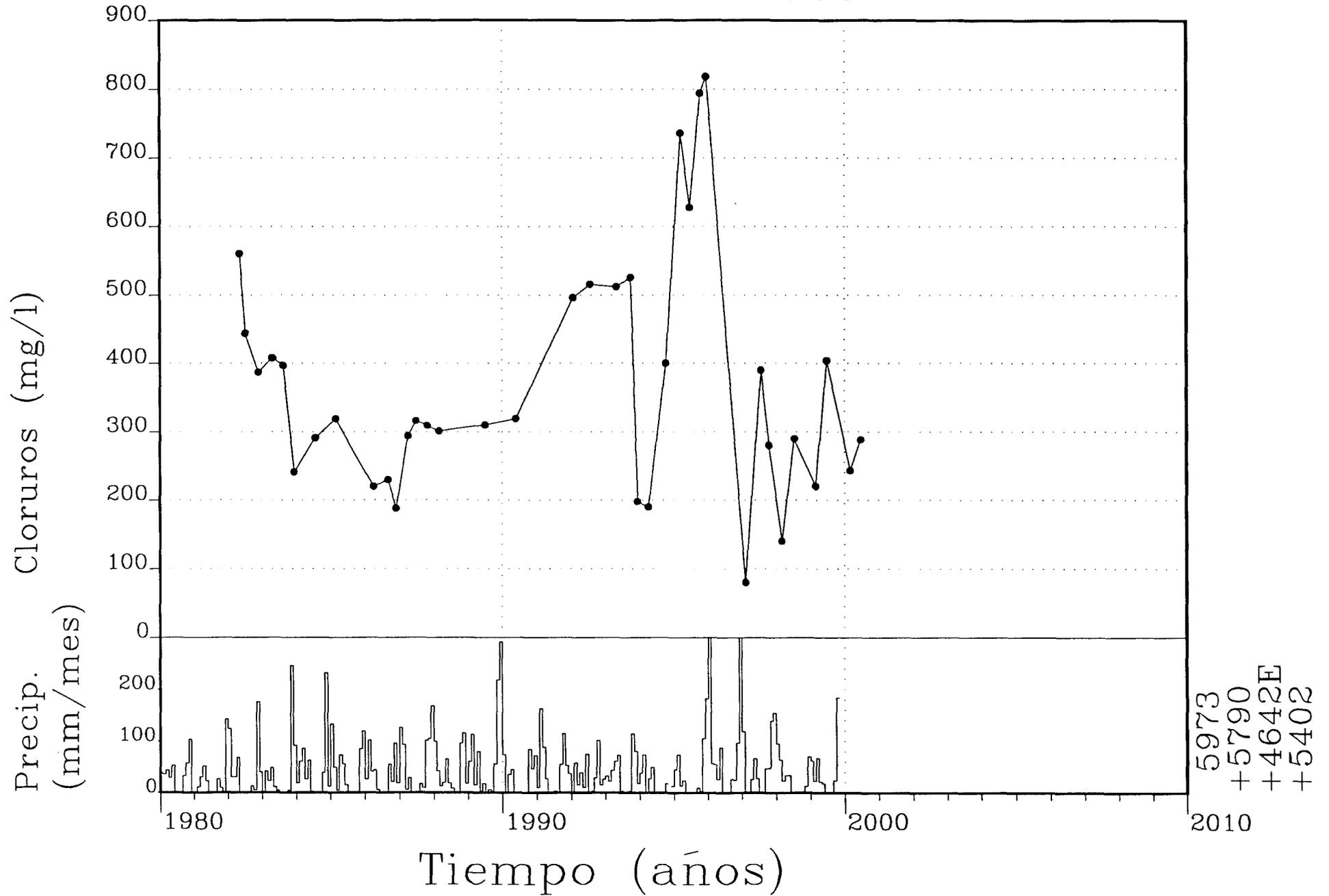
Punto: 124720057



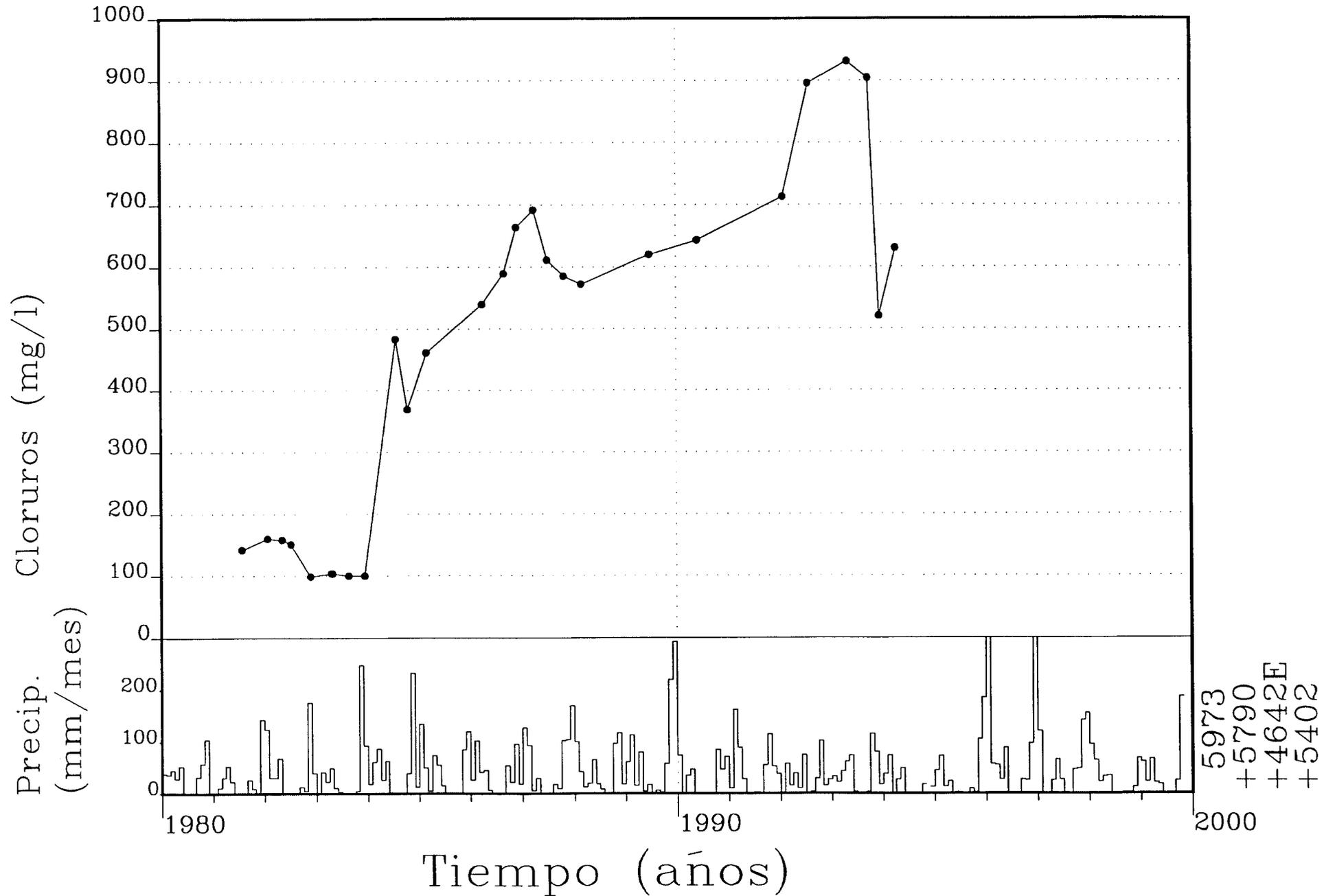
Punto: 124550034



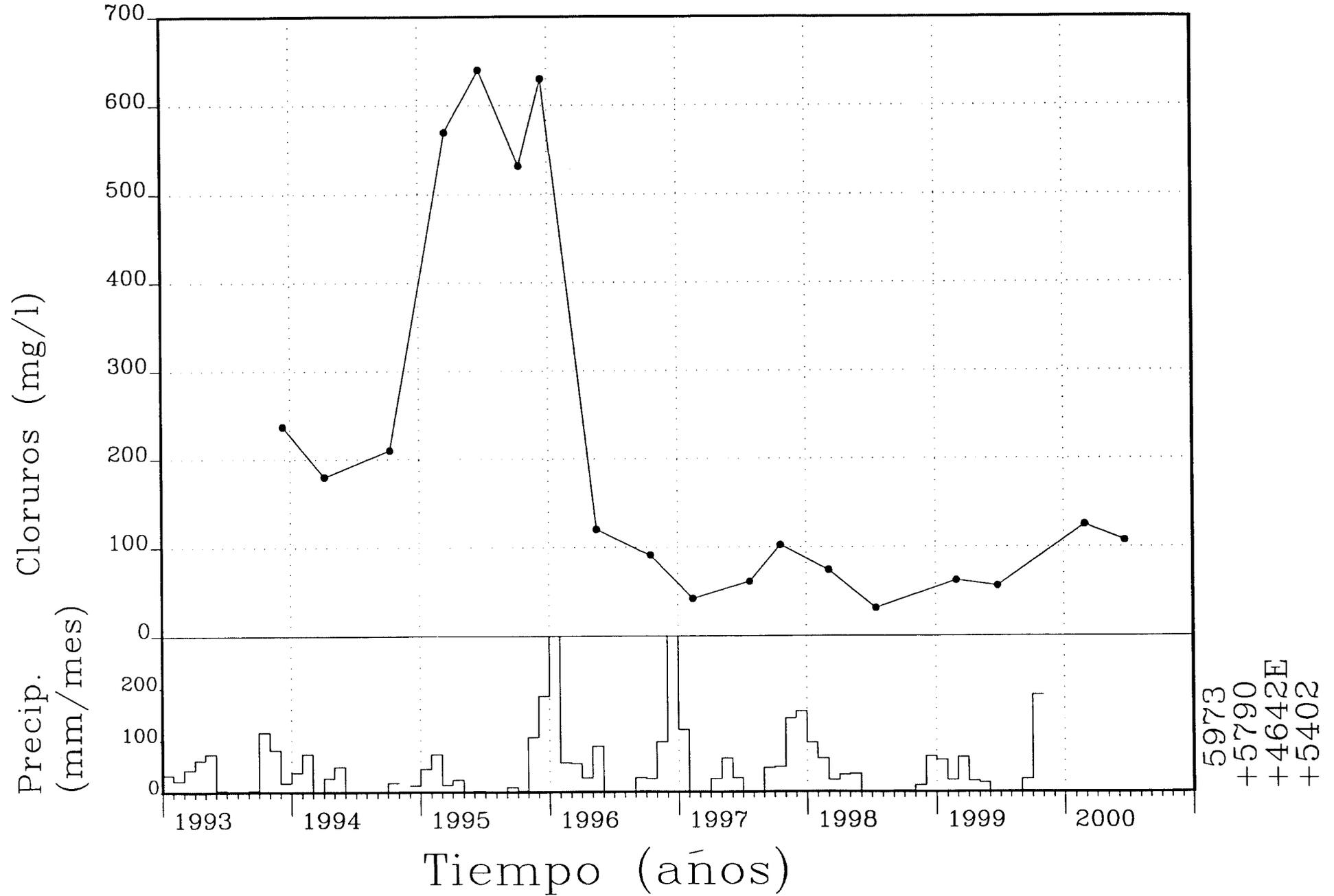
Punto: 124610035



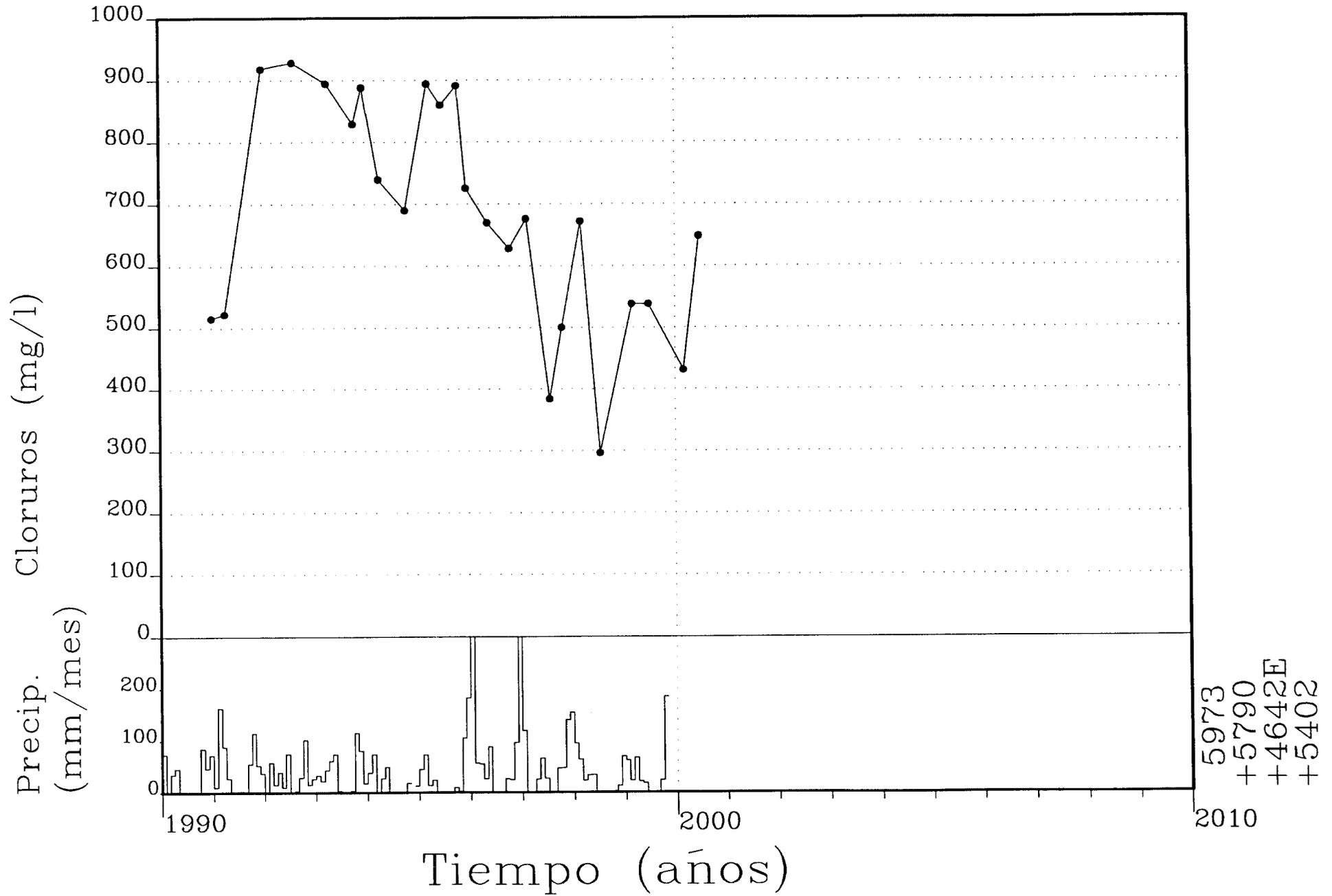
Punto: 124650058



Punto: 124650060



Punto: 124650068



## 5.4 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.61 VEJER-BARBATE

### 5.4.1 Situación y límites.

La Unidad hidrogeológica 05.61 (Vejer-Barbate), se encuentra situada en el extremo suroccidental de la provincia de Cádiz, enmarcada en la comarca de La Janda. Hidrográficamente, se sitúa en la Cuenca del Guadalete; concretamente, en la Cuenca río Barbate. Tiene una extensión de 145 km<sup>2</sup>. Sus límites geográficos están constituidos por la carretera Medina Sidonia-Benalup como límite norte, la carretera Medina Sidonia-Vejer como límite noroccidental; el río Barbate constituye en su tramo de marisma el límite oriental y el mar es el límite sur.

### 5.4.2 Descripción hidrogeológica.

Geológicamente, la Unidad Hidrogeológica 05.61 se encuadra dentro de las Béticas Occidentales, en el ámbito de los mantos relacionados con la Unidad del Campo de Gibraltar, los cuales constituyen el sustrato impermeable; se distinguen el Manto Subbético (arcillas-yesos triásicos) y el Manto del Aljibe (arcillas versicolores).

Sobre estos se depositaron discordantemente y con carácter autóctono, a partir del Mioceno superior, una serie de materiales constituido por los siguientes horizontes litoestratigráficos:

- Mioceno: serie constituida, de muro a techo, por margas arenosas azules (potencia variable, llega a superar los 100 m. (acuitardo), con intercalaciones de biocalcarenitas, alternancia de margas y biocalcarenitas (acuífero, potencia variable, llega a alcanzar 300 m).
- Plioceno: arenas calcáreas blanco-amarillentas; potencia máxima de 100 m.
- Cuaternario: arenas, cantos, conglomerado con conchas, limos y arcillas; corresponden a depósitos aluviales, terrazas, ambiente costero, rellenos lagunares y marisma.

Se trata de un acuífero detrítico permeable por porosidad intergranular. Debido a fenómenos tectónicos, se encuentra compartimentado en una serie de unidades independientes: Manto de Vejer, La Muela y La Mediana (ésta última queda fuera de la poligonal actual y está incluida en la poligonal de la Unidad 05.62).

El sustrato impermeable de la Unidad está constituido por formaciones margo-arcillosas de los mantos subbético y del Aljibe. Las unidades litoestratigráficas que conforman el acuífero corresponden a las del Mioceno (excepto las margas arenosas, que se comportan como acuitardo), Plioceno y Cuaternario (excepto los limos y arcillas de marisma y rellenos lagunares, que confinan el acuífero parcialmente; presentan potencias variables entre los 20 y los 130 metros, disminuyendo, de forma general, hacia el este y hacia el norte.

Se trata de un acuífero de carácter libre, parcialmente confinado en las áreas de marisma. La subunidad de La Muela se sitúa al Noroeste de Vejer y se extiende sobre una superficie de 16 km<sup>2</sup>. Morfológicamente está constituida por un altiplano de forma ovalada, constituido por materiales de la serie miocena; constituye un acuífero de carácter libre.

La subunidad de la Mediana (incluida en la poligonal de la unidad contigua, 05.62), con 5 km<sup>2</sup> de superficie, se sitúa en la parte oriental de la Unidad, en el Cerro del Mirador, y está constituida por biocalcarentas de la serie del Mioceno superior. Se trata de un acuífero libre.

El resto de la Unidad está configurada por la subunidad del Manto de Vejer, el cual se extiende por una superficie de 125 km<sup>2</sup>. Presenta un carácter libre, excepto en la mitad sur y a lo largo del río Barbate, que se presenta confinado por limos y arcillas de marisma, presentando un carácter semiconfinado.

Los parámetros hidrogeológicos más representativos de la Unidad son:

- Transmisividad:
  - Manto Vejer-Barbate: > 200 m<sup>2</sup>/día
  - Norte manto Vejer-Barbate:  $4 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^3$  m<sup>2</sup>/día (en base a ensayo de bombeo en 12474010).
  - La Muela: 20-100 m<sup>2</sup>/día.
- Coeficiente de almacenamiento:
  - Manto Vejer-Barbate:  $1 \cdot 10^{-2}$  (en base a ensayo de bombeo en 124770048).
  - Norte manto Vejer-Barbate:  $0,5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}$  (en base a ensayo de bombeo en 12474010).
- Gradiente hidráulico: 1% (valor medio), con valores extremos de 3,5% (Mesa Alta) y 0,8% (sector central Vejer-Barbate).

### 5.4.3 Análisis de la piezometría y su evolución.

La Unidad hidrogeológica constituye un acuífero de carácter libre, parcialmente confinado en las áreas de marisma asociadas al río Barbate.

La recarga natural del acuífero se produce, de forma fundamental, a partir de la infiltración de agua de lluvia. Además, hay que considerar una recarga adicional, de carácter estacional, correspondiente al río Barbate.

Las salidas tienen lugar a través de los bombeos en los pozos y sondeos que explotan el acuífero, además de los manantiales existentes en el cerro de La Muela, Caños de Meca, Charco Dulce, arroyo de los Badalejos y arroyo del Cucarrate, así como en la margen derecha del río Barbate, en la zona de Libreros; también existe salida natural al mar en la costa.

El sentido de circulación del agua subterránea es de sur a norte en los sectores de Mesa Alta (Norte de subunidad Vejer-Barbate) y en la zona situada en la margen izquierda del río Barbate, mientras que en el resto el flujo se produce de norte a sur. En la subunidad de La Muela, el sentido de circulación es hacia el este y sureste.

Las Mesas Alta y Baja constituyen las principales áreas de recarga del acuífero. La profundidad de la superficie piezométrica va decreciendo desde 160 m. en Vejer a 4,5 m. en la zona más meridional. En el sector Norte de la subunidad Vejer-Barbate, los niveles piezométricos se sitúan próximos a la superficie, menos de 15 m., llegando a ser surgentes, con carácter estacional, algunos puntos.

El IGME controlaba hasta el año 2001, con frecuencia mensual, una red piezométrica compuesta por 46 puntos de agua. En el plano nº 1 de l Anexo I se puede ver la situación de los mismos y en la TABLA I se describen las coordenadas U.T.M., cota y profundidad de ellos.

De los mapas de isopiezas correspondiente al mes de Junio de los años 1995, 1999 y 2000, (ver Anexo II), se observa que el acuífero presenta, en la actualidad, una evolución favorable con respecto al año 1995 ya que en gran parte del mismo hay ascensos del nivel piezométrico, lo que de cara a los efectos de la intrusión marina constituye un buen síntoma, ya que no se observan ni depresiones, ni conos de bombeos, que permitan el avance de la intrusión marina.

**TABLA I. Puntos de agua de la red piezométrica**

<b>REGISNAC</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>COTA (msnm)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
124680007	240850	4029720	95	84.00
124680011	242650	4027850	85	87.00
124680015	242280	4028108	78	112.00
124680021	242580	4026993	73	103.00
124680023	242590	4027523	75	117.00
124730089	236750	4016400	50	80.00
124740004	776528	4020172	10	30
124740012	237490	4017750	9,63	80.00
124740017	240200	4022600	45	70.00
124740021	779699	4023329	38,02	40.00
124740023	242600	4023750	56,94	50.00
124740024	243550	4025557	36	50.00
124740032	778379	4018209	10	86.00
124740033	776595	4021411	56	92.00
124740034	239100	4021768	54	87.00
124740035	241350	4024801	60	75.00
124740036	779927	4025306	66	80.00
124740037	241999	4024380	64	80.00
124770047	774482	4013231	10	13.00
124770048	234500	4014450	18	70.46
124770058	235390	4013100	7	20.50
124780005	240450	4014900	54,92	8.45
124780007	237300	4015100	20	31.00
124780008	236850	4015050	36,6	57.00
124780009	236250	4015980	45	
134650001	245050	4025090	122	80
134650019	244391	4025830	100	98.00
124740040	238650	4018150	12,2	35.00
124770067	235140	4012400	15	150.00
124780015	236650	4010900	10	19.00
124770064	235531	4012412	10	125.00
124770065	235546	4012412	15	108.00
124770066	234380	4012700	50	140.00
124730091	231750	4018100	123,19	12
124780016	236550	4010850	17	83

REGISNAC	X	Y	COTA (msnm)	PROFUNDIDAD (m)
124770068	232800	4011680	100	80
124780017	238150	4015300	50	150
124680028	242700	4026980	80	70
124680029	241990	4026200	70	90
124680030	243700	4026450	98	90
124770071	231990	4011200	100	4
124780018	236400	4011600	10	12
124780019	237990	4010150	10	6
134710011	246990	4018700	25	110
134710012	247200	4019350	28	100
134650023	247550	4027700	100	3

#### 5.4.4 Análisis de la situación respecto a la intrusión marina.

Del estudio de los mapas de isocloruros (ver Anexo II) se desprende que, actualmente no existen zonas con peligro de intrusión marina, ya que los valores de cloruros son en casi todos los puntos controlados, inferiores a los 200 mg/L. Observándose en los mapas de concentración de cloruros una cierta estabilidad, desde el año 95 a la actualidad.

#### 5.4.5 Caracterización de facies hidroquímicas.

En los diagramas de Piper adjuntos en el Anexo III, se han reflejado los puntos de la red de calidad para los años 1995 y 1999. Las aguas subterráneas de la Unidad son de dureza media a duras y mineralización ligera a notable. Presentan facies predominantemente bicarbonatadas cloruradas cálcicas y residuos secos inferiores en general a 800 mg/L. En algunos puntos aislados de la Unidad (sector de Cantarranas, Vega de El Torero, Cantera del Torero) existen obras de captación con aguas de elevada salinidad, debida probablemente a la existencia de lentejones arcillosos incluidos dentro de las formaciones arcillosas del sustrato, que contienen aguas marinas congénitas.

#### 5.4.6 Análisis de relaciones iónicas.

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO <sub>3</sub> /rCl		rSO <sub>4</sub> /rCl		rCl	
	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99	May-95	May-99
124680011	0.571		0.431		5.293		0.519		0.76	
124730031	0.597	0.581	0.535	0.825	2.786	3.771	0.286	0.236	1.38	1.49
124740021	1.028	0.878	0.971	0.495	3.485	1.533	1.038	1.84	0.76	2.82
124760010	0.703	0.798	0.349	0.358	0.353	0.881	0.389	0.485	7.05	6.43
124770048	0.383	0.490	0.337	0.397	0.598	1.571	0.098	0.067	6.57	3.72
124770049	1.050		1.098		2.677		0.235		1.94	
124770050	1.063		1.005		0.676		2.672		3.27	
124770063		0.845		0.246		0.242		0.363		5.33
124770066		0.907		0.891		2.009		0.277		2.39
124770067	0.586	0.514	0.739	0.261	2.831	1.258	0.135	0.118	2.00	4.40
124770068		0.354		0.510		0.531		0.175		11.28
124780008	0.811	0.486	0.268	0.171	1.123	0.947	0.359	0.292	2.14	5.27
124780010	0.830	0.704	2.093	0.575	4.394	2.467	0.473	0.482	1.10	2.28
124780015		0.559		0.809		3.184		0.478		1.52
Agua de Mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

Del análisis de las relaciones iónicas tampoco se observan, en los puntos de la red de calidad, que existan riesgos de intrusión marina en el acuífero, ya que los valores encontrados corresponden a aguas dulces o valores muy alejados de concentraciones de mezclas con el agua salada.

#### 5.4.7 Diagnostico del estado actual del acuífero.

El acuífero no presenta en la actualidad problemas de abatimientos de niveles por la explotación del mismo, es por ello que, desde el punto de vista de la intrusión, tampoco aparezcan síntomas de afección, en el acuífero, a la luz de los datos aportados.

Los valores de concentración de cloruros se mantienen estables, en los puntos muestreados y solo cabría decir que desde el punto de vista de la calidad del agua se observa, como por otra parte viene siendo habitual en otros acuíferos, un aumento del ión nitrato en el agua, debido al empleo de fertilizantes en las labores agrícolas.

#### 5.4.8 Evolución previsible y posibles actuaciones.

La tendencia observada a partir de los datos obtenidos en las redes de control hace pensar que de mantenerse las condiciones actuales de explotación, de aguas subterráneas, no existe riesgo de salinización del agua debido a efectos de la intrusión marina.

## **ANEXOS UH 05.61**

**ANEXO I: RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS**

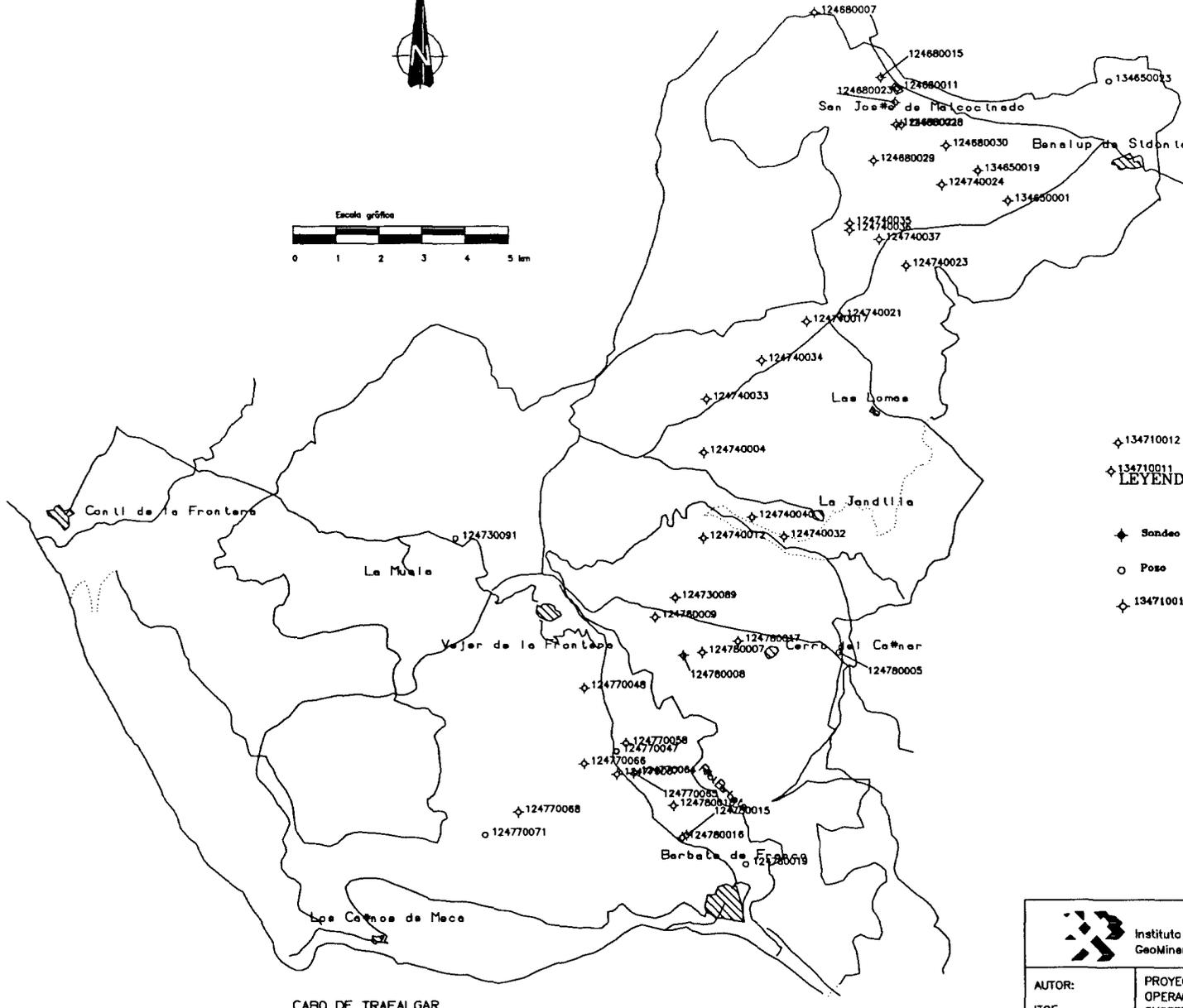
**ANEXO II: RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN. EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS**

**ANEXO III: DIAGRAMAS DE PIPER**

**ANEXO IV: GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS**

ANEXO I

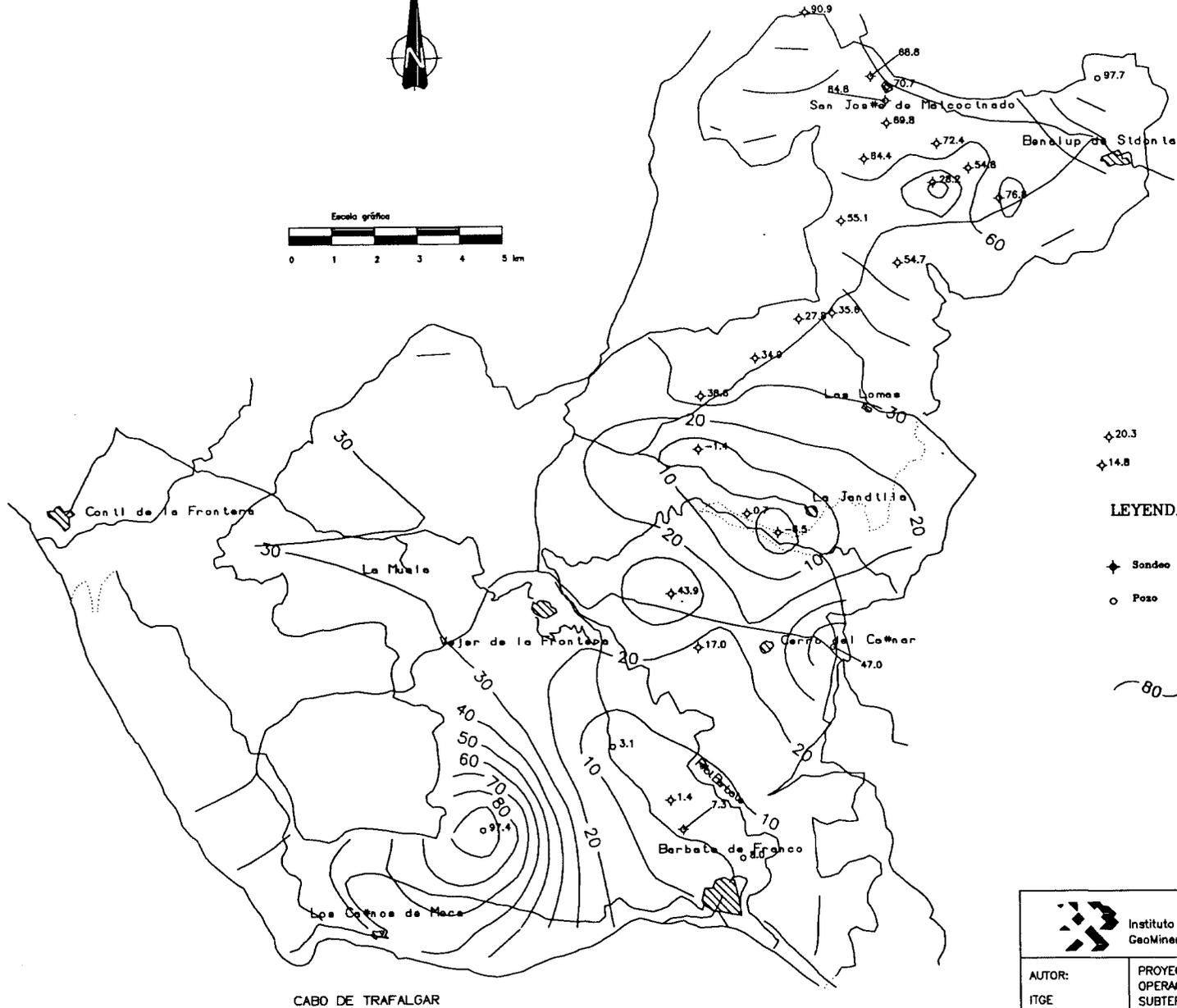
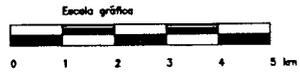
RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO, EVOLUCIONES PIEZOMÉTRICAS



- 134710012  
134710011  
**LEYENDA:**
- ◆ Sondeo de reconocimiento
  - ◇ Sondeo
  - Pozo
  - ⊕ Manantial
  - ◆ 134710012 Número de registro nacional (ITGE)

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Véjer - Barbata	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 1

CABO DE TRAFALGAR



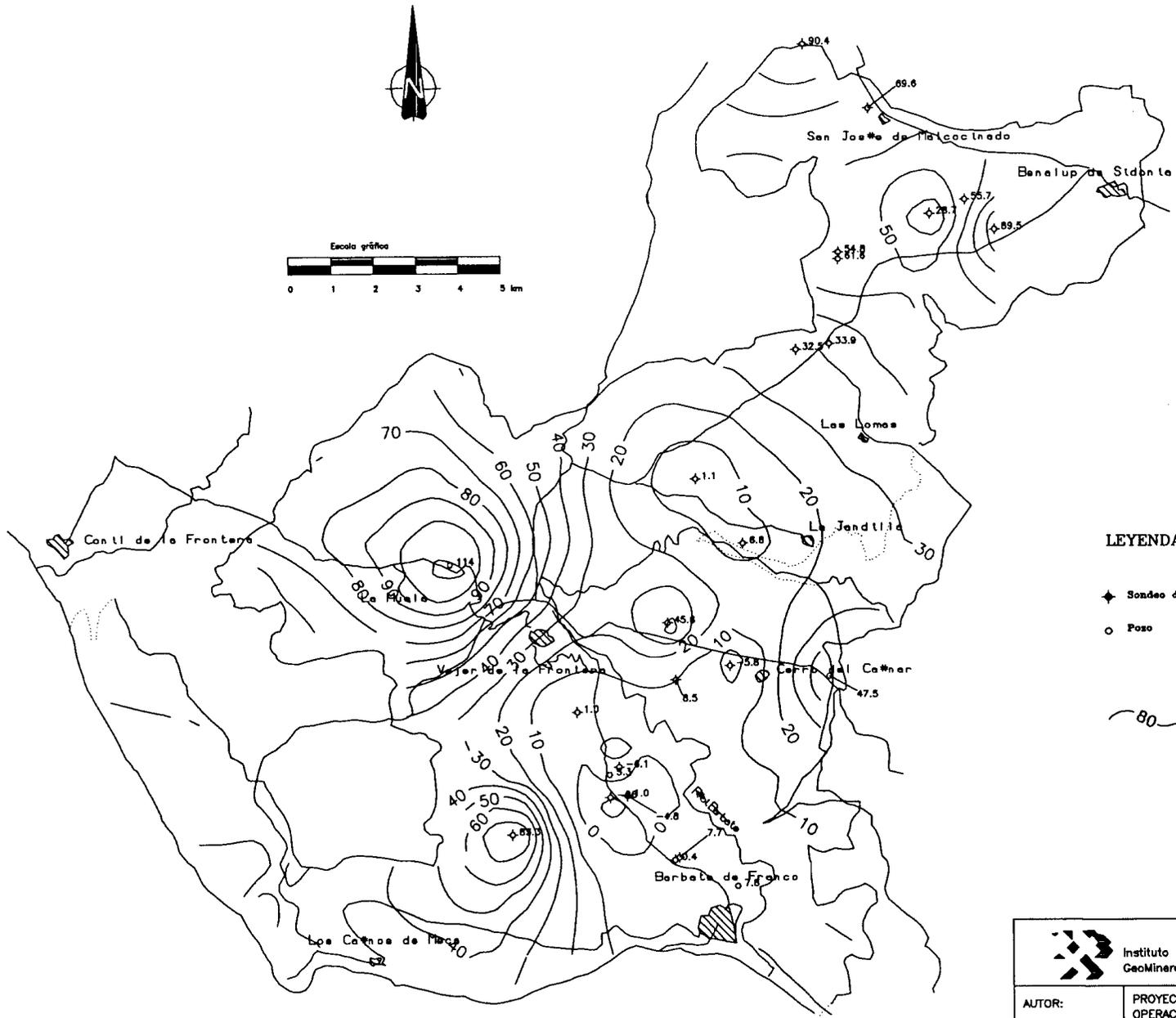
◆ 20.3  
◆ 14.8

LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- Pozo
- ◆ Sondeo
- Manantial

— 60 — Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Véjer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Periodo comprendido entre 01-06-95 y 01-07-95	No DE PLANO 2

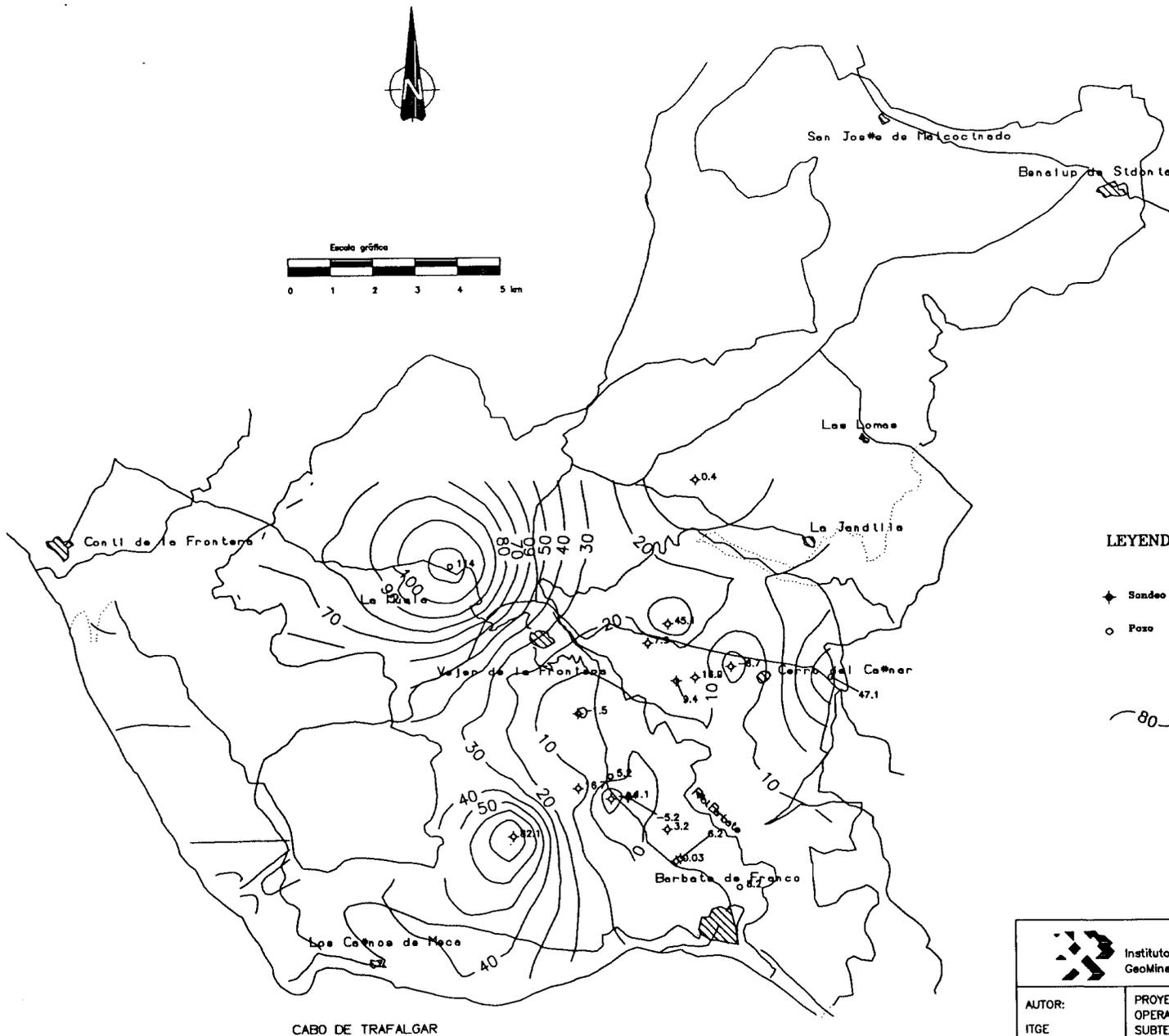


CABO DE TRAFALGAR

LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

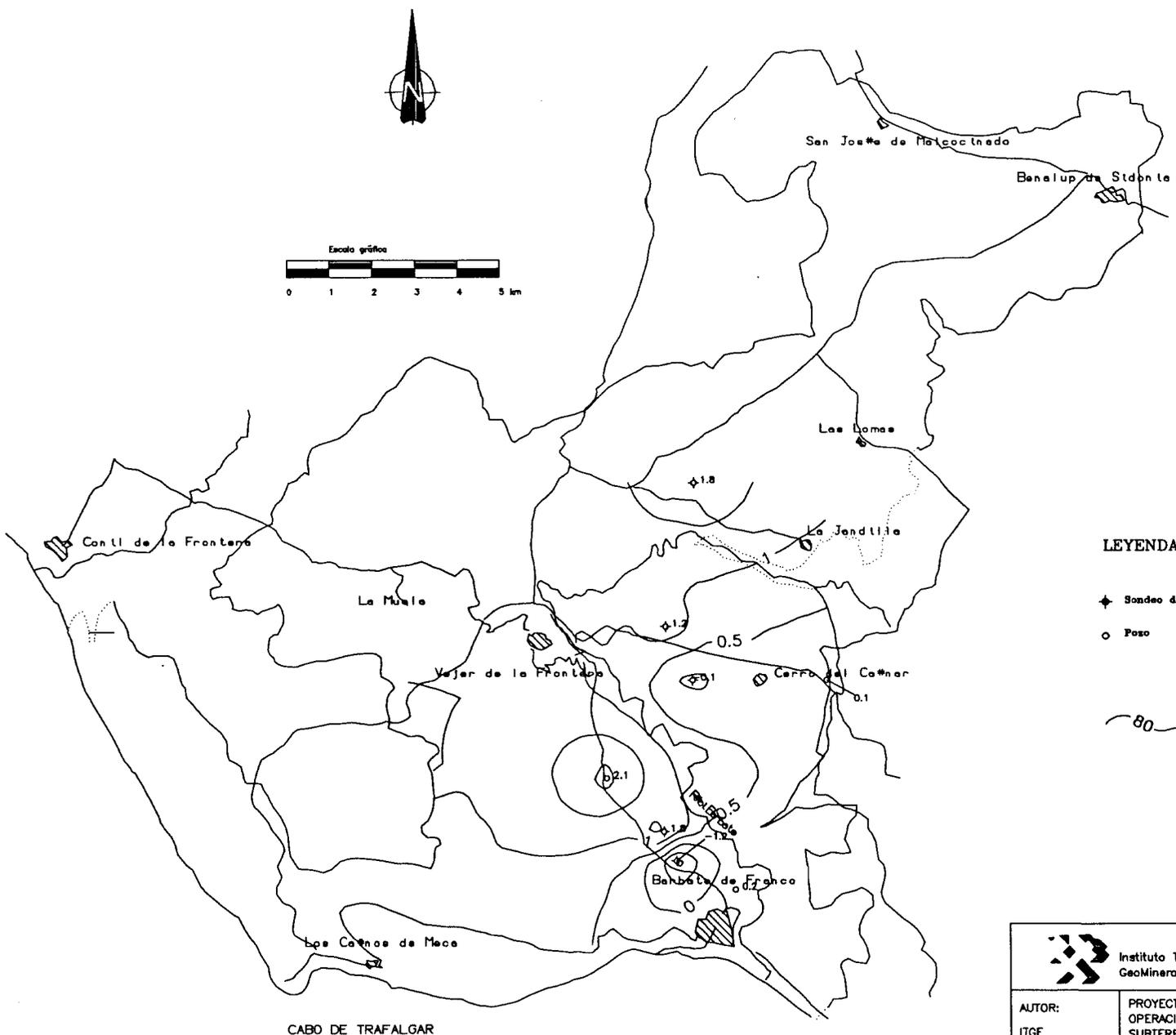
 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Véjer - Barbata	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-99 y 01-07-99	No DE PLANO 3



LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Vójer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 4



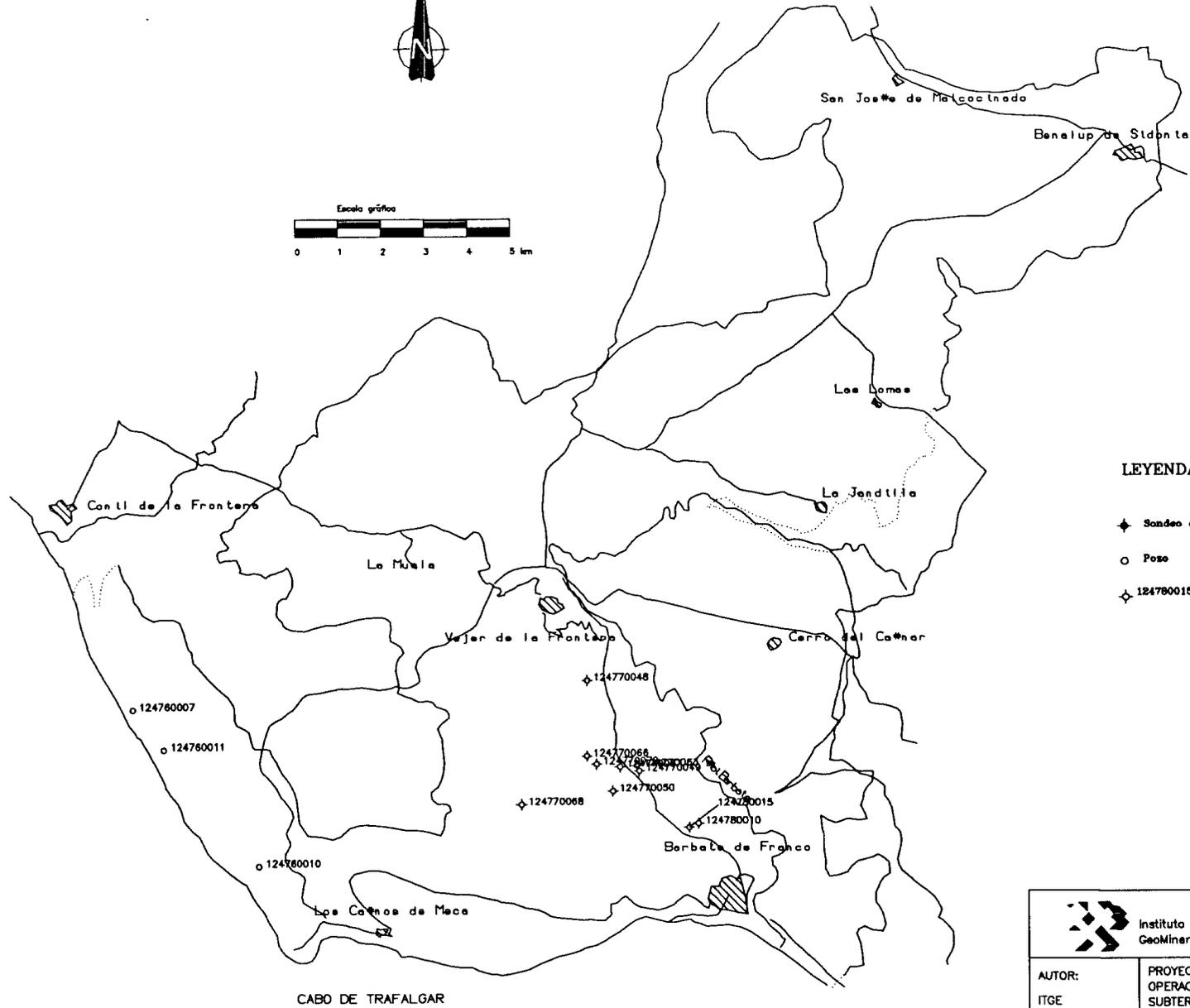
LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Vájer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Nivel piezométrico (msnm) Red de control piezométrico Diferencia entre Junio-95 y Junio-00	No DE PLANO 5

ANEXO II

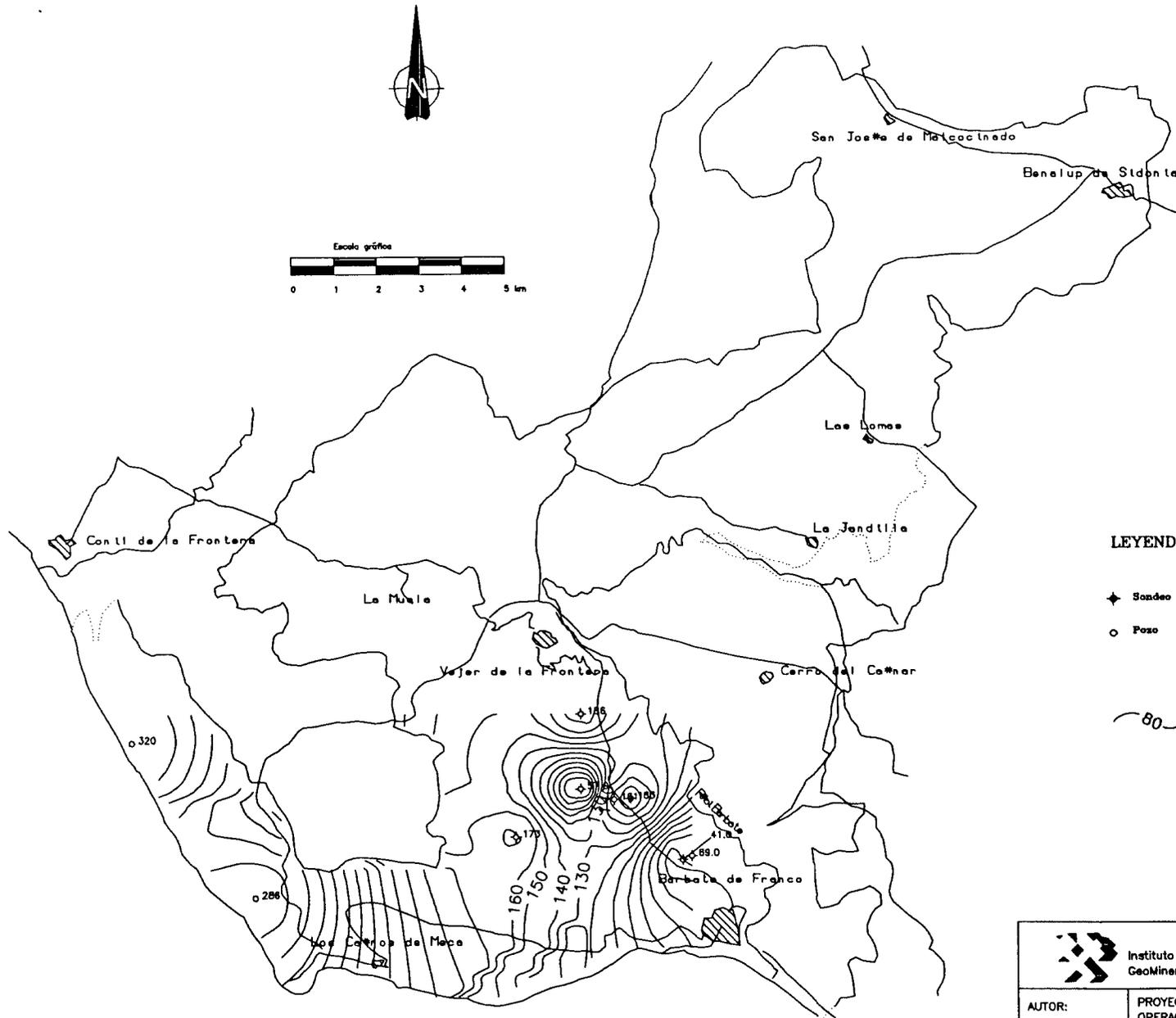
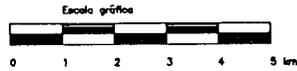
RED DE CONTROL DE INTRUSIÓN, EVOLUCIÓN DE LOS CLORUROS



LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- ◆ 124780015 Número de registro nacional (ITGE)

		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Vêjar - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	Nº DE PLANO 6

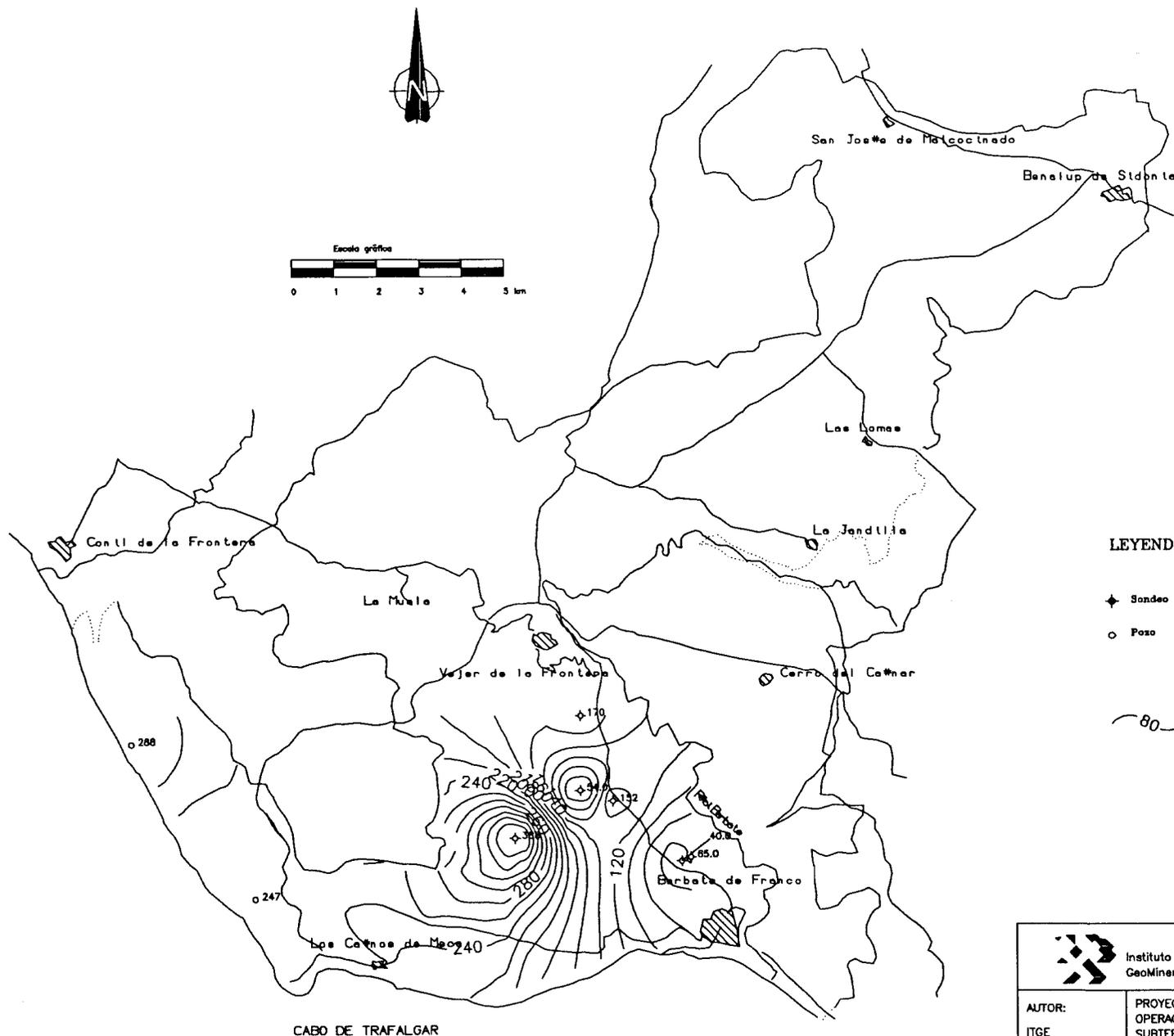


CABO DE TRAFALGAR

LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Véjer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 7

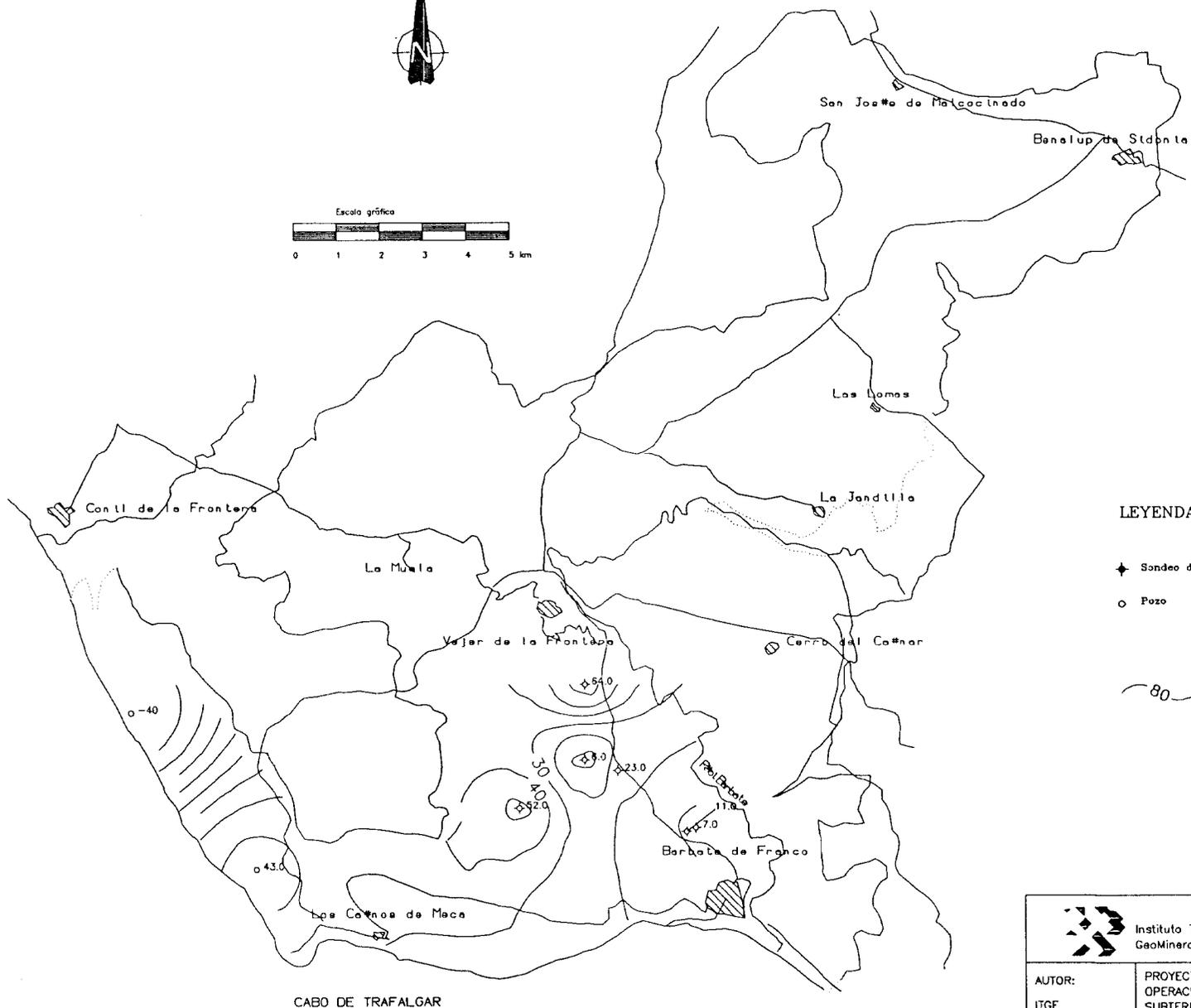


LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Vájer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Período comprendido entre 01-02-00 y 01-03-00	No DE PLANO 8

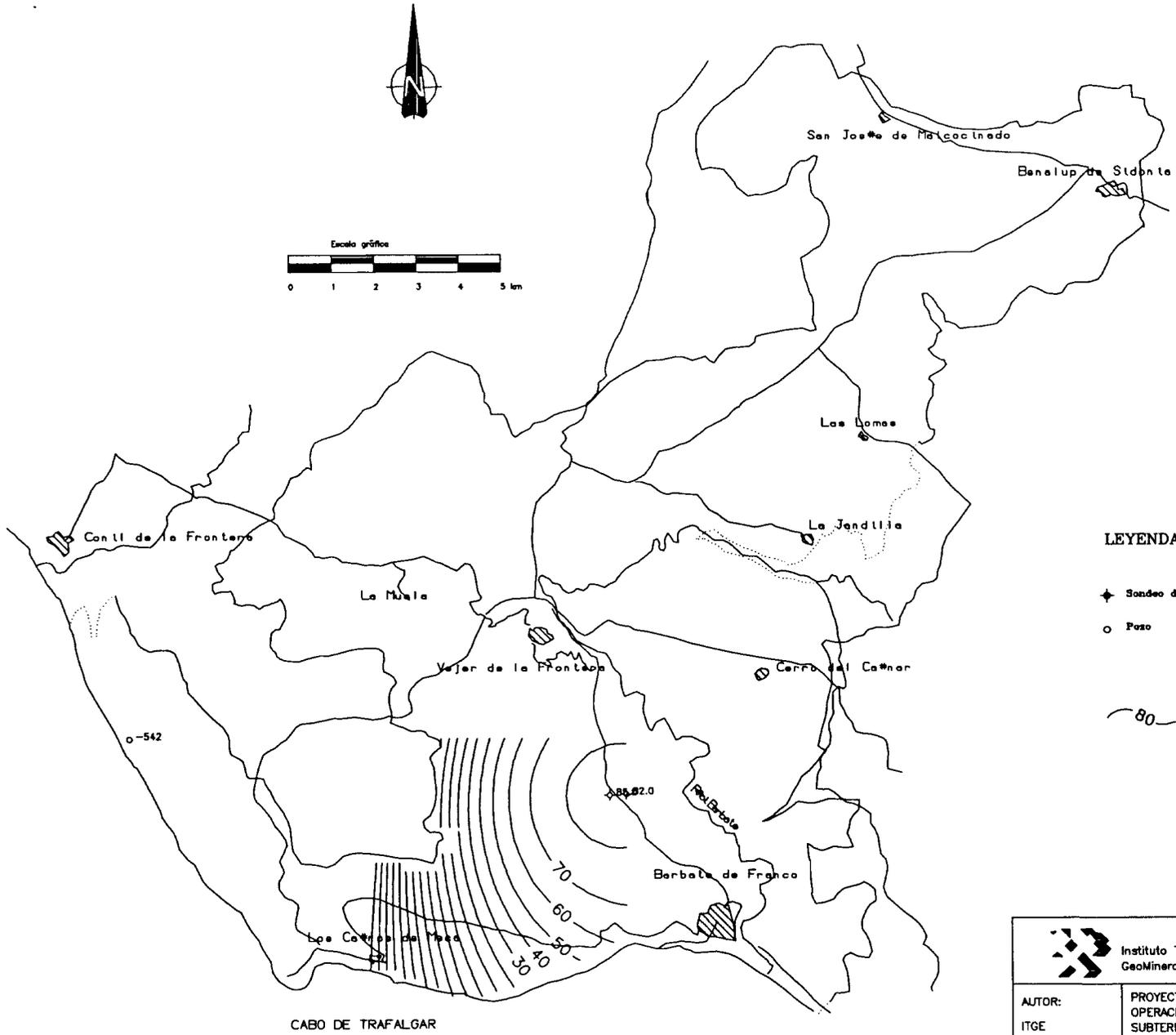
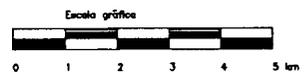
CABO DE TRAFALGAR



LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Vájer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 22-12-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Diferencia entre Febrero-99 y Febrero-00	No DE PLANO 9



LEYENDA:

- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- 80 — Curva de igual valor

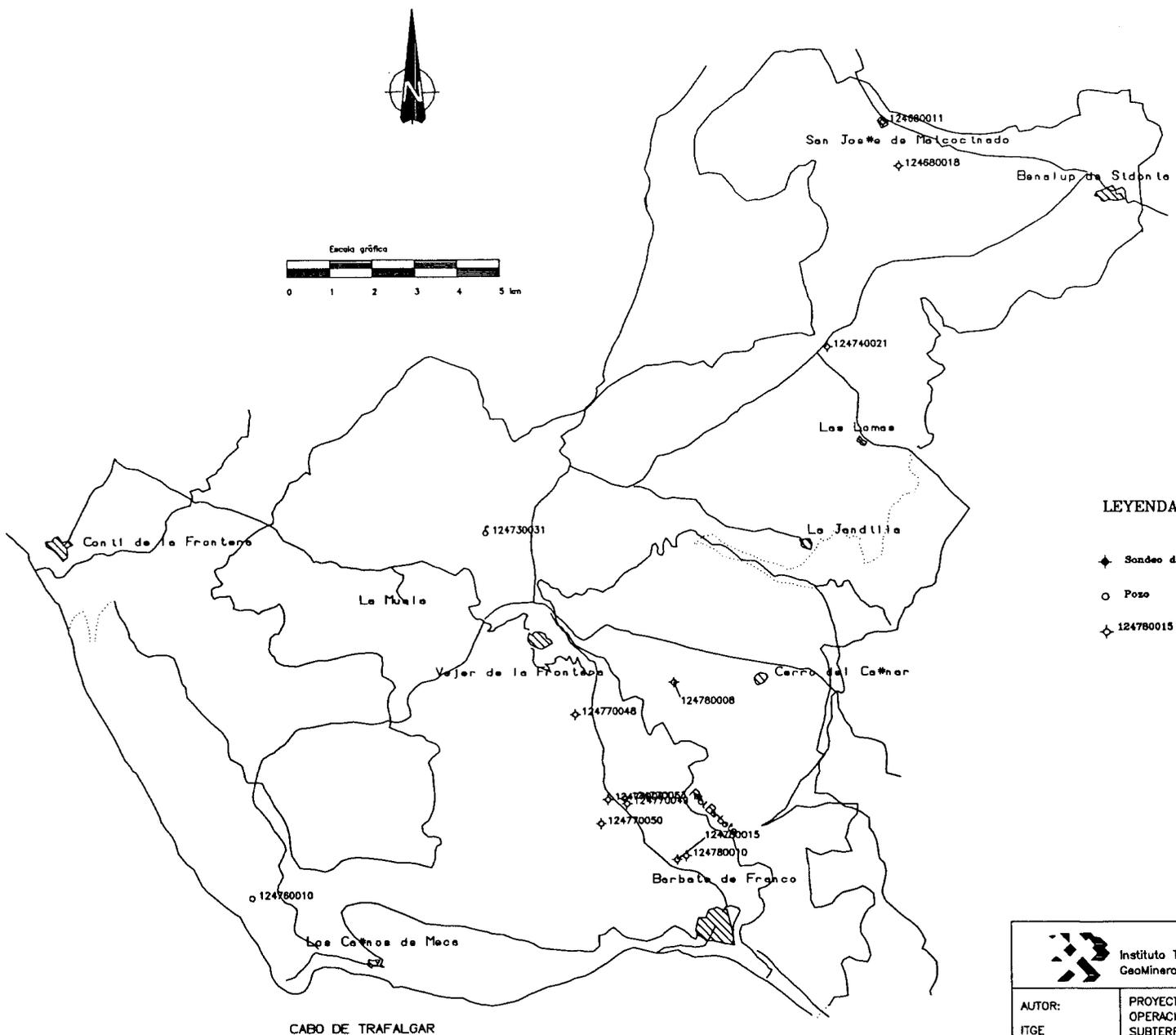
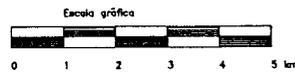
CABO DE TRAFALGAR

 Instituto Tecnológico Geomínero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVR Vêjer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 18-08-00	DENOMINACION Cloruros (mg/l) Red de control de intrusión Diferencia entre Junio-95 y Junio-00	No DE PLANO 10

ANEXO III

PLANO DE SITUACIÓN DE LA RED DE CALIDAD

DIAGRAMAS DE PIPER



LEYENDA:

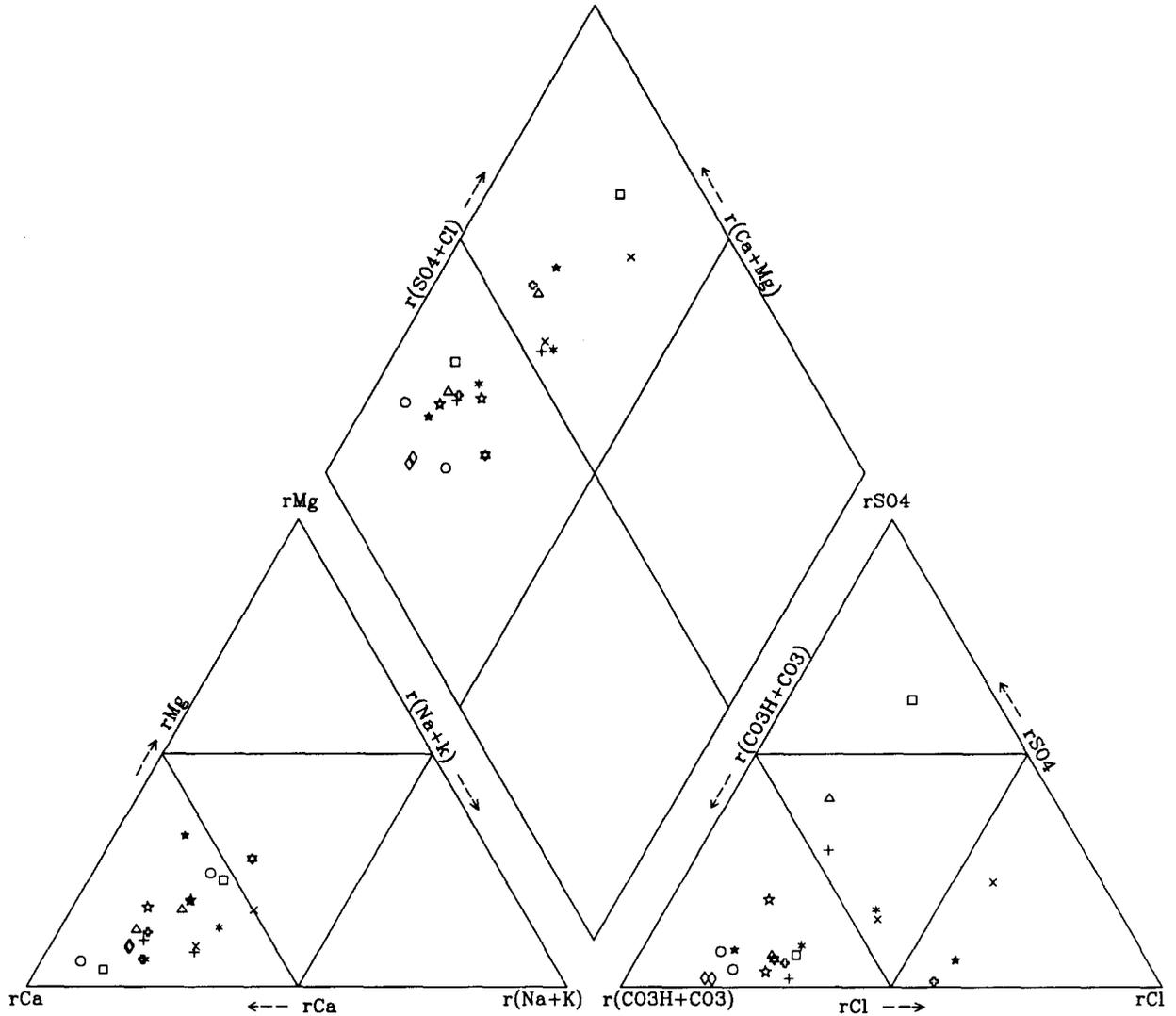
- ◆ Sondeo de reconocimiento
- ◇ Sondeo
- Pozo
- ⊕ Manantial
- ◆ 124780015 Número de registro nacional (ITGE)

CABO DE TRAFALGAR

 Instituto Tecnológico GeoMinero de España		DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA
AUTOR: ITGE	PROYECTO: OPERACION DE REDES DE CONTROL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS - CUENCA DEL GUADALQUIVIR Vájer - Barbate	ESCALA 1:100000
FECHA 09-11-00	DENOMINACION Número de inventario Red de control de calidad Período comprendido entre 01-06-00 y 01-07-00	No DE PLANO 11

# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

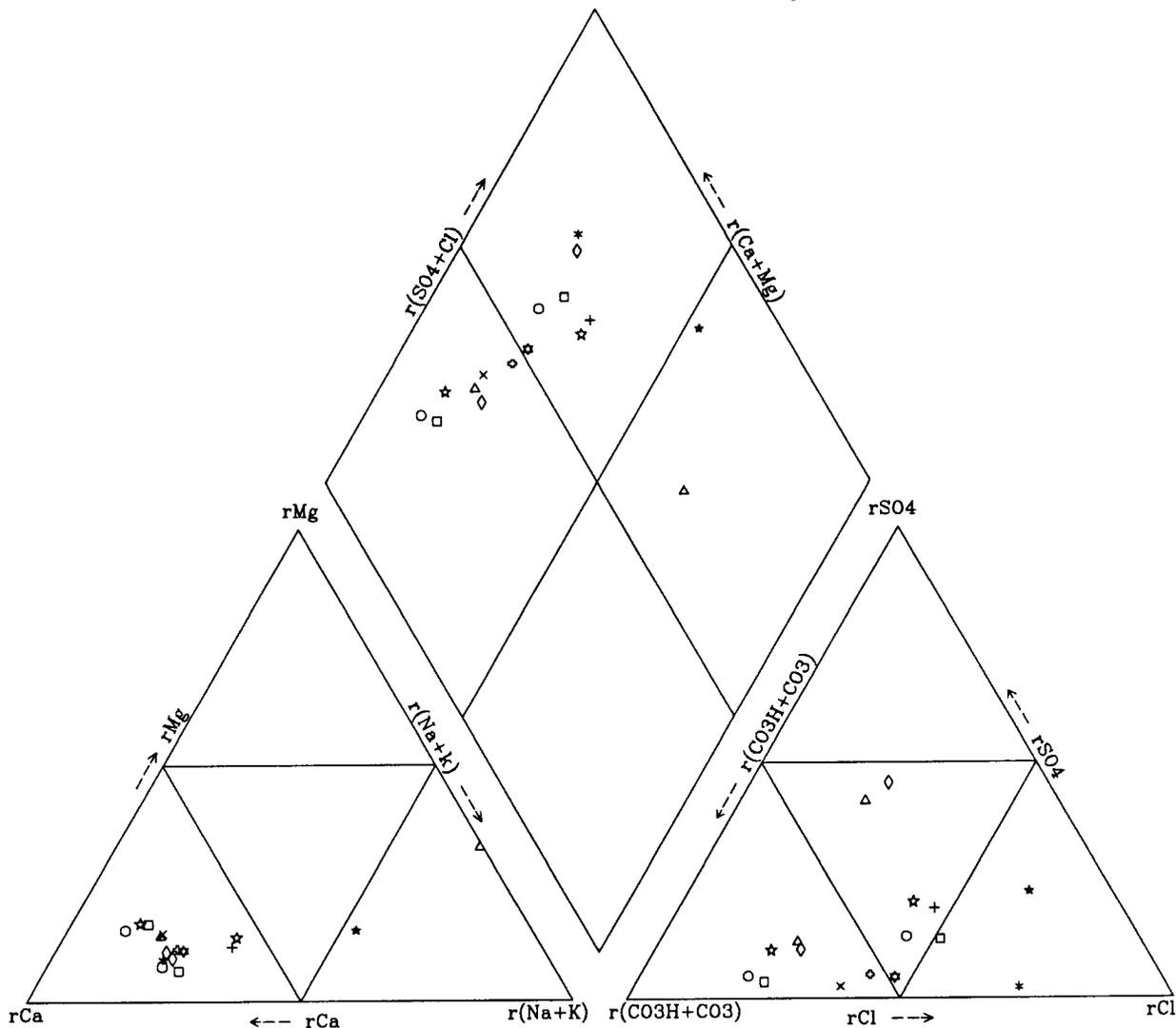
Acuífero: 05.61 entre 01-01-95 y 01-01-96



○ 124680011 18-05-95	◇ 124770048 13-11-95	* 124780008 13-11-95
□ 124680011 13-11-95	♠ 124770049 19-05-95	* 124780010 19-05-95
△ 124730031 18-05-95	○ 124770049 13-11-95	◇ 124780010 13-11-95
◇ 124730031 13-11-95	□ 124770050 18-05-95	
* 124740021 19-05-95	△ 124770050 13-11-95	
+ 124740021 13-11-95	◇ 124770063 13-11-95	
× 124760010 18-05-95	* 124770067 19-05-95	
* 124760010 13-11-95	+ 124770067 13-11-95	
* 124770048 19-05-95	× 124780008 19-05-95	

# Diagrama de Piper-Hill-Langelier

Acuífero: 05.61 entre 01-01-99 y 01-01-00

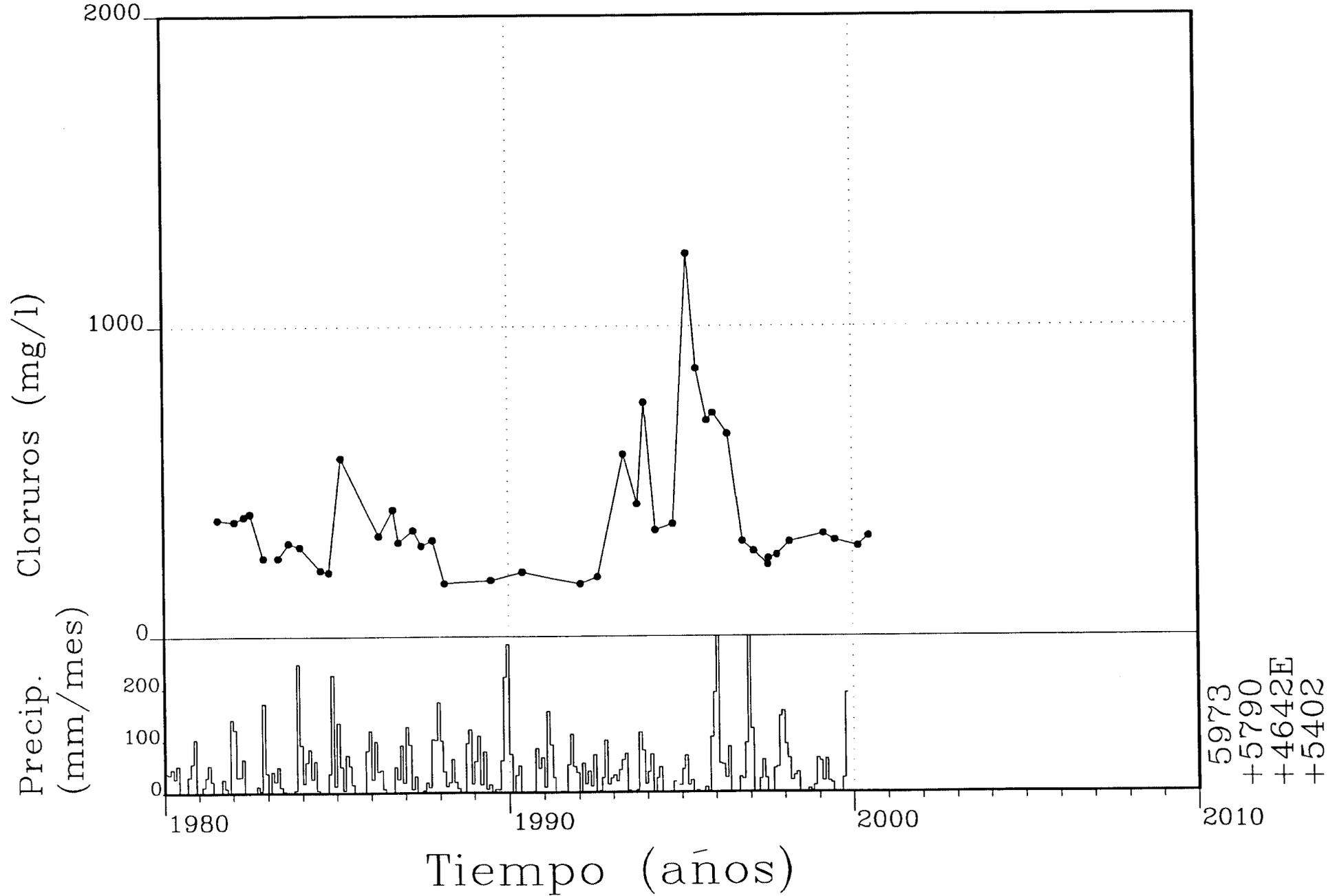


- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| ○ 124730031 29-04-99 | ◇ 124770067 29-04-99 |
| □ 124730031 15-11-99 | ♠ 124770067 15-11-99 |
| △ 124740021 29-04-99 | ○ 124780008 29-04-99 |
| ◇ 124740021 15-11-99 | □ 124780008 15-11-99 |
| ★ 124760010 29-04-99 | △ 124780010 29-04-99 |
| + 124760010 15-11-99 | ◇ 124780010 15-11-99 |
| × 124770048 29-04-99 | ★ 124780015 29-04-99 |
| * 124770048 15-11-99 |                      |
| * 124770063 29-04-99 |                      |

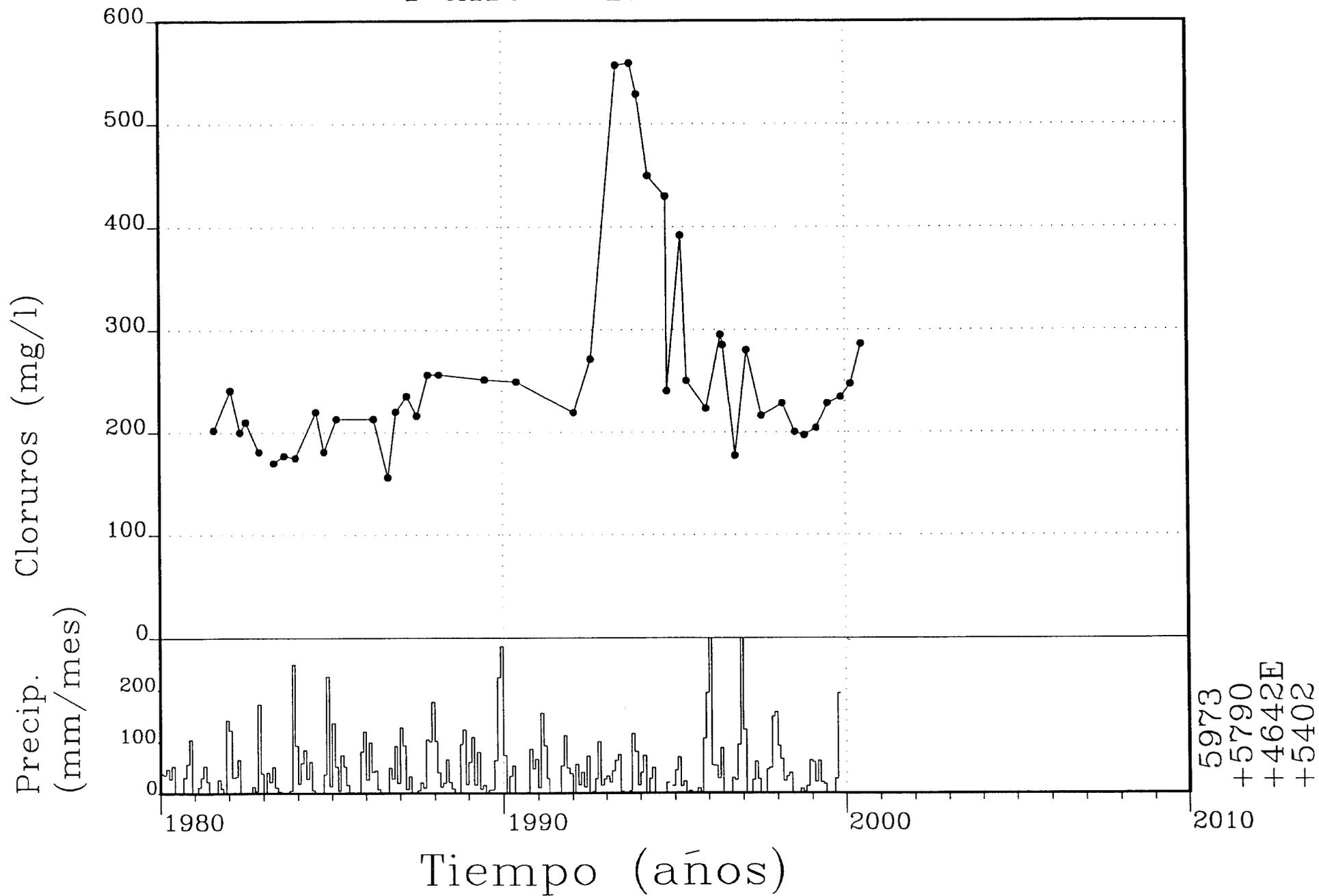
ANEXO IV

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE CLORUROS

Punto: 124760007

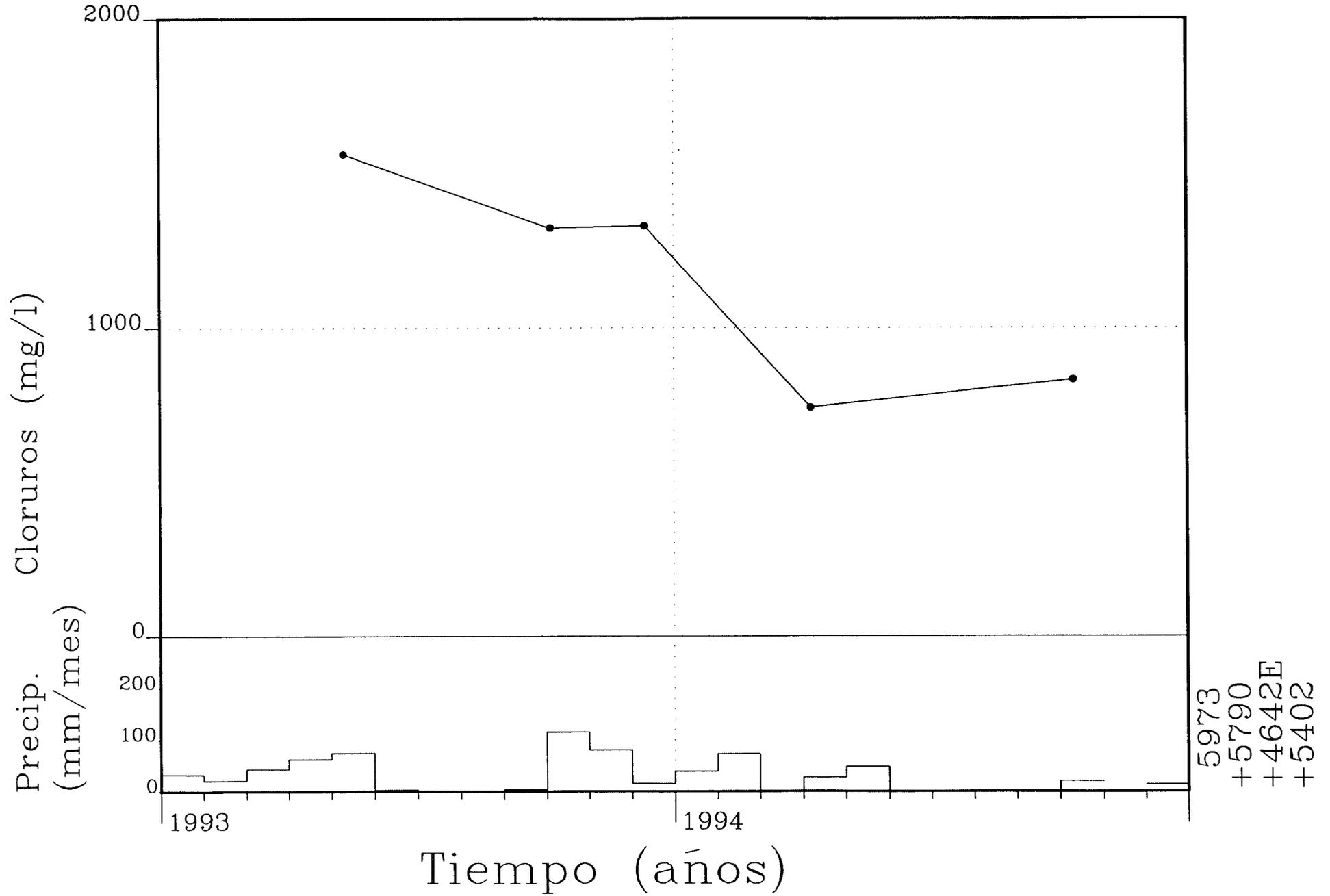


Punto: 124760010

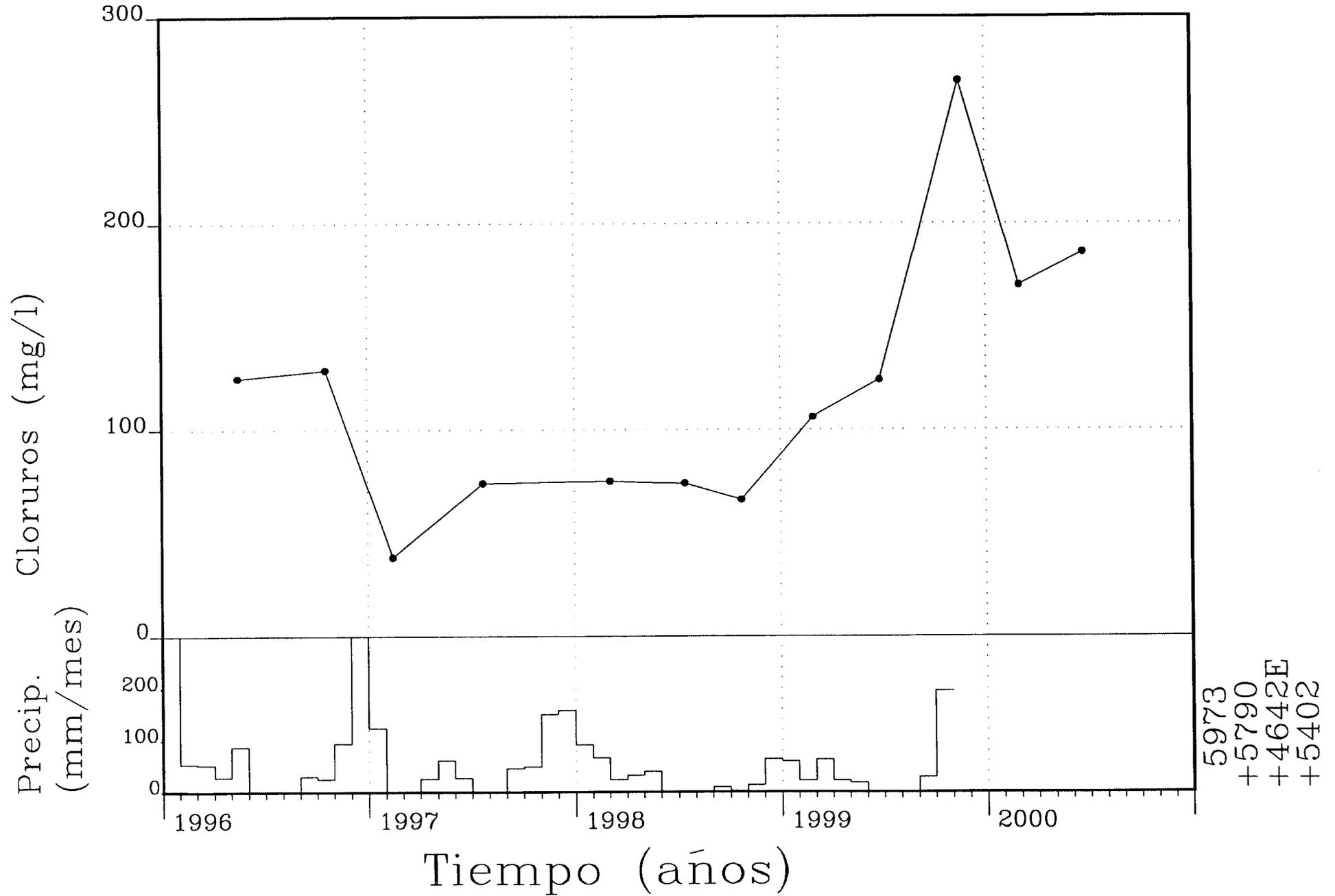


5973  
+5790  
+4642E  
+5402

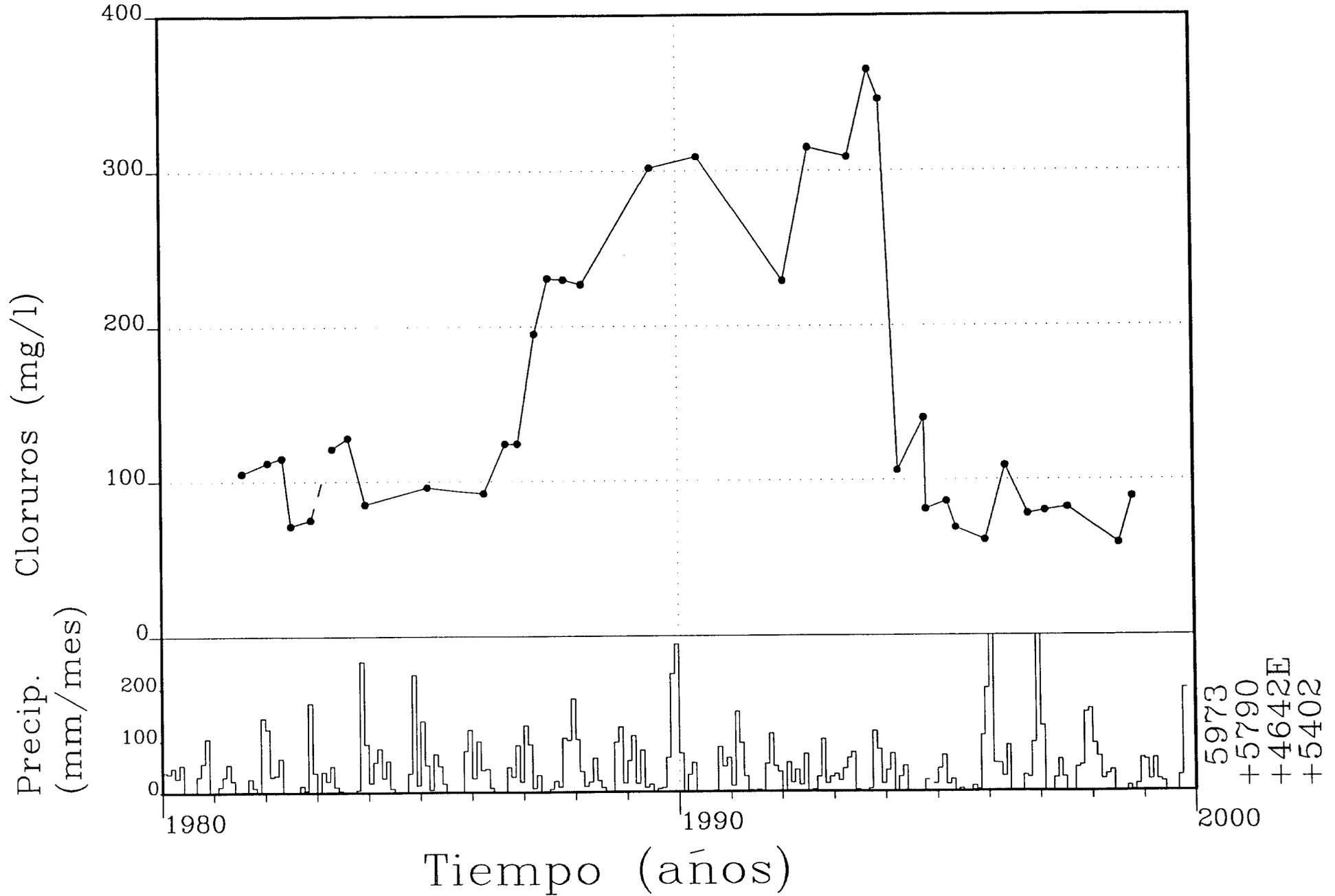
Punto: 124760011



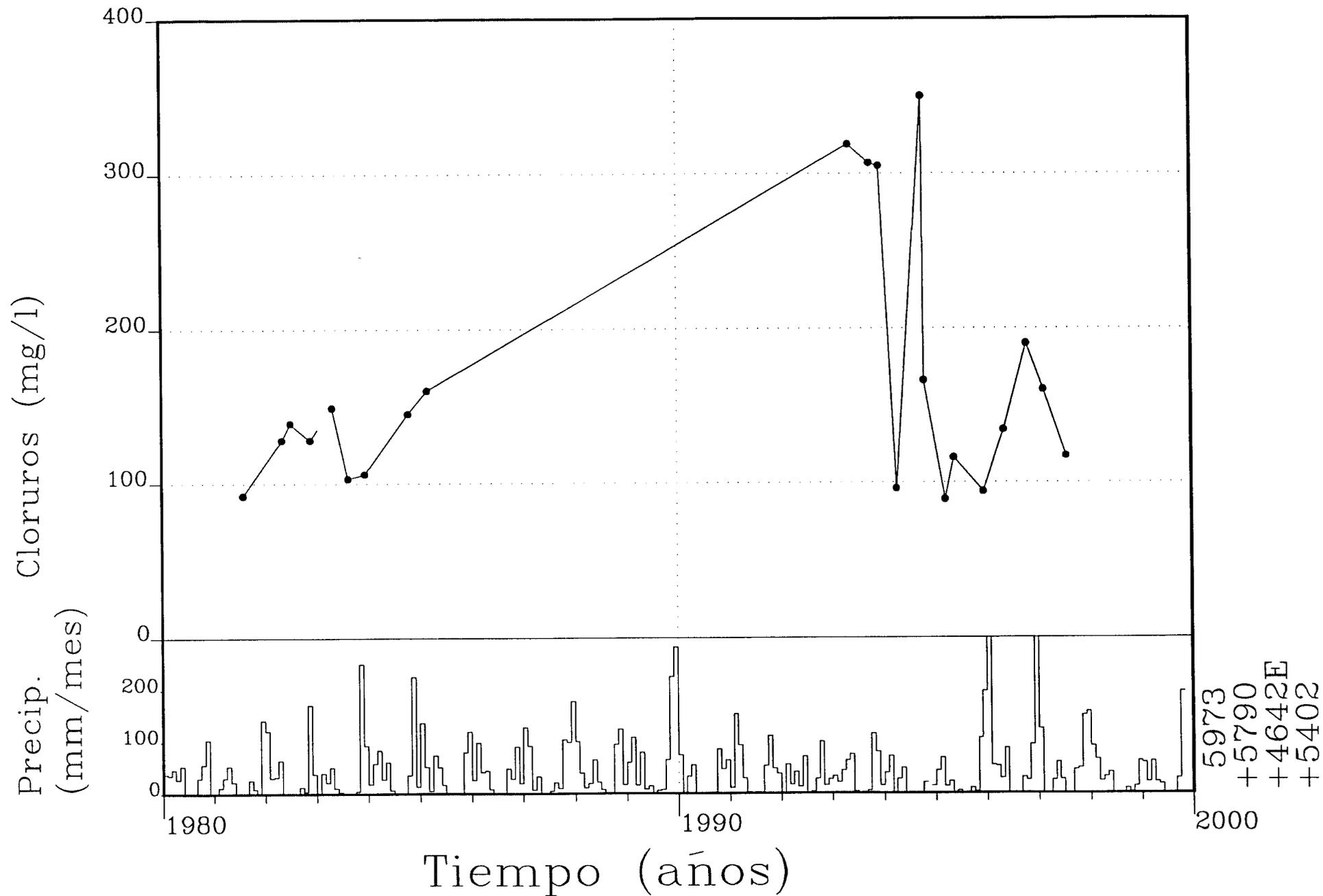
Punto: 124770048



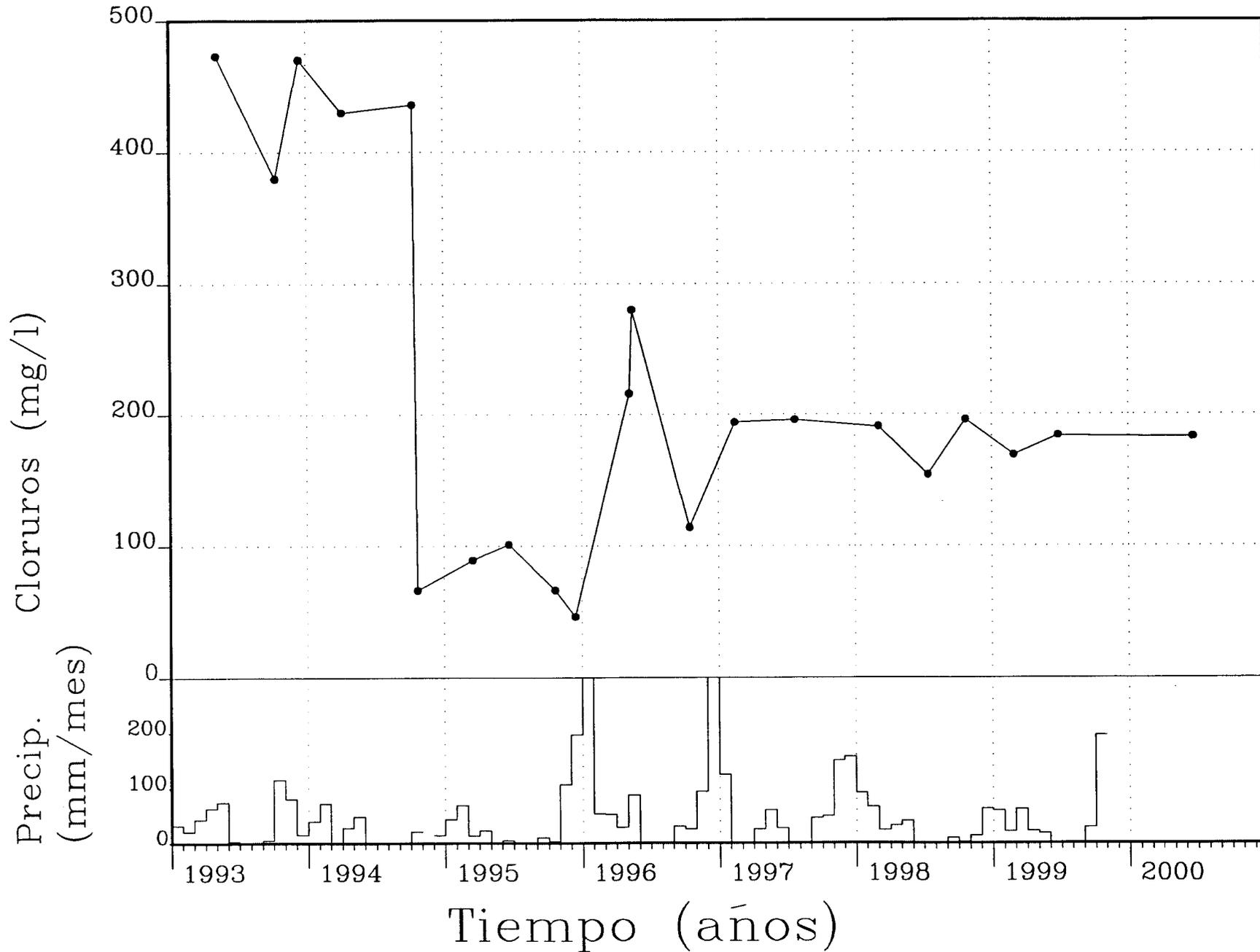
Punto: 124770049



Punto: 124770050

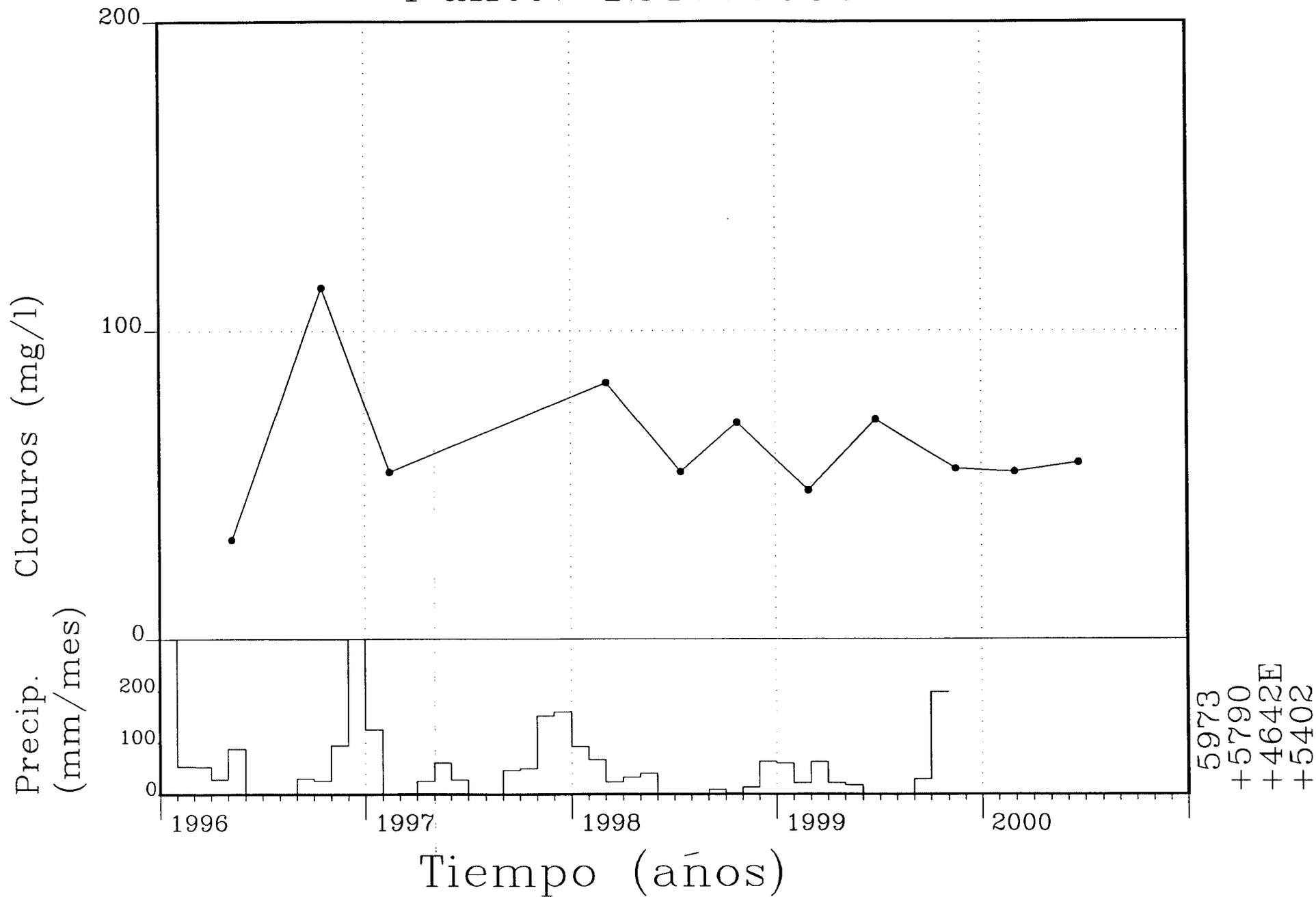


Punto: 124770063



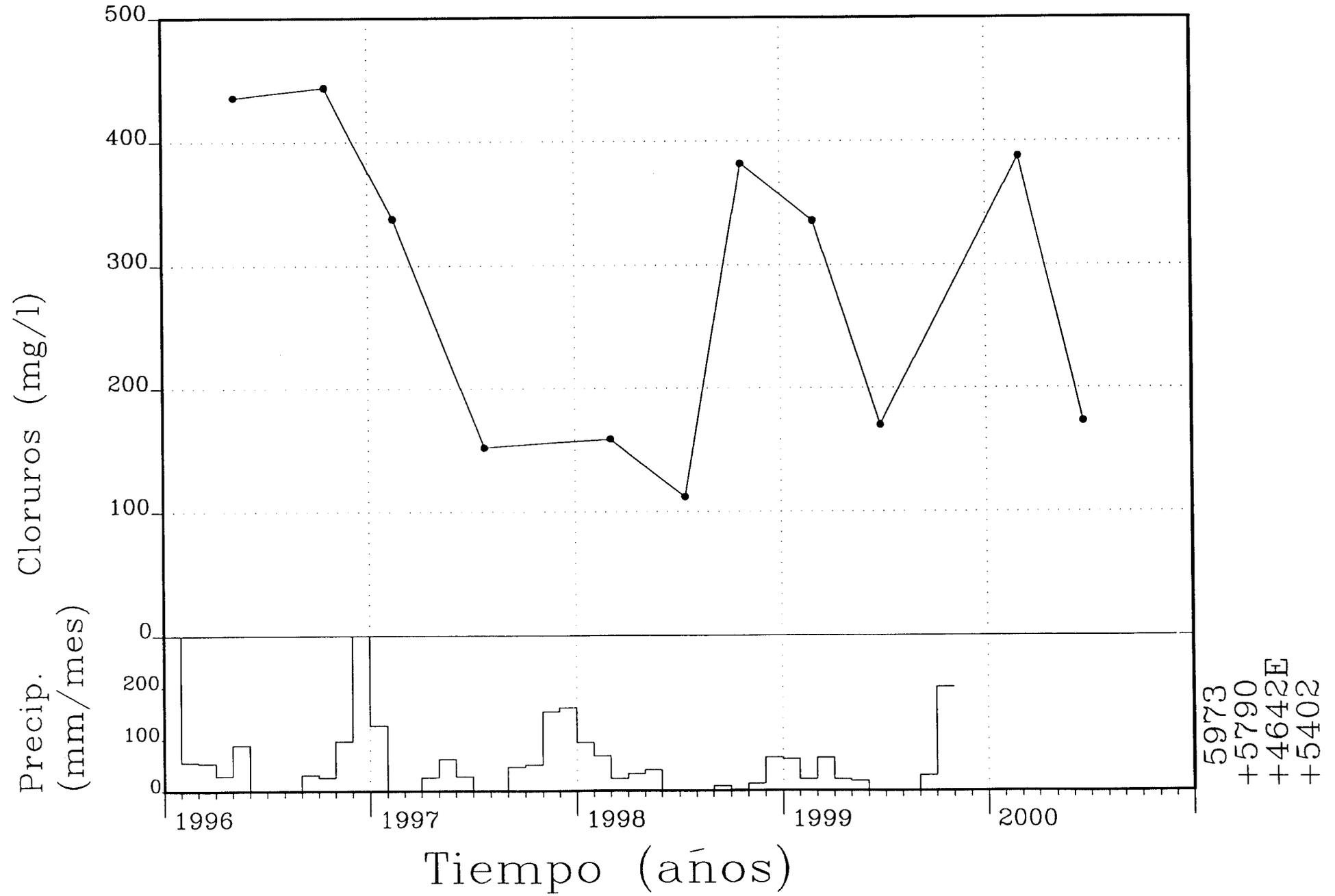
5973  
+5790  
+4642E  
+5402

Punto: 124770066

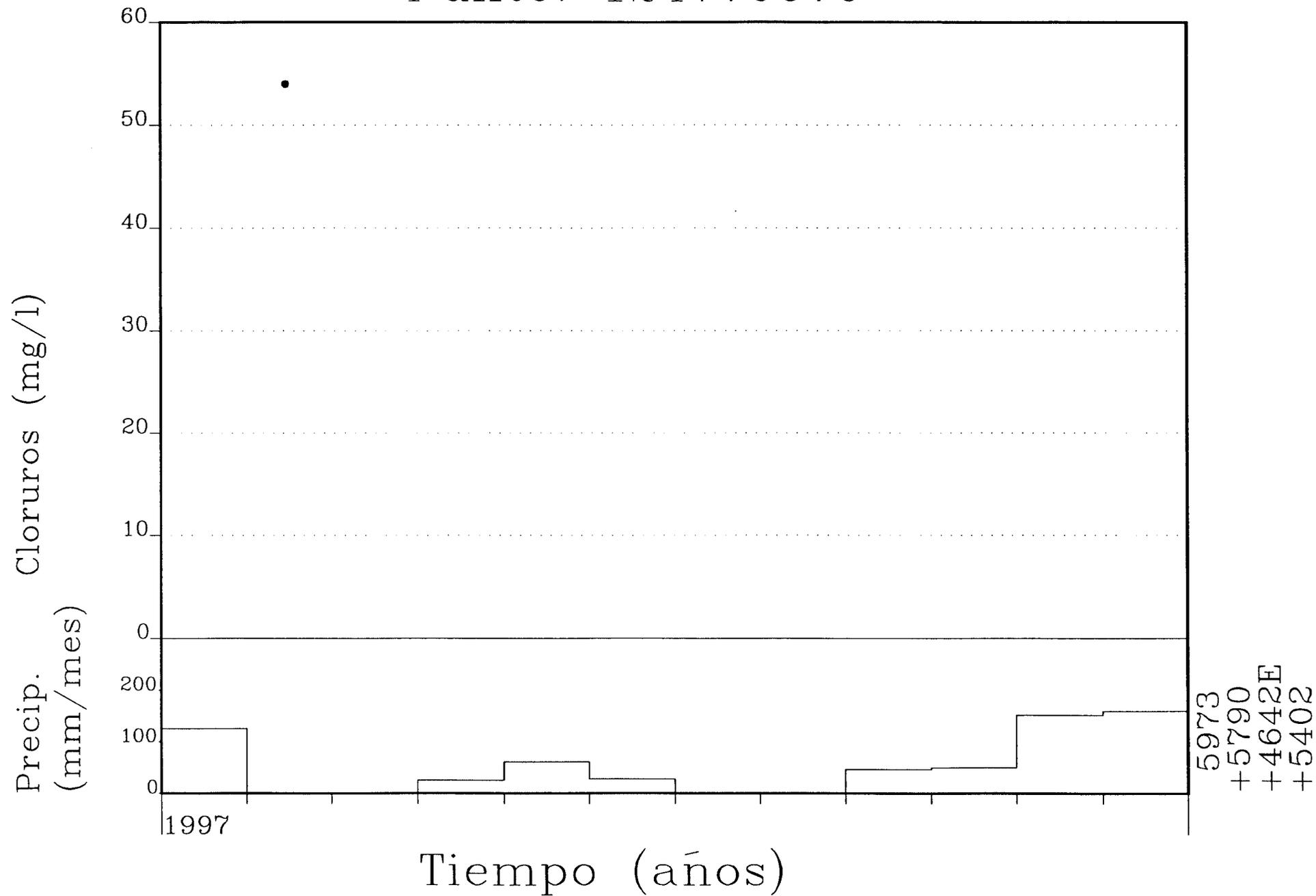




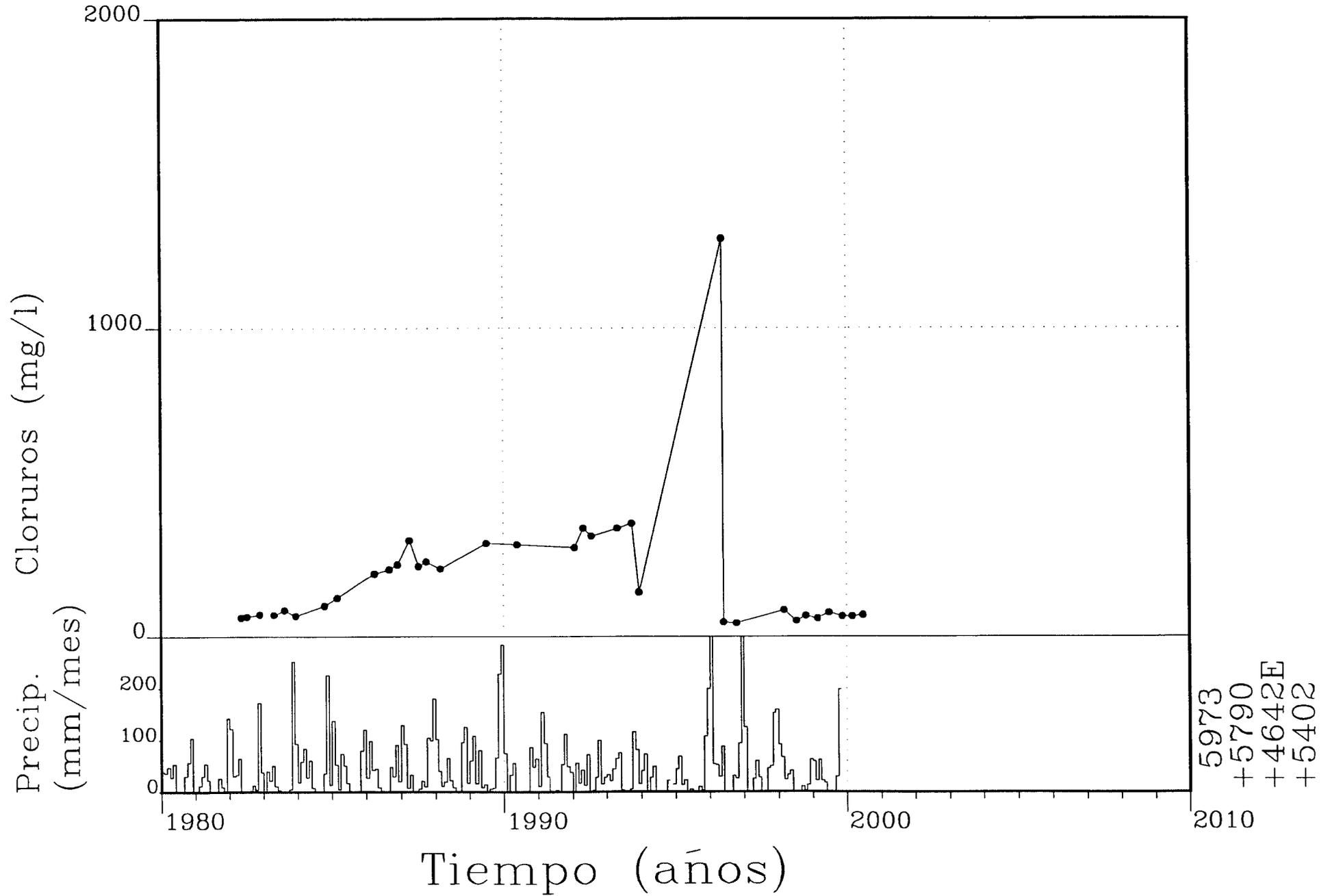
Punto: 124770068



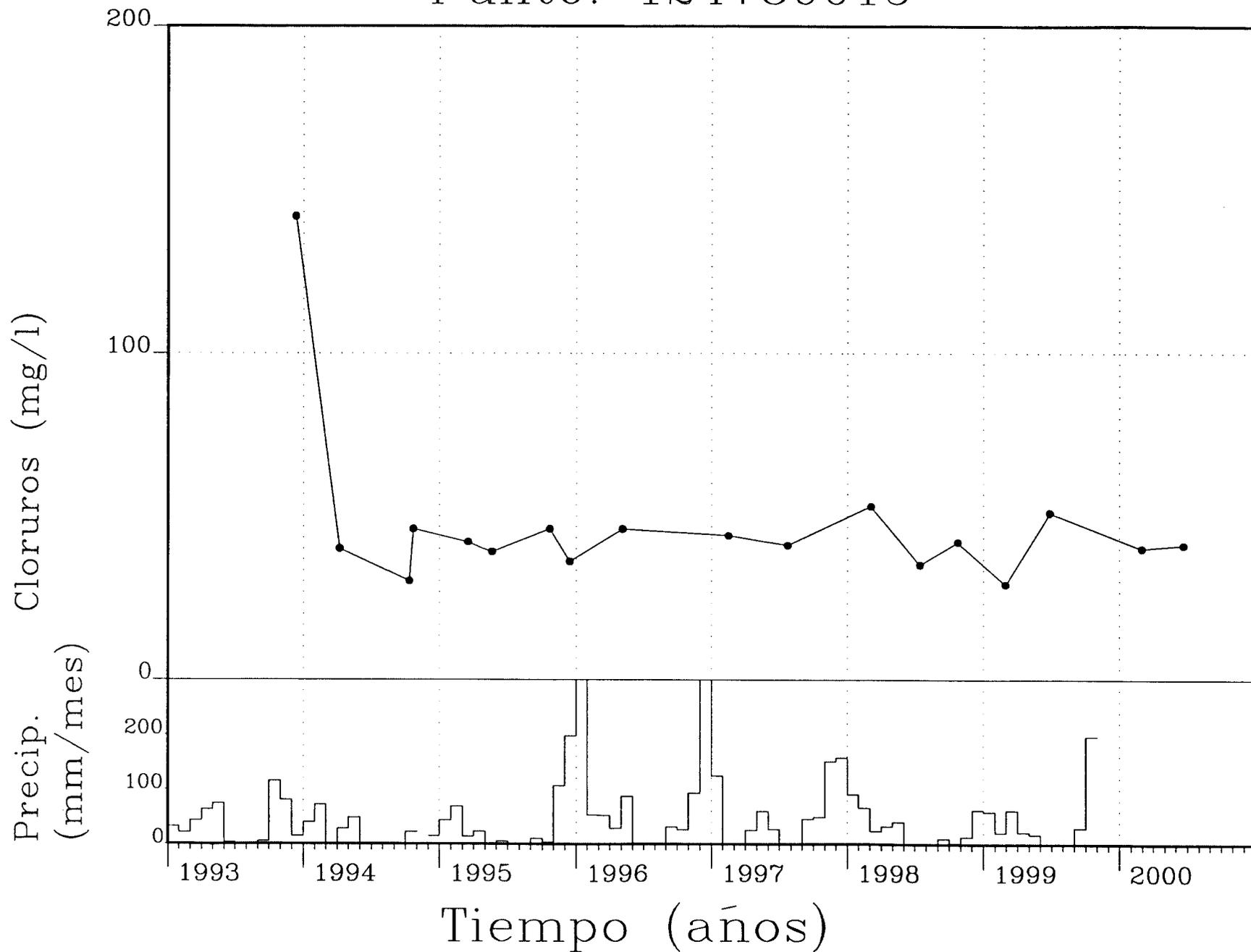
Punto: 124770070



Punto: 124780010



Punto: 124780015



5973  
+5790  
+4642E  
+5402

## 6 RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este volumen se han recogido los trabajos realizados en las cuencas atlánticas del Norte y Guadalquivir orientados a la mejora del conocimiento y control de la intrusión marina en los acuíferos costeros que comprenden, con objeto de reducir los problemas existentes. Los objetivos alcanzados se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Se recoge la información básica actualizada relativa a los fenómenos de intrusión marina en los acuíferos costeros de ambas cuencas, procedente de los distintos organismos o entidades que han realizado estudios o trabajos al respecto.
- Se determina la situación actual y se evalúa el grado de intrusión salina en los acuíferos costeros estudiados.
- Se analiza el origen y las causas de la intrusión en cada caso concreto y su relación con otros aspectos como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica.
- Se proponen actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.

A continuación se resume la situación en la cuenca Norte:

### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 01.09 CASTRO URDIALES-AJO

Se han detectado ciertos problemas por contenidos elevados en sales, probablemente en relación con la existencia de sondeos de explotación del agua subterráneas en las cercanías de la línea costera.

### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 01.11 SANTANDER

El volumen de las explotaciones subterráneas que se conocen en la zona costera es escaso por lo que se no se prevé a corto plazo ningún problema de intrusión. Sería recomendable un estudio más detallado de la calidad química de las aguas a fin de estudiar los posibles problemas en relación con vertidos de residuos sin depuración, en zonas de posible afección a las aguas subterráneas.

### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 01.15 SANTILLANA - SAN VICENTE DE LA BARQUERA

La calidad de las aguas subterráneas de la Unidad 01.15 en la zona costera es en general buena. No se ha detectado ningún problema de contaminación en los puntos analizados, cumpliendo todos ellos las especificaciones establecidas en la normativa vigente sobre calidad de aguas potables respecto a los parámetros medidos.

### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 01.16 LLANES-RIBADESELLA

En esta unidad no se ha detectado ningún problema de intrusión marina en los acuíferos costeros. El volumen de extracción es muy bajo o nulo y la recarga es elevada.

#### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 01.19 VILLAVICIOSA

Hasta el momento el volumen de extracción por bombeos es reducido en comparación con la recarga por lo que no es previsible a medio plazo que se presenten problemas en relación con procesos de intrusión marina.

#### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 01.24 SOMIEDO-TRUBIA-PRAVIA

Los pocos datos que se tienen de esta unidad parecen indicar que la calidad química de sus aguas subterráneas es en términos generales buena.

Y el estado de las unidades en la cuenca del Guadalquivir se puede resumir:

#### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 05.57 CHIPIONA - ROTA – SANLÚCAR

Presenta en la actualidad aguas de calidad mala con altos contenidos en sulfatos y productos nitrogenados como consecuencia de un uso abusivo de los fertilizantes agrícolas. En lo referente a la intrusión marina hay que destacar dos zonas especialmente afectadas, al sur de Chipiona, con concentraciones de cloruros superiores a los 3.000 mg/L, y entre las poblaciones de Sanlúcar y Chipiona con 700 mg/L. En ambos sectores el fenómeno de la intrusión salina se produce por las extracciones de agua subterránea para uso agrícola.

#### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 05.58 PUERTO DE SANTA MARÍA

Presenta en la actualidad aguas de calidad regular, excepto en el área de la Sierra de San Cristóbal donde es de calidad buena, con mineralización media y muy duras. Sin embargo no presenta afecciones importantes por la intrusión marina, siendo la evolución de los cloruros de total normalidad.

#### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 05.59 PUERTO REAL – CONIL

La tendencia observada hace pensar que de mantenerse las condiciones actuales de explotación de aguas subterráneas, puede producirse intrusión en la zona del Coto de San José y La Barrosa. Así mismo se puede producir un empeoramiento de la calidad del agua por los productos nitrogenados, empleados en las prácticas agrícolas.

#### UNIDAD HIDROGEOLOGICA 05.61 VEJER-BARBATE

No presenta en la actualidad problemas de abatimientos de niveles por explotación, por lo que no aparecen síntomas de afección por intrusión, a la luz de los datos aportados.