

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y  
PROBLEMATICA DE CALIDAD Y  
CONTAMINACION DEL ABASTECIMIENTO  
AL MUNICIPIO DE TUDELA.  
CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA DE  
LOS ACUIFEROS EXISTENTES EN EL MISMO

---



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

34214

<b>SUPER PROYECTO</b> Nº 9006	<b>AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA</b>
<b>PROYECTO AGREGADO</b>	335
<b>TITULO PROYECTO:</b>  Proyecto para la realización de estudios de asesoramiento en materia de aguas subterráneas a organismos de cuenca y comunidades autónomas en Navarra, País Vasco y La Rioja (Cuencas Norte y Ebro) 1990-91	
<b>SICOAN</b> 90404	<b>Nº DIRECCION</b> 22/90
<b>COMIENZO</b> 28/8/90	<b>FINALIZACION</b>

<b>INFORME</b> (Titulo):  "Estudio sobre el estado actual y problemática de calidad y contaminación de los abastecimientos a poblaciones situadas en el aluvial del Ebro y afluentes"  TUDELA	
<b>CUENCA (S) HIDROGRAFICA (S)</b>	EBRO
<b>COMUNIDAD (S) AUTONOMAS</b>	NAVARRA
<b>PROVINCIAS</b>	

## **INDICE**

---

# INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION . . . . .	7
2. EQUIPO TECNICO Y TRABAJOS REALIZADOS . . . . .	9
3. GEOLOGIA . . . . .	12
3.1. ESTRATIGRAFIA . . . . .	12
3.1.1. Terciario . . . . .	12
3.1.2. Cuaternario . . . . .	13
3.2. TECTONICA . . . . .	14
4. HIDROGEOLOGIA . . . . .	16
4.1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA . . . . .	16
4.2. GEOFISICA . . . . .	19
4.3. SONDEOS DE INVESTIGACION . . . . .	21
4.4. DEFINICION DE ACUIFEROS . . . . .	29
4.4.1. Características litológicas y geométricas de los acuíferos . . . . .	29
4.4.2. Piezometría . . . . .	31
4.4.3. Funcionamiento hidrogeológico . . . . .	32
5. SITUACION ACTUAL DE ABASTECIMIENTO URBANO . . . . .	35
5.1. CAPTACIONES EXISTENTES . . . . .	35
5.2. NUEVAS CAPTACIONES PREVISTAS . . . . .	35
5.3. INSTALACIONES DEL ABASTECIMIENTO . . . . .	36
6. ANALISIS DE LA DEMANDA DE AGUA . . . . .	41
6.1. DEMANDA DE AGUA PARA USO DOMESTICO . . . . .	41
6.2. DEMANDA DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL . . . . .	42
6.3. DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRICOLA . . . . .	42
6.4. DEMANDA TOTAL DE AGUA . . . . .	43

7.	<b>ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE AGUA (AÑO HORIZONTE 2.010)</b> . . . . .	45
7.1.	EVOLUCION DE LA POBLACION . . . . .	45
7.2.	CONSUMO FUTURO . . . . .	45
8.	<b>CARACTERIZACION HIDROQUIMICA DE LOS RECURSOS HIDRICOS</b> . . . . .	48
8.1.	INFORMACION RECOPIADA . . . . .	48
8.2.	CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES DE LA AGUAS SUBTERRANEAS . . . . .	49
8.2.1.	Facies químicas . . . . .	50
8.2.2.	Evolución temporal de la calidad . . . . .	51
8.2.3.	Diferencias geográficas de la calidad . . . . .	51
8.3.	CALIDAD QUIMICA DEL ABASTECIMIENTO URBANO . . . . .	54
9.	<b>ANALISIS DE LA SITUACION. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> . . . . .	57
9.1.	CANTIDAD . . . . .	57
9.2.	CALIDAD . . . . .	58

## **A N E X O S**

- 1. FOTOGRAFIAS**
- 2. ANALISIS QUIMICOS UTILIZADOS DURANTE EL ESTUDIO**
- 3. BOLETIN DEL ANALISIS FISICO-QUIMICOS REALIZADOS EN ORIGEN**
- 4. BOLETIN DEL ANALISIS BACTERIOLOGICO REALIZADO EN AL RED**

## **P L A N O S**

- 1. MAPA GEOLOGICO Y DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA EN EL TERMINO MUNICIPAL DE TUDELA**

## **1.- INTRODUCCION**

---

## 1.- INTRODUCCION

---

En los últimos años el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) ha firmado convenios de asistencia técnica en materia de aguas con todas las comunidades autónomas, a través de los cuales se coordinan los trabajos del Instituto y que, en ocasiones, son cofinanciados por las propias comunidades.

En este marco, algunos de los trabajos a realizar en la Comunidad Autónoma de Navarra se han planteado como estudios metodológicos sobre el abastecimiento de varias poblaciones, en los que se analiza su problemática actual y futura.

En el presente informe se aborda el caso concreto del Término Municipal de Tudela, exponiéndose toda la información conocida y relativa a las características geológico-hidrogeológicas de los acuíferos existentes en el municipio y a la calidad de los recursos hídricos de los mismos. Se analizan, además, la situación actual del abastecimiento (captaciones existentes, instalaciones de abastecimiento, etc.) y la demanda futura de agua con el fin de dilucidar necesidades actuales o futuras. Así mismo se realizan las recomendaciones que se consideran oportunas para solventar estas necesidades.

## **2.- EQUIPO TECNICO Y TRABAJOS REALIZADOS**

---

## 2.- EQUIPO TECNICO Y TRABAJOS REALIZADOS

---

La supervisión y dirección técnica del ITGE ha sido realizada por D. Miguel del Pozo Gómez (Geólogo).

El presente estudio ha sido realizado por Compañía General de Sondeos, S.A. (C.G.S.) que ha aportado el siguiente equipo técnico:

- D. Juan Olivares Taléns (Geólogo): responsable técnico del estudio.
- D. Juan Carlos González LLamazares (Geólogo): interpretación de la información recopilada, encuesta de abastecimiento en las oficinas municipales, toma de datos en campo y muestreo químico, elaboración del informe final.
- Dña. Regina Rodríguez Santisteban (Geóloga): interpretación de los análisis químicos recopilados y realizados durante el estudio, redacción del capítulo de hidroquímica.

La información de los análisis químicos que se han utilizado ha sido aportada por D. Esteban Faci, geólogo, del Servicio de Obras Públicas del Gobierno de Navarra, a quién agradecemos su colaboración.

Los principales trabajos realizados han sido los siguientes:

- Análisis de la información recogida en los siguientes estudios:
  - "Proyecto Hidrogeológico de Navarra, 2ª fase". Excma. Diputación Foral de Navarra. Dirección de Obras Públicas. Diciembre de 1.981.
  - "Estudio de calidad de agua del Aluvial de Ebro y Afluentes y protección del acuífero y las captaciones contra la contaminación". Realizado por INTECSA para el Servicio de Obras Públicas del Gobierno de Navarra. Diciembre de 1.988.

- . Base de datos de la red de calidad de aguas subterráneas del Gobierno de Navarra.
- Encuesta en las oficinas municipales y visitas a los puntos de captación, depósitos reguladores, etc.
- Toma de muestras para análisis químicos en origen.
- Evaluación de las necesidades de agua actuales y futuras.
- Valoración de los recursos hídricos subterráneos existentes en cuanto a cantidad y calidad.
- Elaboración del informe final.

### **3.- GEOLOGIA**

---

### **3.- GEOLOGIA**

---

El Término Municipal de Tudela se sitúa en la Depresión del Ebro. Los materiales aflorantes son en su totalidad de origen continental y pertenecen al Terciario y Cuaternario.

En el sector estudiado los depósitos terciarios están constituidos esencialmente por calizas, arcillas y limos. Estos materiales se depositaron durante el Mioceno.

Los depósitos cuaternarios se disponen en un sistema de terrazas asociadas al Río Ebro. Las litologías varían desde gravas y arenas hasta limos y arcillas sin consolidar.

#### **3.1.- ESTRATIGRAFIA**

##### **3.1.1.- Terciario**

En el mapa geológico (plano nº 1), se distingue únicamente una unidad terciaria (unidad 1), que en la bibliografía consultada se ha definido como Formación Tudela.

Está constituida por arcillas y calizas, con un predominio claro de las arcillas, que siempre son calcáreas.

Las capas de caliza son menos abundantes en la base y se van haciendo más potentes y más densas hacia arriba. Normalmente varía entre 10 y 50 cm. aunque en algún caso superan los 2 m.

Intercaladas entre las arcillas se encuentran también algunas capas de arenisca, especialmente abundantes en la parte baja de la formación. son areniscas muy calcáreas con cemento carbonatado.

Se han medido potencias superiores a los 300 m.

### **3.1.2.- CUATERNARIO**

Los depósitos cuaternarios constituyen un sistema de terrazas muy desarrollado. Dichas terrazas se agrupan normalmente de un forma más o menos arbitraria en función de sus características litológicas, morfológicas y de su altitud relativa con respecto al Ebro.

#### ***Unidad 2***

En esta unidad se agrupan diversas terrazas colgadas que se sitúan a una altura de al menos 10 m. sobre el nivel actual del río Ebro.

Están constituidas fundamentalmente por gravas, con arenas, limos y arcilla en la parte más alta.

#### ***Unidad 3***

Corresponde a un nivel de terraza situado entre 5 y 10 m. sobre el nivel actual del río.

Consta normalmente de gravas, arcillas y limos con lentejones de arena.

#### ***Unidad 4***

Constituye la terraza de inundación actual o llanura aluvial del río Ebro.

Al igual que la unidad 3, está formada fundamentalmente por gravas y limos con abundantes lentejones de arena.

Se observan con frecuencia meandros abandonados que indican la constante movilidad del cauce del río Ebro.

### **3.2.- TECTONICA**

En esta zona el Terciario Continental se presenta formando una serie monoclinal con buzamientos muy suaves de 3 a 4 grados hacia el sur.

Los pliegues visibles en muchos sectores de la Depresión del Ebro, originados por la migración de sales que producen trastornos en la sedimentación miocena, tienen muy poca intensidad en esta zona. La falta de materiales evaporíticos oligocenos y la gran masa de sedimentos miocenos acumulados, hacen que los efectos de esta migración de sales queden muy amortiguadas.

## **4.- HIDROGEOLOGIA**

---

## 4.- HIDROGEOLOGIA

---

La mayor parte del municipio de Tudela se encuentra incluido en la "Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y afluentes", definida en el "Estudio Hidrogeológico de Navarra".

En esta unidad se incluyen todas las terrazas de origen fluvial asociadas al río Ebro y sus afluentes en Navarra y se sitúan a diferentes niveles con respecto al actual del río.

A continuación se expone toda la información recopilada para el municipio de Tudela que permite definir los acuíferos existentes y su geometría y funcionamiento hidrogeológico.

### 4.1.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Se ha podido disponer de información de diecinueve puntos de agua (trece pozos, un sondeo y 5 manantiales).

En el cuadro nº1 se presenta un resumen con las principales características de estos puntos.

En este cuadro se identifica cada punto con el código de inventario con el que figura en los archivos del Gobierno de Navarra.

En el plano nº1 están situados estos puntos, además de estos, se ha recopilado la información de otros cinco sondeos que no están recogidos en los archivos del Gobierno de Navarra y que se expondrán en el apartado 4.3. de este informe.

Nº INVEN.	FECHA	X	Y	COTA	NATUR.	PROF. (m)	NIVEL (m)	Q. (l/s)	LI-TOL.	USO	EXT. ANUAL (Dm <sup>3</sup> )	Nº. A.Q.	OBSER.
2512-3-210	13/07/88	614500	4666550	252	Manantial				Gravas	Sin uso			
2512-3-212	13/07/88	615270	4664950	270	Manantial			1,5	Gravas	Riego			
2512-3-213	13/07/88	614220	4666050	273	Manantial			7	Gravas	Riego			
2512-3-214	13/07/88	613850	4666550	273	Manantial			0.5	Gravas	Riego			
2512-4-206	14/07/88	617500	4666400	259	Pozo	9	1		Gravas	Sin uso			
2512-4-207	13/07/88	616150	4664550	257	Manantial			34	Gravas	Riego			
2512-4-208	15/07/88	617000	4661700	259	Pozo	5.5	4.15		Gravas	Riego			
2512-7-216	14/07/88	615050	4655250	290	Pozo	5.45	2.78		Gravas	Doméstico			
2512-8-229	15/07/88	617050	465990	255	Pozo	5.50	1.91		Gravas	Ganadería			
2512-8-230	15/07/88	616850	4659700	253	Pozo	3.20	1.5		Gravas	Doméstico			
2512-8-231	15/07/88	616900	4659650	253	Pozo	3.20	1.3		Gravas	Doméstico y Riego			
2512-8-232	16/07/88	616300	4658550	254	Pozo	5.20	3.01		Gravas	Riego			
2512-8-233	16/07/88	616800	4658450	253	Pozo	3.30	1.82		Gravas	Doméstico			
2512-8-234	16/07/88	617150	4658250	251.50	Pozo	3.60	1.20		Gravas	Doméstico			
2512-8-235	24/07/88	615700	4659800	250.86	Pozo	8.08	4.41	170	Arenas Gravas	Abasteci- miento	4.057	5	Abast. a Tudela
2512-8-237	14/07/88	617050	4655150	273	Pozo	5.46	1		Arenas	Industrial	34	1	
2512-8-238	14/07/88	616950	4654870	275	Pozo	10.1	3.72		Gravas	Ganadería	4		
2512-8-241	14/09/88	616650	4658210	254	Pozo	7.8	1.8		Gravas	Doméstico			

2512-8-246	15/09/88	616300	4658100	254	Sondeo	15.90	5.21	4	Gravas	Sin uso			
------------	----------	--------	---------	-----	--------	-------	------	---	--------	---------	--	--	--

CUADRO I.- Resumen del inventario de puntos de agua

Las profundidades de los pozos y sondeo inventariados oscila entre los 3 y los 16 m.

Con la excepción del punto 2512-8-236, que abastece a Tudela, en el resto de puntos las extracciones son pequeñas debido a que su utilización se limita normalmente a riego de pequeñas huertas o al uso doméstico.

#### 4.2.- GEOFISICA

Se ha podido disponer de la información procedente de diversas campañas de investigación geofísica. En concreto los perfiles P-5 y P-4 corresponden a la campaña realizada por la Compañía General de Sondeos dentro del "Proyecto Hidrogeológico de Navarra", de Julio de 1.972 y realizada por encargo del Servicio de Obras Públicas. Sección de Recursos Hidráulicos y Geología de la Excm. Diputación Foral de Navarra.

Los perfiles P-F; P-G; P-H y P-I corresponden a una campaña de investigación geofísica realizada por Compañía General de Sondeos dentro del "Estudio Hidrogeológico del Aluvial del Ebro entre las poblaciones de Lodosa y Cortes", 1.991 y realizado para el Servicio Geológico de Obras Públicas.

Por lo que respecta a los aluviales, en el primero de los informes citados, se establecen los siguientes rangos de resistividad:

- Resistivades menores a 20 Ohm.m.: materiales arcillosos.
- Resistividades entre 30 y 150 Ohm.m.: arenas y limos.
- Resistividades entre 200 y 1.000 Ohm.m.: gravas y arenas más o menos limpias.
- Resistividades entre 1.000 y 2.000 Ohm.m.: gravas limpias (o secas)
- Resistividades mayores de 2.000 Ohm.m.: zonas superficiales más secas o influidas por yesos.

La situación de los sondeos eléctricos verticales (SEV) queda reflejada en la figura nº 1 a escala 1:50.000.

La representación de los perfiles puede observarse en las figuras nº 2 como comentarios de interés hidrogeológico cabe señalar:

- 1.- El perfil P-5 aparece dividido por el río Ebro con dos zonas claramente diferenciadas. La situada al Este entre los SEV 6 y 12 se caracteriza por los pequeños valores de resistividad, en ningún caso superiores a 350 Ohm.m. Esta zona corresponde a la actual llanura de inundación y está constituida en gran porcentaje por materiales finos: arcillas predominando sobre limos.

La parte Oeste del perfil está constituida por una pequeña parte de la llanura de inundación y por dos terrazas que descansan sobre un substrato arcilloso situado a unos 10 m. La terraza más próxima al río presenta elevados valores de resistividad (2.000 Ohm.m.). Esta zona de los SEV 13 y 14 debe de estar constituida por gravas con pocos finos lo que unido a su posible conexión hidráulica con el río lo convierten en una zona de interés hidrogeológico.

La segunda terraza presenta también un nivel resistivo (1.000 Ohm.m.) con unos 5 m. de potencia y es, asimismo, zona de interés.

- 2.- El perfil P-4 presenta un corte geoelectrico de tres capas de las que la segunda es la más resistiva estando el substrato arcilloso a una profundidad de 10-15 m. y con valores de 3-7 Ohm.m. En general, todo el corte corresponde a formaciones limo-arcillosas salvo en el SEV 8 en que aparece un lentejón con resistividad de 200 Ohm.m. que indica un mayor contenido en gravas.

- 3.- De los perfiles P-F; P-G; P-H Y P-I cabe decir:

- \* P-F: potencia del aluvial entre 5 y 12 m. Alto contenido en gravas en todo el perfil. El valor tan alto en resistividad del basamento en el SEV 1 es el que más se ajusta a la curva de campo.
- \* P-G: los SEV n°1 y 3 con 18 y 36 m. de aluvial respectivamente, no muestran la presencia de gravas e inducen a pensar en arenas, limos e incluso arcillas. El SEV n° 2, por el contrario, si corresponde a gravas.
- \* P-H: se detectan gravas en los SEV n° 2 y 4. En los SEV n° 1 y 2, disminuye el porcentaje de gravas y debe de tratarse de arenas. La potencia de aluvial varían entre 12 y 20 m.
- \* P-I: valores muy homogéneos en todo el perfil en cuanto a potencias y calidades del aluvial así como a la naturaleza del basamento. Arenas y limos conforman el resistivo con potencias que oscilan de 10 a 20 m.

#### 4.3.- SONDEOS DE INVESTIGACION

Se dispone de información detallada de seis sondeos. Cinco de ellos fueron realizados en 1.982 y 1.985 por el Servicio de Obras Públicas del Gobierno de Navarra. El otro corresponde a un sondeo de investigación realizado por INTECSA para el Gobierno de Navarra y que se pueden localizar en el plano n°1 con el código 2512-8-246.

##### *Sondeo P1*

##### **Características técnicas:**

Se perforó en 1.982 a percusión con un diámetro de 700 mm. hasta una profundidad total de 16 m.

Se entubó con tubería de acero de 500 mm. de diámetro interior con las siguientes características:

- 0-4,5 m.: tubería ciega
- 4,5-10,5 m.: filtro puentecillo
- 10,5-16 m.: tubería ciega.

El espesor de los depósitos aluviales es de 10,5 m.

#### **Resultados del ensayo de bombeo:**

- Nivel estático: 5,91 m. (referencia +0,76 m. del suelo)
- Duración del bombeo: 8 horas
- Nivel dinámico: 6.74 m. sin tendencia a estabilizarse
- Descenso: 0,83 m.
- Caudal: 11 l/seg.

#### ***Sondeo P2***

#### **Columna litológica:**

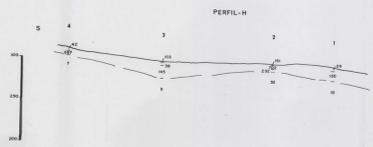
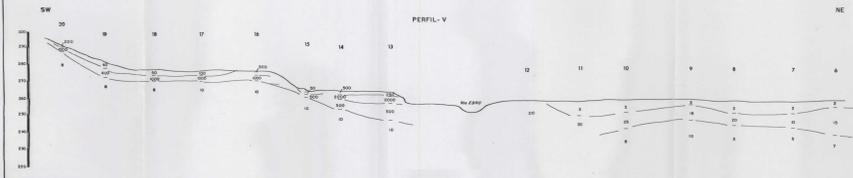
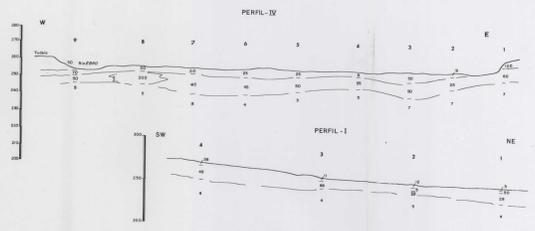
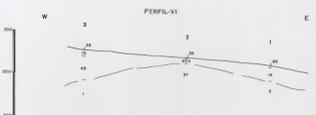
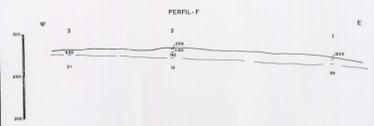
- 0-3 m.: limos y arcillas
- 3-9 m.: gravas y arenas
- 9-13m.: arcillas rojas (substrato impermeable)

#### **Características técnicas:**

Perforado en 1.982 a percusión y con un diámetro de 700 mm. Entubado con un diámetro interior de 500 mm y las siguientes características

- 0-3 m.: tubería ciega
- 3-9 m.: puentecillo
- 9-13 m.: tubería ciega





**LEYENDA**  
 (Z) S.E.V.  
 90 Valor de la resistividad en ohm m.  
 ESCALA: H. 1/20.000  
 V.M. 1:5000

Figura 2.- PERFILES GEOELÉCTRICOS EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE TUDELA

**Resultados del ensayo de bombeo:**

- Nivel estático (en recuperación): 3,38 m. (referencia: superficie del terreno).
- Nivel dinámico: 4,93 m.
- Descenso: 1,55 m.
- Caudal: 40 l/seg.
- Transmisividad: 4.000 m<sup>2</sup>/día
- Permeabilidad: 700 m/día

***Sondeo P3*****Columna litológica:**

- 0-5 m.: limos y arcillas
- 5-6 m.: arcillas y gravas
- 6-10,5 m.: gravas y arenas
- 10,5-16,5 m.: arcillas rojas (substrato impermeable)

**Características técnicas:**

Perforado en 1.985 a percusión y con un diámetro de 700 mm. Entubado con un diámetro interior de 650 mm y las siguientes características

- 0-6 m.: tubería ciega
- 6-10,5 m.: filtro puentecillo 2 1/2 mm.
- 10,5-16,5 m.: tubería ciega

Nivel estático: 5 m. con respecto a la superficie del terreno.

**Resultados del ensayo de bombeo:**

- Nivel estático: 4,68 m. (crecida del Ebro).
- Nivel dinámico: 8,25 m.
- Descenso: 3,57 m.
- Caudal: 18 l/seg.
- Transmisividad: 1.400 m<sup>2</sup>/día
- permeabilidad: 280 m/día

***Sondeo P4*****Columna litológica:**

- 0-3 m.: limos y arcillas
- 3-4 m.: arcillas y gravas
- 4-7,5 m.: gravas, arenas y limos
- 7,5-14 m.: arcillas rojas (substrato impermeable)

**Características técnicas:**

Perforado en 1.985 a percusión y con un diámetro de 700 mm. Entubado con un diámetro interior de 650 mm y las siguientes características

- 0-3,23 m.: tubería ciega
- 3,23-7,79 m.: puentecillo 2 1/2 mm.
- 7,79-14 m.: tubería ciega

Nivel estático: 2,23 m. con respecto a la superficie del terreno.

**Resultados del ensayo de bombeo:**

- Nivel estático: 2,72 m. (crecida del Ebro).
- Nivel dinámico: 4,58 m.
- Descenso: 1,86 m.
- Caudal: 10 l/seg.
- Transmisividad: 680 m<sup>2</sup>/día
- Permeabilidad: 170 m/día

### ***Sondeo P5***

#### **Columna litológica:**

- 0-2 m.: limos y arcillas
- 2-4 m.: grava, arena y arcilla
- 4-7,5 m.: grava y arena
- 7,5-13,8 m.: arcillas rojas (substrato impermeable)

#### **Características técnicas:**

Perforado en 1.985 a percusión y con un diámetro de 700 mm. Entubado con un diámetro interior de 550 mm y las siguientes características

- 0-3,18 m.: tubería ciega
- 3,18-7,72 m.: puentecillo 2 1/2 mm.
- 7,72-13,80 m.: tubería ciega

#### **Resultados del ensayo de bombeo:**

- Nivel estático: 2,68 m. (crecida del Ebro).
- Nivel dinámico: 3,97 m.
- Descenso: 1,29 m.
- Caudal: 40 l/seg.

### **Bombeo simultáneo de los pozos P5 y P2:**

- Nivel estático P5: 2,86 m.
- Nivel dinámico P5: 4.36 m.
- Descenso P5: 1,50 m. (sin estabilizar)
- Caudal P5: 40 l/seg.
- Nivel estático P2: 3.50-3.70 m.
- Nivel dinámico P2: 6.49 m.
- Descenso P2: 2,99 m.
- Caudal P5: 47 l/seg.
- Transmisividad  $\geq 4.000 \text{ m}^2/\text{día}$
- Permeabilidad  $\geq 800 \text{ m/día}$

### **Sondeo P1 (Intecsa)**

#### **Columna litológica:**

- 0-6,5 m.: arcilla marrón (100%)
- 6,5-8,5 m.: arcilla marrón (95%) y grava media (5%)
- 8,5-9 m.: arcilla marrón (60%) y arena muy fina (40%)
- 9-10 m.: arcilla marrón (100%)
- 10-12 m.: grava media-gruesa (90%), arcilla y arena muy fina (10%)
- 12-16 m.: arcilla marrón (100%)

#### **Características técnicas:**

Perforado en 1.988 a percusión y con un diámetro de 400 mm. Entubado con un diámetro interior de 180 mm y las siguientes características

- 0-8 m.: tubería ciega
- 8-13 m.: tramo filtrante

- 13-16 m.: tubería ciega

#### **Resultados del ensayo de bombeo:**

- Duración: 10 horas
- Nivel estático: 5,75 m. (crecida del Ebro).
- Nivel dinámico: 9,48 m.
- Descenso: 3,7 m.
- Caudal: 4 l/seg.

#### **4.4.- DEFINICION DE ACUIFEROS**

Los materiales de permeabilidad alta aflorantes en el municipio corresponden a los depósitos de origen fluvial cuaternarios (unidades 2, 3 y 4). Los depósitos terciarios son impermeables o de permeabilidad muy baja y constituyen el substrato impermeable sobre el que se asientan los materiales acuíferos existentes en Tudela.

Las unidades geológicas cuaternarias mencionadas se pueden definir también como acuíferos distintos, que presentan algunas características diferenciadoras, aunque estén interconectados entre sí.

#### **4.4.1.- CARACTERISTICAS LITOLOGICAS Y GEOMETRICAS DE LOS ACUIFEROS**

##### ***Unidad 4***

Corresponde a la terraza actual o llanura de inundación.

Según los datos expuestos hasta ahora está constituida por materiales detríticos sueltos según una secuencia vertical de gravas y arenas gruesas en la base y limos y arcillas en los niveles superficiales. Esta secuencia puede variar en detalle debido a cambios de facies laterales que disponen los materiales de diferente granulometría según lentejones más o menos continuos y con distinta envergadura. Estos lentejones se han detectado con mucha frecuencia a lo largo del acuífero aluvial. Esto origina una heterogeneidad importante en el acuífero, en cuanto a su permeabilidad y transmisividad, que se ha detectado en los ensayos de bombeo realizados.

La potencia calculada en los perfiles geofísicos y sondeos de investigación oscila normalmente entre los 10 y 15 m. La superficie de contacto con el substrato impermeable es bastante regular.

El acuífero está limitado tanto por los materiales permeables de las otras unidades cuaternarias como por impermeables terciarios.

### *Unidad 3*

Corresponde a la terraza encajada que se sitúa a 5/10m. por encima del nivel del río.

Las características litológicas son similares a las de la unidad 4. La transición con esta unidad está marcada por un escarpe abrupto.

En los perfiles geofísicos se observa una horizontalidad bastante homogénea del substrato impermeable bajo esta terraza. Se observa también un ascenso brusco en el substrato, similar al de superficie, en la zona de contacto de las dos unidades. Esto implica unos espesores, al menos en este sector, bastante constante de unos

10 m. En otros sectores no se ha constatado si esta potencia es también constante o no.

### *Unidad 2*

Corresponde a las terrazas colgadas que se sitúan a 10/20 m. sobre el nivel del río.

Las características litológicas son similares a las unidades anteriores. La transición con ellas se produce también a través de un escarpe abrupto.

En los perfiles geofísicos se observa también un ascenso del substrato bastante brusco y similar de cota al salto que existe en superficie. Las potencias son también de unos 10 m. en esta terraza.

#### **4.4.2.- PIEZOMETRIA**

En la unidad 4 el nivel piezométrico se sitúa próximo a la superficie topográfica y presenta oscilaciones estacionales que suelen variar entre 3 y 4 m. generalmente.

En la unidad 3 la cota absoluta del nivel piezométrico es similar y con oscilaciones estacionales del mismo orden que en el caso anterior.

Las fluctuaciones piezométricas están influidas fundamentalmente, por el nivel de agua en el río Ebro. En zonas sometidas a riego intensivos se pueden originar afecciones en los niveles debido a los excedentes de riego.

La morfología de la superficie piezométrica elaborada con los datos de puntos situados en ambas márgenes del Ebro, contenida en el "Estudio Hidrogeológico

de Navarra", muestra que el flujo subterráneo se realiza según líneas convergentes hacia el cauce del río, que actúa como área de drenaje del acuífero durante la mayor parte del año, excepto en épocas de fuertes crecidas en las que temporalmente el río aumenta el acuífero.

#### 4.4.3.- **FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO**

La unidad 4 constituye un acuífero libre formado por materiales no consolidados y permeables por porosidad.

La recarga del acuífero se produce a partir de cinco factores fundamentales:

- Precipitación directa sobre los mismos.
- Alimentación subterránea procedente de la unidades 2 y 3 a través de las zonas de contacto entre ellos.
- Infiltración de la escorrentía superficial procedente de los materiales impermeables terciarios.
- Infiltración procedente de los excedentes de riego.
- Infiltración en las márgenes del río por crecidas y desbordamientos.

El río Ebro actúa como área de drenaje durante la mayor parte del año excepto en épocas de crecidas en las que puede producir recarga. La circulación subterránea se realiza, por lo tanto, preferentemente según líneas convergentes al cauce en el sentido de circulación del río.

El contacto entre las unidades acuíferas se realiza generalmente a través de un escarpe existiendo normalmente conexión entre ellas, aunque el hecho de que también ascienda el substrato en la zona de contacto implica que en épocas de estiaje la citada conexión sea deficiente o incluso queden desconectadas. Los manantiales inventariados al Norte de Tudela pueden corresponder a umbrales originados por la elevación del substrato.

En régimen de explotación del acuífero, con captaciones relativamente próximas al río, este actúa como barrera positiva con potencial hidráulico constante. Esto indica que el caudal extraído procede, a partir de un cierto tiempo, del caudal aportado por el río, según un proceso de recarga inducida. Dada la alta permeabilidad de los materiales, la conexión hidráulica con los cauces superficiales se produce de forma eficaz y las captaciones pueden proporcionar caudales elevados con depresiones reducidas y niveles prácticamente estabilizados. A pesar de ello, debido al reducido espesor saturado (5-6 m.), es aconsejable la explotación del acuífero mediante pozos radiales que, pese a su mayor costo, tienen un mayor rendimiento con descensos mucho menores. Este hecho se ha podido comprobar mediante los pozos de investigación y el actual pozo de abastecimiento de Tudela.

Las unidades 2 y 3 constituyen igualmente un acuífero libre, permeable por porosidad, pero sin conexión hidráulica con el cauce superficial. Con la excepción de este último factor, la recarga se produce del mismo modo que en el caso anterior. La descarga se efectúa hacia la unidad 4, siendo este aspecto el de mayor interés hidrogeológico.

## **5.- SITUACION ACTUAL DEL ABASTECIMIENTO URBANO**

---

## 5. SITUACION ACTUAL DE ABASTECIMIENTO URBANO

---

En la figura nº 3 se puede observar la localización de las captaciones de aguas, y salidas de la red de saneamiento.

### 5.1.- CAPTACIONE EXISTENTE

Tudela se abastece actualmente de un pozo diferenciado con el código 2512-8-236 en el inventario de puntos de agua (plano nº 1). Además de este pozo, está previsto por el Ayuntamiento llevar a cabo una toma de agua en el Río Ebro y otra en el Canal de Lodosa que entrarán en funcionamiento a corto plazo. Las características de estas tomas se describen en el apartado 5.2. Las principales características de este pozo son las siguientes:

#### *Pozo Fehlmann*

- Año de construcción: 1.985
- Profundidad del pozo: 8.08 m.
- Diámetro: 3.000 mm. Es un pozo de tipo Fehlmann con 16 galerías en el fondo de 30 m. de longitud y 200 mm. de diámetro.
- Protecciones: caseta de ladrillo con puerta metálica. El brocal tiene 5,13 m. de altura.
- Cota: 250,86 m.
- Equipamiento: dos bombas con una capacidad de extracción de 170 l/seg.
- Observaciones: el máximo caudal de explotación es de 170 l/seg.

### 5.2.- NUEVAS CAPTACIONES PREVISTAS

Aunque todavía no se han acometido, las características de estas tomas, según proyecto, son las siguientes:

***Captación del Ebro:***

- Volumen de bombeo: 300 l/seg.
- Equipamiento: 3 bombas de 375 CV y una capacidad de extracción de 150 l/seg. cada una. Una de ellas se mantiene como reserva.
- Cota de la toma: 215 m.
- Cota del fondo del aljibe: 250,02 m.
- Diámetro de la impulsión: 600 mm.
- Distancia al depósito regulador: 1.978 m.

***Captación del Canal de Lodosa:***

- Volumen de bombeo: 368 l/seg.
- Equipamiento: 3 bombas con una capacidad de 184 l/seg. cada una. Una de ellas se mantiene como reserva.
- Cota del fondo del aljibe: 299,1 m.
- Volumen de la bomba de espera: 6.000 m<sup>3</sup>
- Cota de la solera de la bomba: 600 m.
- Diámetro de la impulsión: 600 mm.
- Distancia al depósito regulador: 1.643 m.

**5.2.- INSTALACIONES DEL ABASTECIMIENTO*****Depósitos de "El Canraso":***

- Año de construcción: 1.965 y 1.968
- Cota: 367,750
- Capacidad: 3.000 m<sup>3</sup> cada una
- Estado general: bueno, sin fugas
- Calado: 4 m.
- Dimensiones: 39,6 x 39,6 x 4 m.

***Depósito de Sta. Quiteria:***

- Año de construcción: 1.975
- Cota: 320 m.
- Capacidad: 3.000 m<sup>3</sup>
- Estado general: bueno, sin fugas

***Depósito de tratamiento:***

- Año de construcción: 1.991
- Cota: 360,65
- Capacidad: 19.800 m<sup>3</sup> dividido en dos de 9.900 m<sup>3</sup> cada uno
- Calado: 3 m.
- Dimensiones: 60,15 x 55,30 x 3 m.
- Observaciones: actualmente en construcción

***Características de la distribución***

Las conducciones entre los depósitos y las captaciones se encuentran en buen estado y prácticamente no se detectan averías. Tienen un diámetro de 400 mm entre el pozo y las captaciones y de 600 mm. en los otros dos casos.

La red de distribución tiene 40 km. de longitud aproximadamente. Entre 1.980 y 1.990 se han ido renovando numerosos tramos aunque todavía hay.

***Control Sanitario***

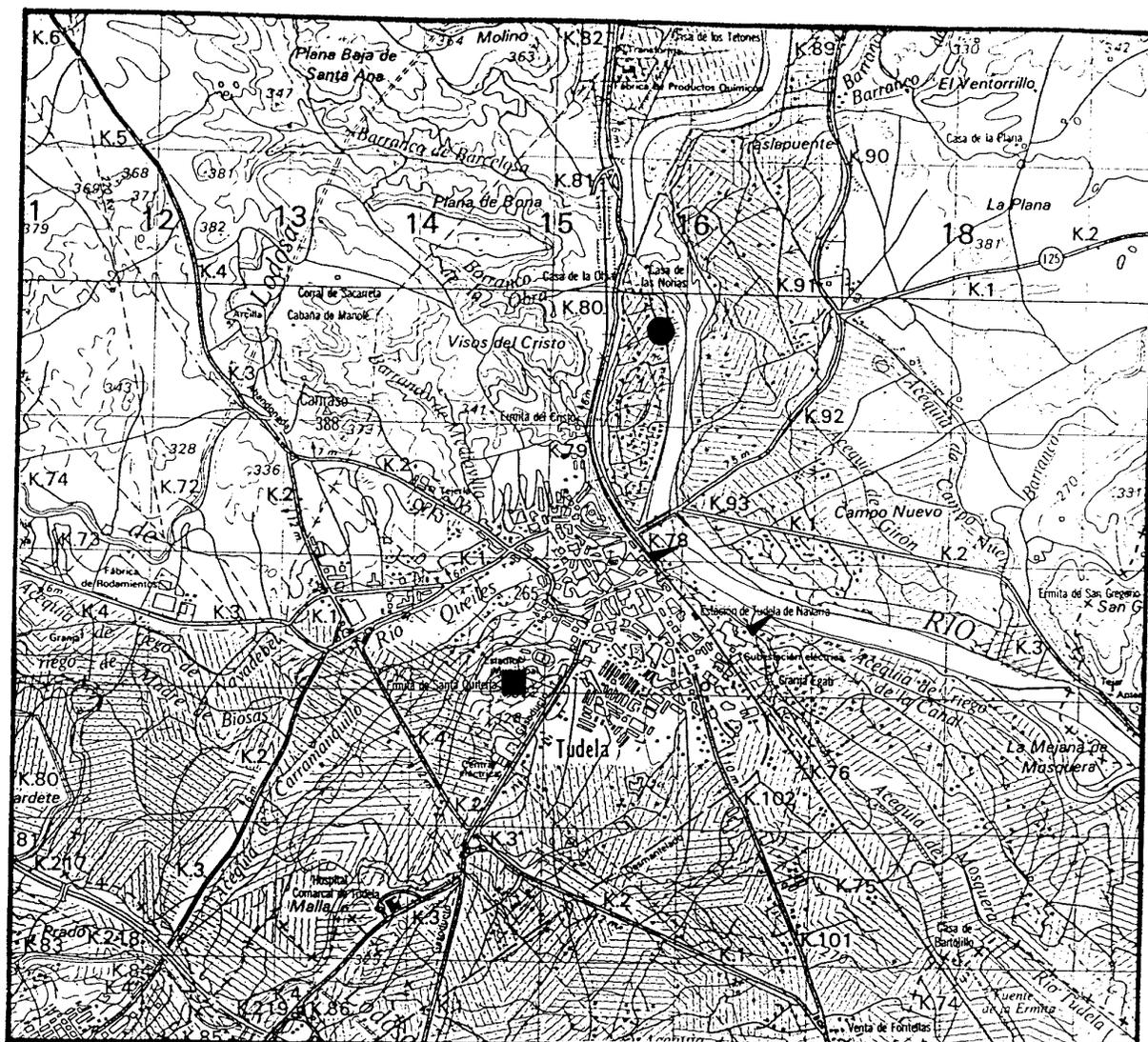
El Instituto de Salud Pública de Tudela y Comarca realiza todas las funciones de control sanitario del agua de abastecimiento de la ciudad.

Existen 70 puntos de control del agua en Tudela. En ellos se recoge agua para analizar y se controla el nivel de cloro libre. Estos puntos incluyen todas las

fuentes de la ciudad, así como todos los colegios y puntos problemáticos como finales de red.

El cloro libre se controla todos los días del año en tres puntos distintos entre los 70 anteriores mencionados. Estos puntos son representativos del agua suministrada.

Por otra parte, a diario, se realizan análisis físico-químicos y microbiológicos del agua servida a la población.



LEYENDA

- Captación de aguas subterráneas
- ▴ Salida de residuos líquidos urbanos
- Depósito regulador

Escala 1:50.000

FIGURA 3: Situación de los pozos de abastecimiento Felhman y Ranney, salida de residuos líquidos urbanos y depósito de Santa Quiteria.

## **6.- ANALISIS DE LA DEMANDA DE AGUA**

---

## 6.- ANALISIS DE LA DEMANDA DE AGUA

---

Actualmente la red de abastecimiento municipal cubre el consumo de agua doméstico e industrial, en parte. La demanda de agua para usos agrícolas se cubre mayoritariamente mediante aguas superficiales tomadas independientemente de la red municipal.

Se ha podido disponer de los datos correspondientes a 1.989, registrados en los contadores instalados en la red. Estos datos diferencian el consumo doméstico del industrial. Asimismo, se conocen los caudales de elevación, que corresponden al caudal total consumido, en el cual quedan incluidas pérdidas de la red así como los consumos originados por las instalaciones municipales, riego de calles, etc. De estos últimos consumos únicamente se dispone de una estimación.

### 6.1.- DEMANDA DE AGUA PARA USO DOMESTICO

La población de hecho de Tudela, según el padrón municipal del 1 de Enero de 1.986, es de 25.576 habitantes.

Los consumos domésticos, registrados durante 1.986 de forma trimestral, son los siguientes:

- Enero-Marzo:	286.951 m <sup>3</sup>
- Abril-Junio:	311.340 m <sup>3</sup>
- Julio-Septiembre:	338.914 m <sup>3</sup>
- Octubre-Diciembre:	329.392 m <sup>3</sup>
- Consumo doméstico total:	1.266.597 m <sup>3</sup>

Estos consumos suponen un valor medio de 136 l/hab./día, con un valor mínimo de 125 l/hab./día en el primer trimestre y un máximo de 147 l/hab./día en el tercer trimestre.

## 6.2.- DEMANDA DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL

El consumo, registrado de forma trimestral durante 1.989, fue el siguiente:

- Enero-Marzo: 269.281 m<sup>3</sup>
- Abril-Junio: 262.691 m<sup>3</sup>
- Julio-Septiembre: 331.927 m<sup>3</sup>
- Octubre-Diciembre: 286.704 m<sup>3</sup>
  
- Consumo industrial total: 1.150.603 m<sup>3</sup>

## 6.3.- DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRICOLA

La superficie total ocupada por cultivos agrícolas en el municipio se ha obtenido a través de la publicación "Superficies ocupadas por cultivos agrícolas en los municipios de Navarra (1.981-1984)", editada por el Departamento de Informática y Estadística del Gobierno de Navarra.

Debido a que se desconocen las cantidades de agua utilizadas para riego, usaremos como base para el cálculo las dotaciones medias/hectárea calculadas en la Cuenca del Ebro y que se establecen en el Documento resumen del Plan Hidrológico del Ebro, de marzo de 1.986. Estas dotaciones son de 8.545m<sup>3</sup>/Ha./año.

La extensión total del municipio es de 21.740 Ha. Según los datos correspondientes a 1.984, 4.859 Ha. se dedican a cultivos de regadío.

Aplicando la dotación media antes mencionada, resulta una demanda de 41,5 Hm<sup>3</sup>/año.

No se conocen datos porcentuales de la superficie regada con aguas subterráneas, aunque de las informaciones aportadas en el ayuntamiento se deduce que no es representativa frente a la regada con aguas superficiales.

#### 6.4.- DEMANDA TOTAL DE AGUA

En este apartado se hace referencia únicamente a la que queda cubierta con la red de abastecimiento municipal

El volumen total registrado en los contadores es de 2.417.200 m<sup>3</sup>/año. A este valor hay que sumarle 60.000 m<sup>3</sup>/año de los empresas de limpieza de servicios públicos; 60.000 m<sup>3</sup>/año de riegos de calles y 75.000 m<sup>3</sup>/año de consumo de centros municipales. El consumo medio resultante es de 280 l/hab./día.

Este valor es algo superior a los parámetros establecidos por las "Normas para los Proyectos de Abastecimiento de Agua" publicado en el BON (6-October-1.986) del Gobierno de Navarra; según estas normas las dotaciones para poblaciones entre 12.000 y 50.000 habitantes deben de ser de 250 l/hab./día, en estas dotaciones se cuentan todas las posibles utilizaciones de agua dentro del núcleo de población.

El importante desarrollo industrial de la zona condiciona notablemente este elevado consumo de agua.

El volumen total de elevación durante 1.989 fue de 3.988.179 m<sup>3</sup>. La diferencia con respecto al consumido, 1.375.979 m<sup>3</sup>, corresponde mayoritariamente a pérdidas en la red y se sitúa en un 34,5% del total.

**7.- ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE AGUA  
(AÑO HORIZONTE 2.010)**

---

## 7.- ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE AGUA (AÑO HORIZONTE 2.010)

---

### 7.1.- EVOLUCION DE LA POBLACION

Se establece la tasa de crecimiento anual en función de las tasas que se han dado durante los últimos años.

Año	Población	Tasa de crecimiento
1.940	13.134	--
1.950	13.740	0,452 %
1.960	16.456	1,820 %
1.970	20.942	2.434 %
1.980	24.629	1,634 %
1.990	25.576	0,757 %

Se adoptará como tasa de crecimiento anual un valor del 1%, intermedio entre los valores registrados en los últimos 15 años. La población resultante para el año 2.010 es de 32.800 habitantes.

### 7.2.- CONSUMO FUTURO

Según la Orden Foral 2.955/1.986 de 22 de Septiembre, las dotaciones teóricas para poblaciones de 12.000 a 50.000 habitantes deben ser de 250 l/hab./día, y se aplica un aumento anual acumulativo de 2% de esta dotación hasta el año horizonte considerado.

La dotación para el año 2.010 debe ser de 410 l/hab./día. El volumen total necesitado para ese año será de 4.908.852 m<sup>3</sup> (156 l/seg.)-

Debido a que el consumo industrial es elevado en la zona, se debe considerar el valor antes citado como orientativo de necesidades mínimas, pudiendo llegar estas a superar los 200 l/seg. en función del desarrollo industrial futuro.

Tampoco se consideran en este valor las pérdidas en la red.

**8.- CARACTERIZACION HIDROQUIMICA DE LOS RECURSOS  
HIDRICOS**

---

## **8.- CARACTERIZACION HIDROQUIMICA DE LOS RECURSOS HIDRICOS**

---

### **8.1.- INFORMACION RECOPIADA**

La información hidroquímica que se ha utilizado durante la realización de este informe procede:

- Del presente estudio, ya que se tomó muestra de agua de la captación destinada al abastecimiento de la población en origen.
- De las bases de información facilitadas por el Gobierno de Navarra, en las que se incluyen los datos de las redes de control periódico, así como de trabajos realizados de manera esporádica por diferentes organismos o empresas.

En la tabla nº1 se resumen los puntos de agua con información hidroquímica disponibles en este estudio para el término municipal de Tudela, indicando el número de análisis con los que se cuenta en cada caso, así como las fechas en las que se realizaron. El volumen de información es muy apreciable y se refiere principalmente a parámetros químicos estándar (mayoritarios, especies nitrogenadas, etc.). La información sobre metales pesados, así como contaminantes orgánicos es muy escasa o nula. En el anexo 2 se han incluido los listados de los análisis utilizados.

Como se aprecia, existen dos puntos, el 2512-4-001 y el 2512-8-001 con un registro numeroso. La información más reciente corresponde al punto 2512-8-236 con análisis efectuados en este estudio.

PUNTO N°	N° ANALISIS	FECHAS
2512-4-001	50	11/75-9/88
2512-7-216	1	10/88
2512-8-001	55	9/75-9/88
2512-8-231	1	10/88
2512-8-234	1	10/88
2512-8-236	6	1/90-12/90, 6/91
2512-8-237	1	10/88

Tabla nº1. Resumen de la información disponible en el término municipal de Tudela: puntos de agua, número de análisis y fechas de muestreo.

## 8.2.- CARACTERISTICAS QUIMICAS GENERALES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Las aguas subterráneas en este término municipal tienen una mineralización que varía de notable a muy fuerte, con un valor medio de conductividad en torno a los 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El máximo encontrado es de 3580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el punto 2512-8-234 y el mínimo de 1171  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el punto 2512-8-001, situados ambos en la margen izquierda del río Ebro.

Según la legislación vigente (Reglamentación Técnico-Sanitaria del 20 de septiembre de 1990), muchas de las aguas de la zona sobrepasan la concentración máxima admisible de sulfatos, 250 mg/l; magnesio, 50 mg/l, y sodio, 150 mg/l. Aunque esto no produce toxicidad en las aguas, las características organolépticas no son las más adecuadas (sabores salados y amargos).

En cuanto a problemas de contaminación, está especialmente extendido el exceso en la concentración por nitratos (cantidades mayores de 50 mg/l), y en ocasiones también se rebasan las cantidades máximas admisibles en nitritos y amonio. No se

han detectado problemas importantes en cuanto a concentraciones excesivas en metales, con sólo un caso en el que se sobrepasa la cantidad admisible de hierro en el punto 2512-8-234.

Respecto a la dureza, se encuentran en el rango de aguas duras-extremadamente duras; el valor medio considerando todas las muestras es de 65 °F. Por esta razón serán frecuentes los problemas de incrustación en conducciones, gasto excesivo en jabón y dificultad la cocción de los alimentos.

#### **8.2.1.- FACIES QUIMICAS**

En la zona del aluvial del Ebro, los tipos aniónicos que presentan las aguas subterráneas son mixtos, los más frecuentes son bicarbonatado-sulfatados y sulfatado-bicarbonatados. Los cloruros también se encuentran en proporciones importantes. Esto, unido a la fuerte mineralización de estas aguas, provoca un fuerte carácter incrustante.

Respecto a los cationes, también los tipos son mixtos, predominando los sódico-cálcicos o cálcico-sódicos.

La composición iónica del agua subterránea en el aluvial del Ebro está determinado por las condiciones litológicas del medio en la zona. La presencia de sulfatos en disolución podría corresponderse con la abundancia de yesos en la matriz arcillosa. Localmente, el aumento de la importancia del carácter clorurado sódico, puede deberse a factores mineralógicos restringidos.

### **8.2.2.- EVOLUCION TEMPORAL DE LA CALIDAD**

En los gráficos de las figuras 4 y 5 se han representado las series de datos más continuos en el tiempo, que corresponden a los puntos 2512-4-001, 2512-8-001 y 2512-8-236, correspondiendo este último al abastecimiento.

La interpretación detallada de los efectos observados requiere información adicional sobre precipitaciones, así como régimen de explotación de la captación y una descripción de las características técnicas del sondeo y si éstas han variado durante el tiempo de observación (reprofundización de la obra, etc.).

Volviendo al comentario de la representación gráfica, se aprecia que los análisis de los puntos se mantienen en unos valores bastante constantes en el tiempo, y no parece haberse registrado ninguna tendencia hacia un incremento o descenso de mineralización.

### **8.2.3.- DIFERENCIAS GEOGRAFICAS DE LA CALIDAD**

La escala de término municipal es demasiado pequeña para establecer variaciones importantes de calidad en el espacio.

En esta zona se localizan dos acuíferos de origen aluvial, el principal relacionado con el río Ebro, y el otro con el río Queiles.

La litología de estos depósitos, viene condicionada por la de las formaciones terciarias adyacentes de donde provienen: fundamentalmente yesos y arcillas.

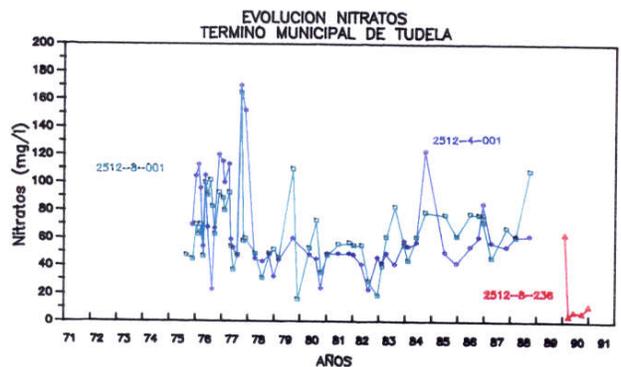
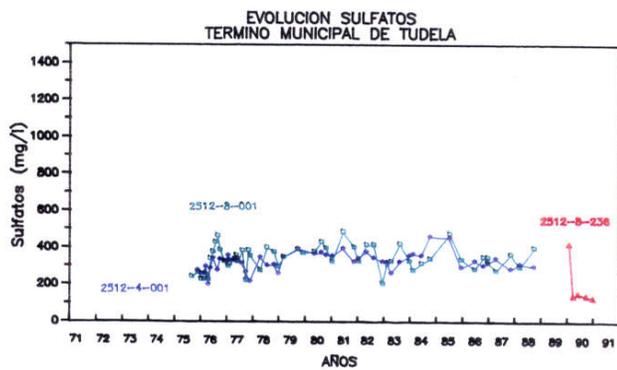
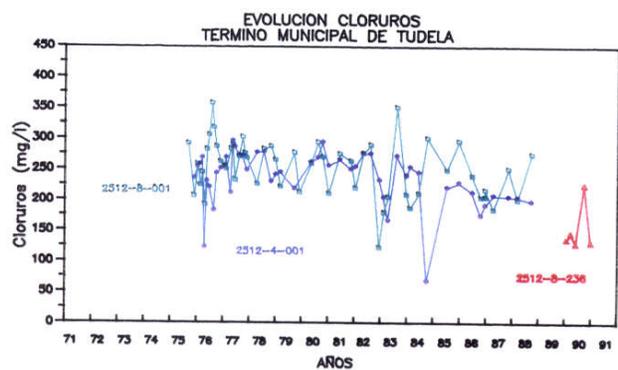
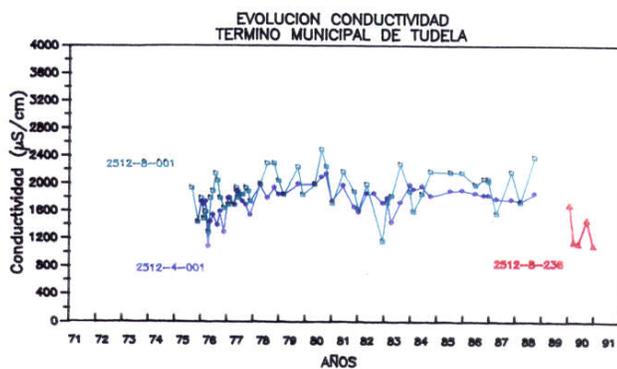


FIGURA 4: Evolución temporal de la conductividad y aniones controlados periódicamente.

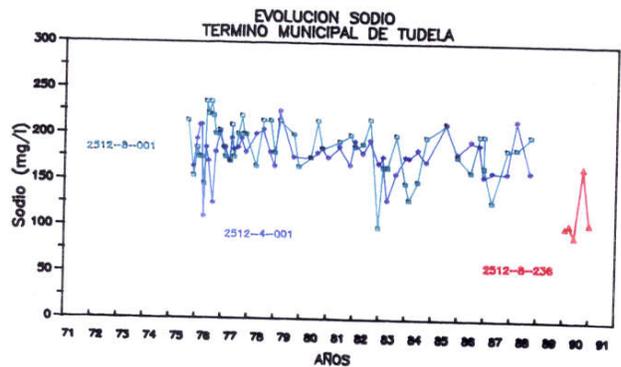
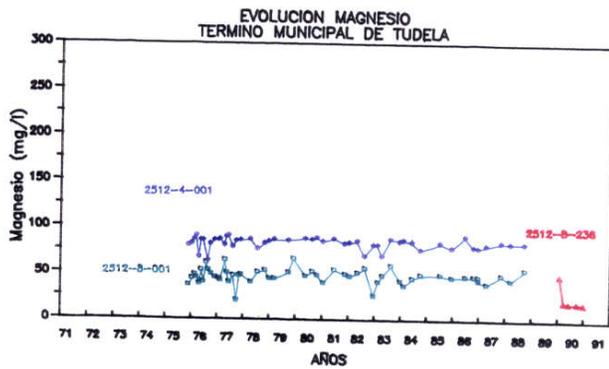
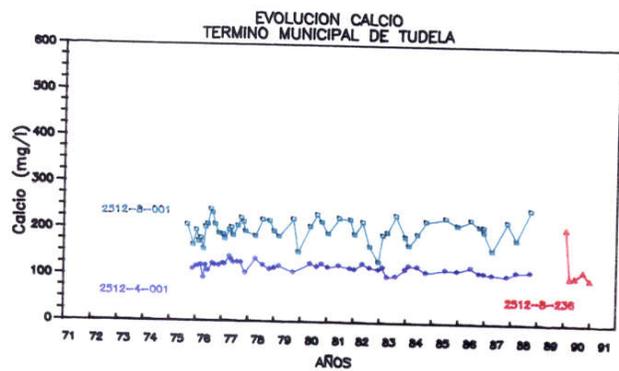
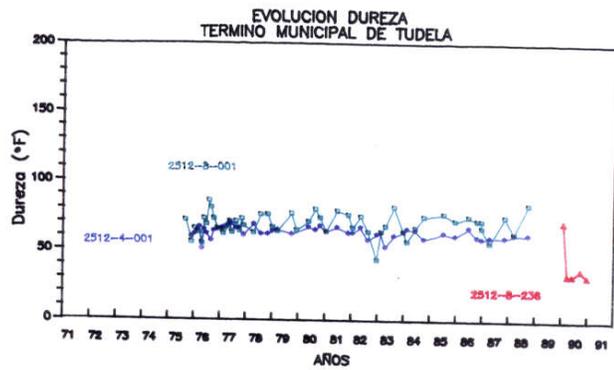


FIGURA 5: Evolución temporal de la dureza y cationes controlados periódicamente.

Las diferentes proporciones en que se encuentren los materiales solubles en la matriz, el espesor saturado de las terrazas, la mayor o menor proporción de los retornos de regadío, etc., determinarán la variación en la mineralización. La salinidad será mayor cuanto menor sea el espesor de los depósitos y la recarga superficial, y mayor la cantidad de materiales solubles.

Al tratarse de acuíferos de características y funcionamiento muy similar, las aguas que se encuentran tanto en uno como en otro del mismo origen en magnitud aunque con variaciones locales consecuencia de los aspectos comentados con anterioridad.

### 8.3.- CALIDAD QUIMICA DEL ABASTECIMIENTO URBANO

En la tabla nº2 se indica el análisis químico del agua procedente del pozo Felhman de abastecimiento a Tudela. En la actualidad está en construcción una planta potabilizadora donde se trataran aguas procedentes del Ebro y del canal de Lodosas para su utilización en abastecimiento.

El agua es sometida a un proceso de cloración inmediatamente después de la salir del pozo. La acción del  $\text{Cl}_2$  debe provocar la oxidación de todas las especies reducidas, incluyendo la materia orgánica.

El análisis bacteriológico efectuado (ver anexo 4) indica, como era de esperar, que el agua de la red de abastecimiento, después de haber sido sometida a un proceso de cloración, es potable, estando prácticamente exenta de gérmenes.

Muestras	2512-8-236
Fecha	06/06/91
Cond ( $\mu\text{S/cm}$ )	993
pH	7.37
$\text{SO}_4^-$ (mg/l)	216
$\text{Cl}^-$ (mg/l)	64
$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	249
$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	16
$\text{Na}^{++}$ (mg/l)	73
$\text{K}^+$ (mg/l)	4.7
$\text{Ca}^{++}$ (mg/l)	124
$\text{Mg}^{++}$ (mg/l)	16
$\text{NH}_4^+$ (mg/l)	0.14
$\text{PO}_4^{3-}$ (mg/l)	0.03

Tabla n°2.- Parámetros químicos determinados en el sondeo de abastecimiento a Tudela.

**9.- ANALISIS DE LA SITUACION. CONCLUSIONES  
Y RECOMENDACIONES**

---

## 9.- ANALISIS DE LA SITUACION. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### 9.1.- CANTIDAD

Los datos incluidos en el presente informe reflejan lo siguiente:

- El caudal disponible con la captación existente en la actualidad en el municipio es de 170 l/seg.
- La demanda de agua actual, incluyendo pérdidas es de 126,5 l/seg.
- La demanda total calculada para el año horizonte (2.015) es de 156,5 l/seg., aunque podría superar los 200 l/seg. en función del desarrollo industrial.
- El caudal disponible cubre la demanda actual pero no asegura el abastecimiento futuro.
- Las nuevas captaciones proyectadas aportarán un caudal de 660-670 l/seg. Con este caudal se cubrirán las necesidades futuras.

La presencia del acuífero aluvial descrito en el informe implica la existencia de recursos hídricos subterráneos muy condicionados, en cantidad y calidad, por la presencia del río Ebro. Así mismo las futuras captaciones de aguas superficiales garantizan el abastecimiento actual y futuro de la población.

La regulación existente es suficiente para las necesidades actuales y futuras.

El elevado porcentaje de pérdidas en la red de distribución exige renovación a corto plazo.

## 9.2.- CALIDAD

La calidad química del agua procedente del pozo Felhman, y que en la actualidad suministra toda el agua para el abastecimiento de Tudela, es químicamente potable, de mineralización médica, con todos los parámetros físico-químicos dentro de los límites del C.A.E. e incluso puede decirse, que por cantidad y calidad del agua, el pozo de abastecimiento a Tudela, es excepcionalmente bueno dentro del contexto del acuífero cuaternario asociado al río Ebro.

El tratamiento con la planta potabilizadora se considera suficiente para garantizar la buena calidad de las aguas para consumo humano, aunque es imprescindible continuar con el control sanitario que se lleva a cabo en la actualidad.

Asimismo es conveniente continuar con los muestreos periódicos en puntos de explotación del acuífero aluvial con el fin de controlar la evolución temporal de quimismo en el mismo.

## **ANEXOS**

---

## **ANEXO 1: FOTOGRAFIAS**

---



FOTO 1: Pozo Felhman utilizado para el abastecimiento de Tudela, 1.971. Q. 170 l/seg.



FOTO 2: Area de captación de aguas subterráneas para abastecimiento a Tudela.  
Al fondo: pozo radial tipo Felhman  
En primer plano: pozo radial tipo Ranney  
Entre ambos pozos, obras de captación de agua directa del río Ebro para ser tratadas en depuradora.

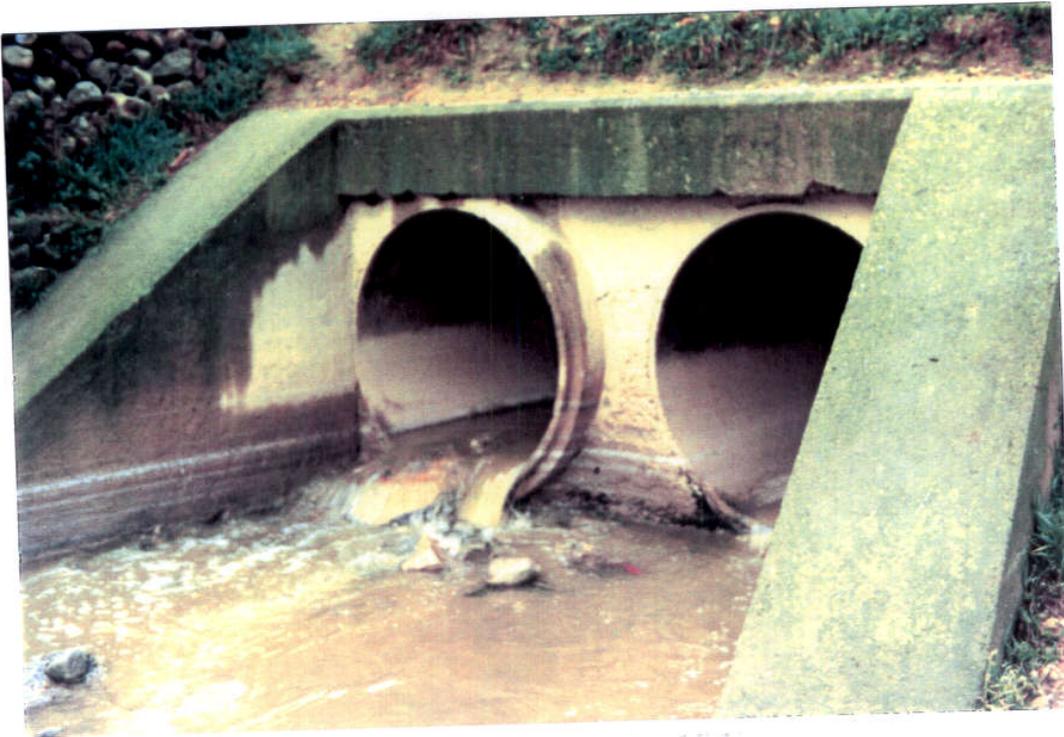
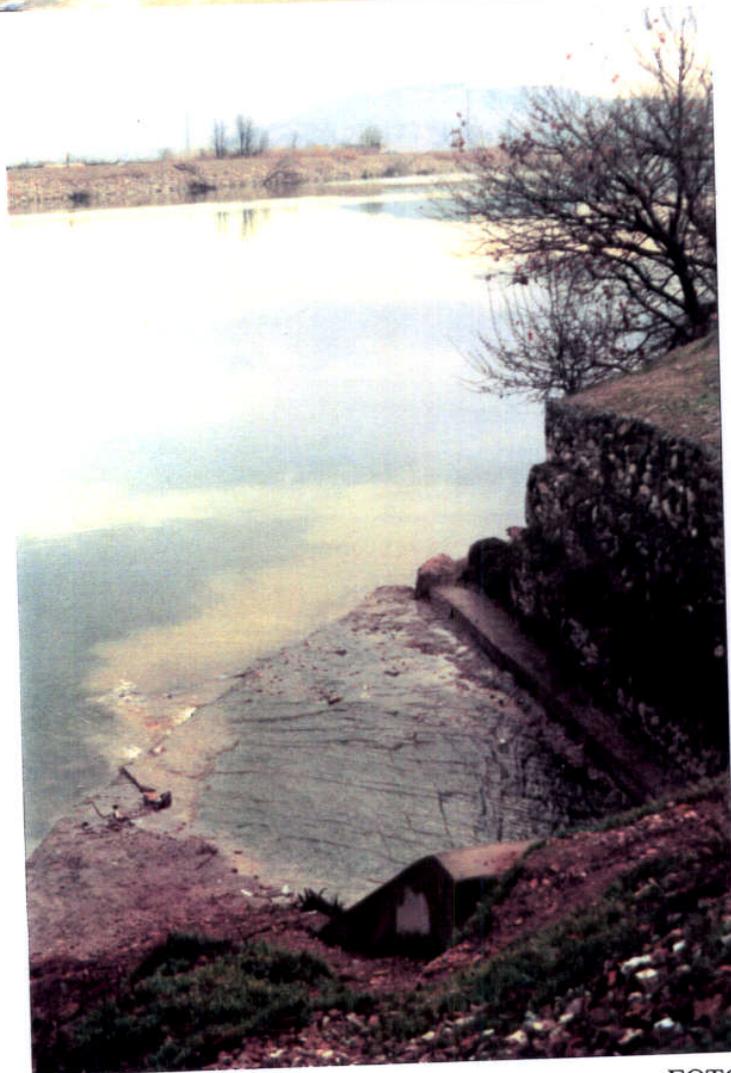


FOTO 3



Vertidos de residuos líquidos urbanos de Tudela al río Ebro sin ningún tipo de tratamiento, 1.991.

FOTO 4



FOTO 5:

Obras para la construcción de la estación depuradora de aguas para abastecimiento a Tudela, 1.991.



FOTO N° 6:

**ANEXO 2: ANALISIS QUIMICOS UTILIZADOS DURANTE  
EL ESTUDIO**

---

N° de inventario	Fecha analisis	pH	Conduct. us/cm	Rs mg/l	Dureza  F mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	SiO2 mg/l	NH4 mg/l	MO mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Al mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	F mg/l	P mg/l	PO4 mg/l	
25127216	07/10/88	8.06	1810					89.1	0.01									2.3	0.49	0.12	0.1	0.02	0.19	0.39	0.03		
25128231	06/10/88	7.23	2400	2810	76.8	333.3	388.9	10.2	0	350	20	234.1	44.7	217.7	0.8		0	0.6									0.03
25128234	07/10/88	7.54	3580																0.61	0.12	0.27	0.13	0.24	0.8	0.16		
25128236	06/06/91	7.37	993	709	37.6	64	216	16	0	249	0	124	16	73	4.7		0.14										0.03
25128237	06/10/88	7.15	1832	1700	75.2	142.9	478.9	90.7	0.006	251.7	20	251.7	30.2	87.5	0.8		0.07	3.5									1.03
25124001	28/11/75	7.40	1450	1125	60	237	281	70	0.01	354	0	113	80	165	2	0	0.20	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	14/01/76	7.60	1750	1199	62	256	263	105	0.01	336	9	119	82	195	1	0	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	19/02/76	7.55	1700	1227	65	260	260	113	0.02	354	0	120	86	210	1	0	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	18/03/76	7.50	1750	1271	67	270	298	96	0.03	369	0	121	90	210	1	0	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	23/04/76	7.70	1100	832	51	124	200	54	0.02	366	0	93	67	110	1	11	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	21/05/76	8.25	1450	1206	65	232	288	105	0.01	381	0	120	85	185	1	10	0.50	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	25/06/76	7.45	1550	1209	62	222	343	68	0.00	390	0	108	85	170	3	15	0.15	3	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	26/08/76	7.60	1400	1023	57	184	278	23	0.01	378	0	124	63	125	13	15	0.00	3	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	01/10/76	7.55	1600	1211	64	244	338	67	0.03	357	0	121	81	180	2	15	0.15	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	25/11/76	7.60	1300	1309	65	252	328	120	0.01	372	0	120	85	202	5	12	0.15	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	20/01/77	7.50	1800	1319	66	256	358	115	0.00	357	0	125	85	185	2	16	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	10/02/77	7.60	1800	1279	66	270	333	100	0.00	360	0	123	86	185	2	0	0.30	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	15/04/77	7.25	1700	931	68	213	330	113	0.00	397	0	140	80	170	2	16	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	12/05/77	7.56	1900	1301	70	297	337	59	0.00	354	0	134	89	195	2	12	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	10/06/77	7.55	1900	1257	69	287	340	53	0.01	354	0	127	90	183	2	0	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	06/08/77	7.43	1750	1208	66	274	314	47	0.00	363	0	128	78	185	2	0	0.75	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	23/09/77	7.45	1700	1298	66	273	267	170	0.01	360	0	127	84	195	2	0	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	24/11/77	7.50	1550	1177	61	249	216	152	0.01	378	0	104	85	180	2	0	0.15	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	13/04/78	7.73	2000	1306	69	278	347	45	0.00	403	0	135	86	200	2	12	0.40	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	27/10/78	7.67	1950	1170	62	231	308	48	0.00	384	0	113	82	180	2	15	0.40	3	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	24/07/78	7.39	1800	1240	62	279	303	43	0.01	396	0	122	76	205	2	12	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	28/12/78	7.77	1850	938	64	242	260	32	0.01	375	0	116	84	165	2	15	0.30	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	07/03/79	7.72	1850	1277	65	246	348	44	0.00	375	0	120	86	225	2	18	0.20	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	19/09/79	7.80	2000	1241	62	220	397	60	0.00	367	0	107	85	175	2	14	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	09/05/80	8.15	2000	1267	67	263	368	48	0.01	362	0	126	87	175	2	18	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	12/08/80	7.69	2100	1269	65	270	375	45	0.01	356	0	120	86	180	2	13	0.15	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	17/10/80	7.65	2150	1269	68	295	361	24	0.02	346	0	126	88	185	2	17	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25124001	09/01/81	7.88	1756	1228	64	257	356	49	0.01	361	0	119	84	175	2	6	0.25	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0

N° de inventario	Fecha analisis	pH	Conduct. uS/cm	Rs mg/l	Dureza  F mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	SiO2 mg/l	NH4 mg/l	MO mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Al mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	F mg/l	P mg/l	PO4 mg/l
25124001	11/06/81	7.58	1983	1312	67	267	398	49	0.01	365	0	123	87	187	2	17	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	12/11/81	7.49	1670	1176	63	251	325	49	0.01	340	0	117	82	167	2	13	0.50	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	13/01/82	7.62	1593	1225	63	255	344	48	0.01	340	0	115	83	193	2	2	0.10	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	04/05/82	7.77	1868	1278	67	277	379	41	0.02	342	0	127	85	180	2	16	0.25	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	13/08/82	7.58	1870	1216	58	277	347	23	0.00	339	0	119	69	194	2	16	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	14/12/82	7.79	1728	1161	62	234	327	46	0.01	342	0	115	81	169	2	16	0.15	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	12/02/83	7.41	1799	1142	63	206	325	42	0.01	346	0	120	81	176	2	17	0.00	3	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	14/04/83	7.93	1447	944	53	168	264	49	0.01	303	0	99	69	129	1	14	0.40	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	10/08/83	7.60	1735	1173	61	273	326	41	0.00	340	0	101	87	158	2	16	0.00	3	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	20/12/83	7.77	1990	1223	64	241	358	58	0.01	352	0	116	85	176	2	17	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	09/02/84	7.60	1930	1252	66	255	368	54	0.00	343	0	124	86	175	2	16	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	06/06/84	7.59	1975	1237	65	246	359	57	0.02	327	0	122	84	184	2	21	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	03/10/84	7.54	1833	1207	59	69	463	123	0.06	352	0	110	76	171	2	17	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	03/07/85	7.62	1910	1336	63	222	456	50	0.00	334	0	116	83	213	2	17	0.30	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	13/12/85	7.52	1919	1138	61	230	295	42	0.01	362	0	114	78	180	1	17	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	20/06/86	7.64	1876	1202	67	214	330	54	0.01	359	0	122	90	194	2	17	0.08	3	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	16/10/86	7.76	1843	1122	60	176	305	61	0.01	362	0	110	79	190	2	18	0.23	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	17/12/86	7.53	1842	1137	59	193	319	85	0.01	355	0	109	78	156	2	17	0.20	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	10/04/87	7.31	1792	1160	60	209	343	57	0.01	367	0	106	81	161	1	18	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	04/11/87	7.53	1782	1082	60	207	286	54	0.00	372	0	104	84	160	2	0	0.45	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	12/03/88	7.53	1758	1199	62	206	313	62	0.03	373	0	112	83	217	2	19	0.04	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25124001	22/09/88	7.60	1873	0	62	199	301	62	0.01	383	0	113	83	161	2	19	0.00	3	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	05/09/75	7.35	1950	1227	72	293	246	48	0.04	415	0	208	5	215	5	0	0.05	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	28/11/75	7.45	1450	1057	56	208	268	45	0.02	351	0	165	37	155	4	0	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	14/01/76	7.50	1800	1553	66	260	230	70	0.01	372	6	196	44	185	4	0	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	19/02/76	7.45	1500	1034	63	226	228	63	0.03	360	0	172	48	175	4	0	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	18/03/76	7.45	1600	1225	63	246	260	70	0.03	366	0	179	45	175	3	0	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	23/04/76	7.50	1300	985	55	194	230	47	0.02	342	0	156	38	146	4	9	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	21/05/76	8.05	1800	1424	73	283	343	100	0.02	406	0	203	53	235	4	7	0.15	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	22/06/76	7.50	1900	1474	69	307	380	91	0.03	412	0	209	40	222	5	15	0.30	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	28/07/76	7.75	2150	1667	86	358	432	102	0.02	448	0	241	61	235	5	10	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	26/08/76	7.30	2050	1593	81	319	468	83	0.01	423	0	234	53	220	5	0	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	01/10/76	7.35	1800	1413	73	288	390	63	0.03	393	0	209	49	200	5	11	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	25/11/76	7.50	1650	1333	66	263	328	93	0.02	390	0	189	45	204	5	11	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	20/01/77	7.20	1700	1264	65	256	301	89	0.00	381	0	187	44	185	5	7	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	10/02/77	7.50	1750	1230	62	251	315	80	0.05	366	0	179	42	175	5	0	0.15	2	0.00	0.00		0.00	0.00			0
25128001	15/04/77	7.25	1700	822	67	284	340	93	0.01	378	0	197	64	170	6	9	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00			0



N° de inventario	Fecha analisis	pH	Conduct. us/cm	Rs mg/l	Dureza F mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	SiO2 mg/l	NH4 mg/l	MO mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Al mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	F mg/l	P mg/l	PO4 mg/l	
25128001	12/03/88	7.37	1739	1162	63	202	298	61	0.04	351	0	182	43	186	5	12	0.00	1	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25128001	23/09/88	7.31	2395	0	84	276	403	109	0.05	418	0	247	55	200	5	13	0.02	7	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25128236	23/01/90	7.52	1721	0	72	139	428	64	0.01	324	0	209	49	103	3	18	0.12	1	0.04	0.00		0.00	0.02				0
25128236	21/03/90	7.57	1180	0	34	149	146	5	0.01	266	0	103	21	106	3	7	0.00	2	0.00	0.00		0.00	0.00				0
25128236	28/05/90	7.71	1157	0	34	132	159	8	0.01	269	0	105	20	93	4	6	0.00	2	0.04	0.00		0.05	0.03				0
25128236	18/09/90	7.56	1500	0	38	228	145	7	0.02	256	0	118	20	168	5	6	0.06	2	0.04	0.02		0.00	0.02				0
25128236	19/12/90	7.46	1128	0	33	134	134	12	0.00	254	0	100	19	107	4	4	0.02	2	0.05	0.00		0.00	0.04				0

**ANEXO 3: BOLETIN DEL ANALISIS FISICO-QUIMICO REALIZADO  
EN ORIGEN**

---



**ANEXO 4: BOLETIN DE ANALISIS BACTERIOLOGICO  
REALIZADO EN LA RED**

---



**Servicio Navarro de Salud**  
Osasunbidea

**Dirección A.P., S.P., S.M.**

Eza, 2  
31500 TUDELA  
Tel. (948) 82 57 11  
Fax (948) 82 68 05

ANALISIS CON REFERENCIA: 204/91

Realizado el análisis microbiológico con referencia 204/91, solicitado por el Instituto Tecnológico Minero, de la red de distribución de Tudela, se observa que cumple el R.D. 1138/90 sobre los parámetros analizados.

Atentamente.

Tudela a 10 de Junio de 1.991

VºBº: PEDRO OVIEDO DE SOLA  
(Director de A.P., S.P.  
y S.M. del Area de Tudela)

Fdo.: JAVIER FORCADA MELERO  
(Técnico de Atención al  
Medio del Area de Tudela)



Gobierno de Navarra

**POTABILIDAD  
DE AGUAS**

 INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE NAVARRA  
 Laboratorio: Tudela y Comarca

**ANÁLISIS ABREVIADO**

Solicitado por El Instituto Tecnológico Minero.  
 Dirección ..... Teléfono .....  
 Origen y naturaleza de la muestra Pozo. Red de distribución. TUDELA.  
 Datos sobre el lugar de la toma Polideportivo.  
 Recogida por El Encargado de Aguas. S/Ref.\* n.º .....  
 Fecha y hora de recogida 3 / Junio / 1.991 hr. 8,00  
 Fecha y hora de recepción en el Laboratorio 3 / Junio / 1.991 hr. 10,30  
 Observaciones. Solicitud de Análisis Microbiológico.

**RESULTADOS FISICO - QUIMICOS**

Color ..... U. (Pt-Co) Sabor ..... Olor .....  
 Temp (in situ) ..... °C Turbidez ..... U. (SiO<sub>2</sub>) Conductividad ..... mmhos  
 pH ..... Dureza ..... °F Residuo seco ..... mg/l  
 Alcalinidad total (CO<sub>2</sub>,Ca) ..... mg/l  
 Materia orgánica (O<sub>2</sub> absorbido del MnO<sub>4</sub>K) ..... mg/l

Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) ..... mg/l	Calcio (Ca <sup>++</sup> ) ..... mg/l
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) ..... mg/l	Magnesio (Mg <sup>++</sup> ) ..... mg/l
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) ..... mg/l	Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) ..... mg/l
Fluoruros (F <sup>-</sup> ) ..... mg/l	Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) ..... mg/l
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) ..... mg/l	Hierro (Fe <sup>++</sup> ) ..... mg/l
	Manganeso (Mn <sup>++</sup> ) ..... mg/l

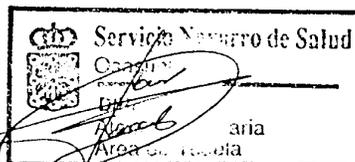
**RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS**
Cloro libre (in situ) 0,2 ppm

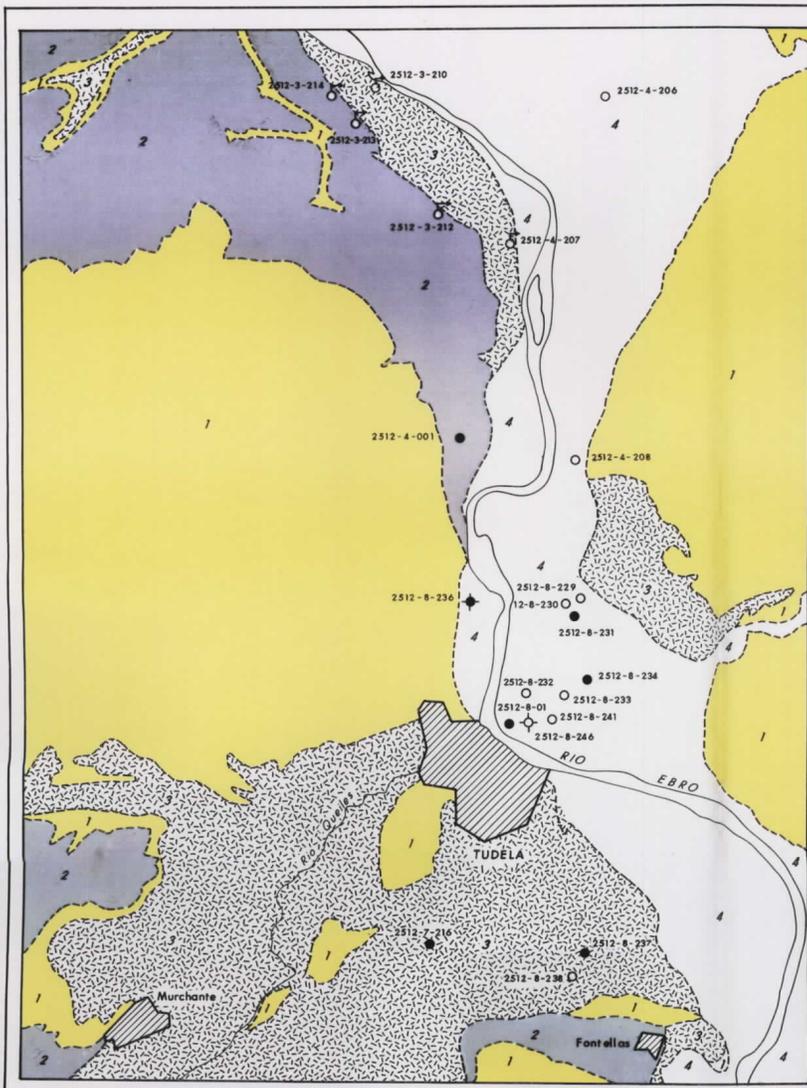
Bacterias aerobias mesófilas 2 /ml  
 Bacterias coliformes (NMP) Negativo /100 ml  
 Escherichia coli (NMP) Negativo /100 ml  
 Estreptococos fecales Negativo / 100 ml  
 Clostridios sulfito-reductores Negativo / 20 ml

**CALIFICACION:** Cumple el R.D. 1138/90 sobre los parámetros analizados.

Tudela a 10 de Junio de 19 91

EL JEFE DEL LABORATORIO.





### LEYENDA

CUATERNARIO	HOLOCENO	4
	PREISTOCENO	3
TERC.	MIOCENO	2
		1

- 4.- Llanura de inundación
- 3.- Terraza encajada
- 2.- Terrazas colgadas
- 1.- Arcillas y limos con intercalaciones de areniscas

### SIGNOS CONVENCIONALES

- Contacto discordante
- ◇ Sondeo
- ◆ Sondeo con análisis químicos
- Pozo
- Pozo con análisis químicos
- ⊕ Manantial

**Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España**

PROYECTO ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y PROBLEMÁTICA DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DE LOS ABASTECIMIENTOS A POBLACIONES SITUADAS EN EL ALUVIAL DEL EBRO Y AFLUENTES DE NAVARRA

CLAVE

MAPA GEOLÓGICO Y DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE TUDELA

PLANO N.º  
1

DIBUJADO	FECHA Diciembre 91	COMPROBADO	AUTOR C. G. S.	ESCALA 1/50.000	CONSULTOR C. G. S.
----------	-----------------------	------------	-------------------	--------------------	-----------------------