

**Una aproximación metodológica y
conceptual al estudio de la interacción
de la ciudad con el medio hídrico
subterráneo desde el punto de vista de
la calidad de las aguas**

El caso de la ciudad de Zaragoza

Diciembre 2004



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



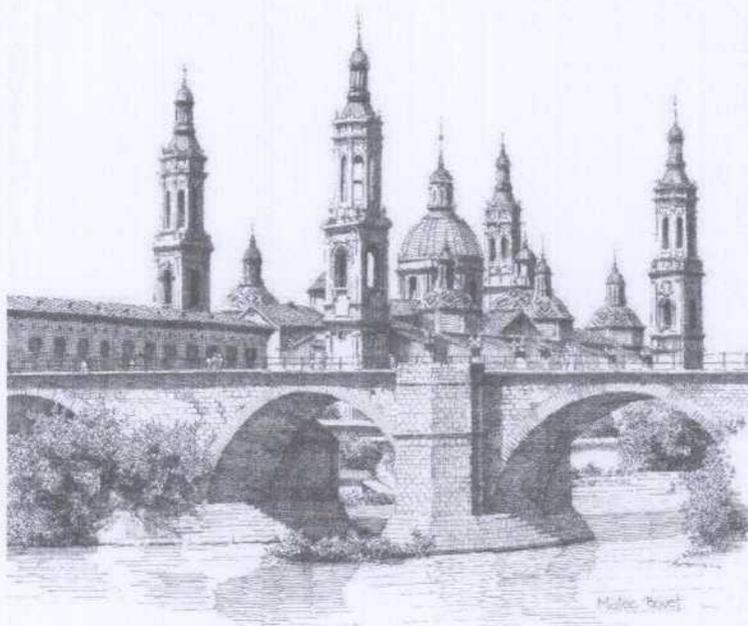
Instituto Geológico
y Minero de España



| | |
|--|--|
| INFORME | Identificación: H1-001-05 |
| | Fecha: 15-02-2005 |
| TÍTULO Una aproximación metodológica y conceptual al estudio de la interacción de la ciudad con el medio hídrico subterráneo desde el punto de vista de la calidad de las aguas. El caso de la ciudad de Zaragoza. | |
| PROYECTO Una aproximación metodológica y conceptual al estudio de la interacción de la ciudad con el medio hídrico subterráneo desde el punto de vista de la calidad de las aguas. El caso de la ciudad de Zaragoza. | |
| RESUMEN El proyecto ha tenido como objetivos: <ul style="list-style-type: none">- Análisis bibliográfico y Documental exhaustivo de lo publicado sobre Hidrogeología Urbana.- Estudio metodológico y conceptual acerca de la Hidrogeología Urbana con especial atención a los aspectos cualitativos.- Implementación práctica en la ciudad de Zaragoza estudiando el impacto de la ciudad sobre el acuífero subyacente. <p>La aplicación práctica se ha basado en un estudio de focos, vulnerabilidad y afección en la ciudad de Zaragoza, para ello se ha establecido una red de vigilancia y control del agua de 45 puntos que se han muestreado en dos campañas, además se han tomado muestras de suelos en otros 40 puntos. El estudio de los factores de riesgo se ha realizado a través de la caracterización del sistema de parques y jardines, de la red de alcantarillado, de los focos industriales destacados y de otros puntos singulares que se han considerado relevantes. Se ha realizado además una aproximación inicial a un balance de agua en el sistema.</p> | |
| Revisión Nombre: Luis Moreno Merino Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Fecha: 15-2-2005 | Autores: Almudena de la Losa Román Ana Belén Padrino de la Mata Luis Moreno Merino Responsable: Luis Moreno Merino |

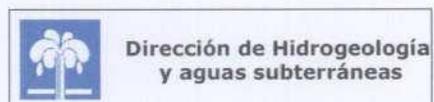
**UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA Y CONCEPTUAL AL ESTUDIO DE
LA INTERACCIÓN DE LA CIUDAD CON EL MEDIO HÍDRICO SUBTERRÁNEO
DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS**

HIDROGEOLOGÍA URBANA: LA CIUDAD DE ZARAGOZA



AÑO: 2004

Almudena de la Losa Román
Ana Belén Padrino de la Mata
Luis Moreno Merino



**UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA Y CONCEPTUAL AL ESTUDIO DE LA
INTERACCIÓN DE LA CIUDAD CON EL MEDIO HÍDRICO SUBTERRÁNEO DESDE EL
PUNTO DE VISTA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS**

HIDROGEOLOGÍA URBANA: LA CIUDAD DE ZARAGOZA

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO | 7 |
| I.I Definición de hidrogeología urbana | 7 |
| II. OBJETIVOS DEL PROYECTO Y EQUIPO DE TRABAJO | 13 |
| III. LA CIUDAD DE ZARAGOZA | 17 |
| 1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 17 |
| 2. ANTECEDENTES..... | 17 |
| 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 21 |
| 3.1 Introducción..... | 21 |
| 3.2 Revisión bibliográfica y búsqueda de datos | 21 |
| 3.3 Inventario de puntos de agua. Trabajo de campo | 23 |
| 3.4 Inventario de focos de contaminación..... | 23 |
| 3.5 Red de control urbana de agua subterránea | 23 |
| 3.6 Campaña de suelos | 26 |
| 3.7 Tratamiento e interpretación de datos obtenidos..... | 27 |
| 4. MEDIO FÍSICO | 28 |
| 4.1 Marco geográfico y socioeconómico..... | 28 |
| 4.2 Medio Natural..... | 32 |
| 4.3 Geología | 32 |
| 4.4 Climatología e hidrogeología superficial | 34 |
| 4.5 Hidrogeología..... | 37 |

| | |
|---|------------|
| 5. INVENTARIO DE FOCOS DE CONTAMINACIÓN | 40 |
| 5.1 Sistema de abastecimiento..... | 41 |
| 5.2 Actividades agrícolas o asimilables..... | 47 |
| 5.3 Sector industrial..... | 53 |
| 6. CAMPAÑAS DE MUESTREO. RESULTADOS ANALITICOS | 59 |
| 6.1 Composición natural..... | 59 |
| 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES..... | 68 |
| 7.1 Metales pesados..... | 68 |
| 7.2 Calidad del agua subterránea en función de su uso | 93 |
| 7.2.1 Consumo..... | 93 |
| 7.2.2 Riego..... | 96 |
| 7.2.3 Industria..... | 101 |
| 7.3 Impacto sobre el suelo | 104 |
| IV. CONCLUSIONES | 117 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 123 |

ANEXOS

| | |
|--|------------|
| ANEXO 1.- RESULTADOS ANALÍTICOS DE AGUAS | 131 |
| ANEXO 2.- FOTOS PUNTOS DE CONTROL..... | 137 |
| ANEXO 3.- ANÁLISIS ELEMENTOS TRAZA DE AGUAS | 149 |
| ANEXO 4.- RESULTADOS ANALÍTICOS SUELOS | 153 |
| ANEXO 5.- BALANCE CIUDAD ZARAGOZA | 159 |

CD: ***INFORME (formato pdf)***
 BIBLIOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA (pdf)
 SUELOS (Análisis granulométricos, Análisis DRX)

Capítulo I
INTRODUCCIÓN

UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA Y CONCEPTUAL AL ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN DE LA CIUDAD CON EL MEDIO HÍDRICO SUBTERRÁNEO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

HIDROGEOLOGÍA URBANA: LA CIUDAD DE ZARAGOZA

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se enmarca dentro de una nueva línea de trabajo en el IGME, *la Hidrogeología Urbana*, instrumento que debe dar respuesta, de forma científica y sistemática, a un importante hueco no cubierto suficientemente por la hidrogeología clásica hasta la fecha: el impacto que la actividad urbana tiene sobre el medio ambiente subterráneo, incluyendo no sólo aspectos sanitarios y ecológicos sino también las implicaciones económicas y sociales que puede tener.

Esta actuación se enmarca en la inquietud que, a escala europea, existe por el control de la contaminación (Directiva 96/61 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)) en la que el agua subterránea debe jugar un papel fundamental junto al resto de los componentes del ciclo hidrológico (aguas superficiales, suelo y aire). Además pudiera ser incluida acción de la agenda local 21 de Zaragoza en la cual se plantean opciones para luchar contra la degradación del agua y se destaca la necesidad de que obren en amplia asociación los organismos de investigación y las autoridades locales, impulsando así la investigación y los estudios sobre el agua.

I.I Definición de Hidrogeología Urbana

El medio físico que estudia la hidrogeología es el acuífero. Según una interpretación literal, un acuífero sería un conjunto de rocas que, relacionadas entre sí, contribuyen a transportar o almacenar agua. Se denomina acuífero, de forma más restringida, a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación de agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para satisfacer sus necesidades (Custodio, E; Llamas, M.R, 1996). En la naturaleza se habla, en términos más amplios, de sistemas acuíferos. En el concepto de sistema acuífero se aúnan regiones y formaciones geológicas de naturaleza y cualidades diversas; puede ser definido como el dominio espacial, limitado en superficie y en profundidad, en el que existen uno o varios acuíferos, relacionados o no entre sí, pero que constituyen una unidad práctica para la investigación o explotación.

El volumen de agua que se necesita para abastecer una ciudad es muy superior a los recursos de que dispone la propia urbe. La demanda creciente de agua, el deterioro de la calidad y la discrepancia en el tiempo y el espacio entre las necesidades y las disponibilidades de agua son hechos suficientes para hacer necesario un uso más eficiente. En este sentido surgen dos ideas: la reutilización y las fuentes de recursos alternativos. De esta forma, el agua subterránea se puede convertir en una fuente alternativa para determinados usos en la ciudad. Hay que tener en cuenta que sobre la superficie permeable de los acuíferos se desarrolla la actividad antrópica, la agricultura, la industria, y por supuesto han crecido las ciudades. Hasta hace poco, el impacto de la urbe se ha considerado poco significativo en comparación con actividades como la agricultura o la industria que generan un gran volumen de vertidos, muy agresivos para el medio ambiente y capaces de afectar a grandes masas de agua.

En muchos casos los acuíferos sobre los que se asientan áreas urbanas se ven alterados en calidad y cantidad impidiendo su utilización más racional en relación con las demandas de agua que se crean como consecuencia del desarrollo y crecimiento de la población. Se aprecia que los procesos fundamentales que afectan a las aguas subterráneas en las ciudades no son tan diferentes de los que afectan a las áreas rurales, en cambio, las escalas de espacio y tiempo involucradas si lo son.

De este modo, se hace necesario el desarrollo de una nueva especialidad, la Hidrogeología Urbana, que estudie los acuíferos y su relación con la ciudad. Con el fin de acotar adecuadamente los objetivos y funciones de esta especialidad se propone la siguiente definición: **la Hidrogeología Urbana es el campo de la hidrogeología que trata del origen, localización, movimiento y características físicas, químicas y biológicas de las aguas subterráneas y de su relación con el medio ambiente, teniendo en cuenta las modificaciones producidas por el hombre en el desarrollo y mantenimiento de la ciudad.**

Un buen conocimiento de la hidrología urbana requiere un análisis detallado de los flujos de agua, de su magnitud y de la relación entre las diferentes fases del ciclo hidrológico, de cómo el desarrollo de la urbe modifica estos flujos y de la importancia que la alteración de la calidad del agua puede tener tanto en su función ecológica como sobre el uso actual o potencial de la misma.

En la geografía española existen numerosos ejemplos de ciudades que se han desarrollado sobre un acuífero, con frecuencia a expensas del mismo, al menos en sus primeras fases de desarrollo. Por citar alguno de los casos más significativos de ciudades que han crecido sobre grandes sistemas acuíferos, ya sean de tipo poroso o fisurado: León, Burgos, Palencia, Valladolid, Teruel, Castellón, Valencia, Albacete, Sevilla, Badajoz y Toledo, Salamanca, Zaragoza, Tarragona, Barcelona, Gerona, Lérida, Murcia, Madrid,

Almería, Granada. Hay otras desarrolladas sobre acuíferos aislados: Oviedo, Lugo, Pontevedra, Orense, Bilbao, San Sebastián, Ávila, Ciudad Real, Alicante y Córdoba.

La capacidad de la sociedad para satisfacer las necesidades humanas no ha ido aumentando en la misma medida que la población. El crecimiento de las ciudades expone a los habitantes de las grandes urbes a serios riesgos derivados de las condiciones ambientales. Uno de los objetivos de la Agenda 21 es lograr una mejora de los indicadores ambientales. La contaminación se debe, entre otros factores, a los cambios anteriores y actuales en las modalidades de consumo y producción, a los estilos de vida, la producción y utilización de energía, la industria, el transporte..., que no tienen en cuenta la protección del medio ambiente.

De ahí que se haya propuesto una colaboración entre el Ayuntamiento de Zaragoza (Servicio de Medio Ambiente) como órgano de gobierno local adscrito a la Agenda 21 y el Instituto Geológico y Minero de España como Organismo Público de Investigación para estudiar el impacto ambiental que supone la actividad urbana en las aguas subterráneas subyacentes.

Capítulo II
OBJETIVOS Y EQUIPO DE TRABAJO

II. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto ha consistido en tratar de definir, desde un punto de vista conceptual, la hidrogeología urbana, sus técnicas y las características diferenciadoras en otras ramas de la hidrogeología.

Para cumplir con este objetivo, se ha tomado a la ciudad de Zaragoza como modelo de interacción ciudad-acuífero. Los criterios de selección para realizar esta elección han sido los siguientes:

- Es una ciudad en expansión con cerca de 700.000 habitantes.
- Está asentada sobre un acuífero aluvial libre (nº 62 tramo Cortes-Gelsa).
- Su zona no saturada es de poco espesor.
- Se da un uso intensivo y extensivo al agua subterránea.
- Tiene una gran actividad industrial.
- Discurren tres cursos fluviales en su espacio urbano.

Por otra parte se tratará de caracterizar los factores de riesgo, la vulnerabilidad del sistema y el estado de afección en la ciudad de Zaragoza. Uno de los aspectos fundamentales consistirá en el estudio y selección de indicadores de actividad e impacto.

EQUIPO DE TRABAJO

La realización del proyecto ha sido posible gracias a la colaboración, directa o indirecta, de un equipo de trabajo multidisciplinar. En éste, se han incluido especialistas de los diversos campos implicados en el estudio del agua subterránea en medio urbano: geología, hidrogeología, química, medio ambiente, gestión urbana, edafología, etc...

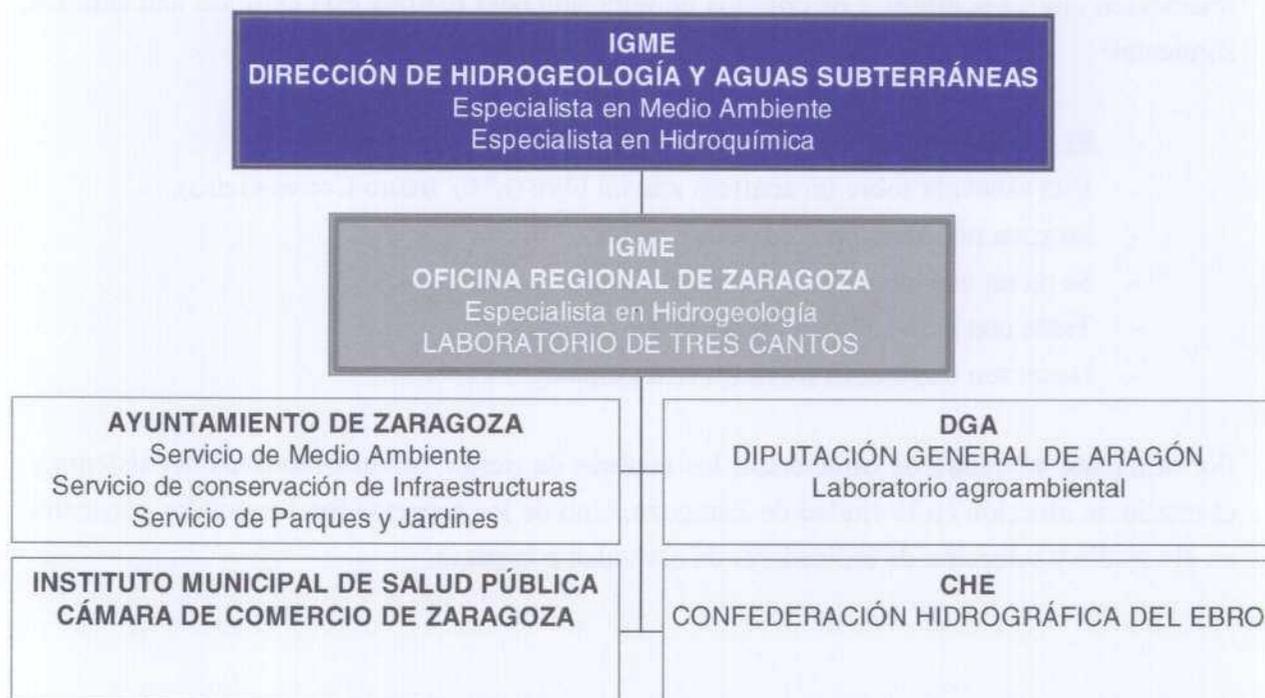


Figura 1.- Equipo de trabajo en el estudio de la ciudad de Zaragoza

Capítulo III
LA CIUDAD DE ZARAGOZA

III. LA CIUDAD DE ZARAGOZA

1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El estudio de la ciudad de Zaragoza permitirá realizar una aproximación tanto de los aspectos metodológicos como conceptuales de la Hidrogeología Urbana. Para ello se caracterizará la interacción de la ciudad con el medio hídrico subterráneo desde un punto de vista cualitativo. La calidad de un agua así considerada, debe ser analizada siempre en relación con los usos a los que se destina y ésta es consecuencia de las características geológicas de los materiales por los que circula, a la que deben añadirse las modificaciones antrópicas derivadas de las actividades socioeconómicas desarrolladas en la zona. De este modo, consideraremos la palabra “contaminación” como la pérdida cuantitativa del recurso al dejar de ser utilizable para alguno o todos los usos que tenía anteriormente.

Desde un punto de vista metodológico se establecerán los requerimientos que un estudio de hidrogeología urbana debe cumplir para alcanzar adecuadamente sus objetivos. Del mismo modo, se plantearán actuaciones concretas encaminadas a paliar, corregir o prevenir el impacto potencial o real detectado en los estudios de detalle.

2. ANTECEDENTES

El siglo XX ha sido testigo de dos grandes cambios demográficos a escala mundial. El gran aumento de población y el flujo migratorio desde el medio rural hacia las ciudades. Ello ha comportado una fuerte presión sobre los recursos de agua convencionales necesarios para abastecer las ciudades. Además, los núcleos de población suponen una gran agresión sobre el medio físico con implicaciones sobre la cantidad y calidad del agua subterránea que inciden en el concepto de desarrollo sostenible de las mismas. Aun siendo un tema relativamente reciente, la hidrogeología urbana se ha convertido en los últimos años en uno de los temas emergentes en el campo de la hidrogeología. Se trata de un tema con fuertes componentes científicos, tecnológicos, sociales, legales y económicos. (IGME, 2003)

El estudio del agua subterránea en zonas urbanas está motivado por su gran interrelación con el desarrollo socioeconómico y urbanístico de la ciudad. Los primeros trabajos sistemáticos sobre impacto de la actividad urbana en la calidad del agua, aunque referidos a aguas de escorrentía, datan de finales de la década de los setenta cuando se publica el trabajo de Kazi y Jalal “Water impacts of urbanization” (1977) y se sugiere el empleo de modelos de escorrentía. Pero, salvo algún trabajo aislado, no es hasta más de una década después cuando se empieza a sistematizar el estudio de la influencia de la ciudad sobre la

calidad de las aguas subterráneas (Gerritse 1990, Lerner 1992, Foster 1996). Los temas más tratados han sido los aspectos geotécnicos, el manejo de las aguas de escorrentía superficial, la contaminación de las aguas superficiales por arrastre de tormentas, y la afección cuantitativa al recurso. En lo que se refiere a nuestro país, existen ejemplos (Custodio 1997, Sánchez Vila 1996-7, Carrera 1997) aunque siempre relativos a casos muy concretos sobre gestión, infraestructura y modelización principalmente y en los que el peso dado a los aspectos cualitativos es ciertamente pequeño.

En la zona aluvial del Ebro se dan las condiciones adecuadas para que se puedan producir afecciones al medio hídrico subterráneo; pese a ello los trabajos no son numerosos y en ninguno de ellos aparece reflejado de manera clara este aspecto. Aquí destacaremos algunos de los trabajos más significativos:

Una de las primeras aportaciones al conocimiento del acuífero aluvial del Ebro, es el estudio realizado por el SGOP-CHE (1976): “Estudio Hidrogeológico de las Terrazas de los ríos Ebro y Gallego en la zona de influencia de Zaragoza”. Al margen del planteamiento hidrogeológico de dicho trabajo, se lleva a cabo un estudio de extracciones y consumos de agua subterráneas.

Durante el año 1982, el IGME realiza el “Proyecto de Investigación de Aguas Subterráneas”. Supone una recopilación y puesta al día de la información hidrogeológica disponible. Se define el “Sistema acuífero número 62. Aluvial del Ebro y Afluentes”, llegando a establecer un estudio de usos y un balance de recursos a nivel de las terrazas del Ebro.

En 1985, la empresa INYPSA Informes y Proyectos, S.A, llevó a cabo un estudio para la Diputación General de Aragón (Departamento de Urbanismo Obras Públicas y Transportes- Servicio Regional de Protección del Medio Ambiente), un estudio de “Inventario de Residuos y Localización de un vertedero controlado en las proximidades de Zaragoza”. En este estudio se realiza un estudio detallado de variables climáticas, características socioeconómicas (población y actividades industriales), así como datos sobre generación de residuos.

El SGOP-CHE (1990), llevó a cabo un estudio donde se definen las Unidades Hidrogeológicas nº 27 y 28: “Aluviales del Ebro. Tramo Cortes-Gelsa” y “Aluvial del Gallego” respectivamente. El estudio se denomina “Estudio de los recursos hidráulicos subterráneos de los acuíferos relacionados con la Provincia de Zaragoza. En él, se realizó una actualización de los datos climáticos hidrogeológicos y de usos y demandas. Puede considerarse el estudio más completo a escala regional del entorno municipal de Zaragoza.

Por lo que se refiere a los impactos de **origen urbano y doméstico**, en el trabajo del I.G.M.E (1983) se trata de forma general la contaminación del acuífero aluvial del Ebro y se hace referencia a un trabajo del S.G.O.P que con carácter pionero se realizó en 1976. En dicho estudio se muestrearon 46 puntos cercanos a la ciudad de Zaragoza, 13 de los cuales dieron valores significativos de coliformes, indicador claro de contaminación fecal. A la vista de los resultados obtenidos se concluye que existe contaminación orgánica en ciertos sectores del acuífero, pero que en esos momentos no ofrece graves problemas de contaminación bacteriológica.

Por otro lado, en Bielza, V. y Martínez Gil, J. Et al (1993), se analiza la posibilidad de contaminación urbana; pero la escasez de análisis realizados y la carencia de determinación de ciertos parámetros inequívocos de este tipo de contaminación (DBO₅, amonio y nitritos) impiden el establecimiento de conclusiones claras al respecto.

Todo lo dicho anteriormente lleva a plantear la necesidad de realizar estudios complementarios en los que se analice la contaminación, disponiendo de un mayor número de análisis específicos que permitan cubrir todas aquellas zonas en las que existe mayor riesgo.

Desde el punto de vista de la **contaminación industrial**, los trabajos realizados en la zona tampoco son numerosos. Cabe destacar algunos estudios de carácter puntual realizados por el I.G.M.E (1983), el S.G.O.P (1992) y la Universidad de Zaragoza (1993). Un rápido repaso de dichos trabajos permite observar que en todos ellos se realizan análisis de diversos microcontaminantes pero el carácter puntual de los mismos y el limitado número de muestras consideradas impide el conocimiento de la situación real del acuífero. En el estudio del I.G.M.E se analizan 27 muestras tomadas en puntos cercanos a las principales áreas industriales determinando en todas ellas fluoruros, cianuros, fosfatos, Cd, Pb, Cr, Mn, Zn y Cu. En todas las muestras se encontraron contenidos muy inferiores a los límites establecidos por las normas de potabilidad, aunque si se refleja una cierta contaminación incipiente en elementos metálicos y fosfatos. El carácter puntual de dichas muestras impide la extrapolación de tales datos a la totalidad del acuífero.

Por parte del S.G.O.P y a raíz del problema local surgido tras la aparición de suelos contaminados en el solar de la antigua factoría de TUDOR, ha llevado a cabo una serie de determinaciones puntuales analizando metales pesados en aguas subterráneas, recogiendo un total de 32 muestras. Los resultados muestran la presencia de metales pesados en la mayoría de las muestras, superándose con frecuencia los contenidos admitidos por las normas de potabilidad.

Finalmente cabe mencionar el trabajo realizado por diversas cátedras de la Universidad de Zaragoza, bajo la financiación particular de la Fundación Nueva Empresa, en la que el objetivo central era la actualización del estado del conocimiento sobre la contaminación de las aguas subterráneas en la zona del Corredor del Ebro y la relación de ésta con los diversos usos del suelo de la misma. Los resultados reflejan la existencia de cierto grado de contaminación industrial, correlacionable con la ubicación de las áreas industriales más importantes.

Como se puede ver, si bien algunas de las zonas en las que se han realizado análisis previos reflejan cierto grado de contaminación puntual, no permite establecer la situación global de la calidad del acuífero.

Referentes a la **contaminación agropecuaria**, destacaremos los trabajos de I.G.M.E (1983) y Bielza , V. y Martínez Gil, J. Et al. (1993). En el primero de ellos se analiza la contaminación agrícola en la zona en estudio tras realizar un repaso general de las características del sector agrario en el aluvial, se observa la presencia de áreas con concentraciones de nitratos superiores a 50 mg/L; en relación a los pesticidas, no se advierte su presencia en ninguna de las muestras seleccionadas.

En el segundo de los trabajos, el estudio de la contaminación por nitratos aporta mayor detalle, al conocerse los resultados de un total de 50 muestras y de 11 en el caso concreto de pesticidas. Se muestran zonas aisladas con concentraciones superiores al límite establecido por las normas de potabilidad, siendo en casos puntuales muy elevados, por lo que el grado de contaminación alcanza niveles preocupantes.

Todo lo descrito anteriormente, aunque pone de manifiesto el limitado conocimiento que se tienen sobre el estado actual de la contaminación de las aguas subterráneas en la zona del aluvial del Ebro, revela además que las condiciones del acuífero y el modo de desarrollarse las diferentes actividades socioeconómicas constituyen causas de primera magnitud en el problema de la contaminación.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 Introducción

El desarrollo del trabajo se ha realizado según una metodología clásica basada en los siguientes pasos: análisis conceptual del problema, estudio del estado del arte a escala local, nacional y supranacional, toma de datos en campo, análisis de resultados, comparación con otros trabajos, síntesis de la información y elaboración de conclusiones. De forma resumida, la implementación de estos pasos se ha realizado en base a las siguientes fases, en que ha sido dividido el proyecto:

- 1) Revisión bibliográfica y búsqueda de datos
- 2) Trabajo de campo para la elaboración de un inventario de puntos de agua
- 3) Inventarios de focos de contaminación
- 4) Establecimiento de una red de control en la que se han realizado medida y toma de muestras durante dos campañas
- 5) Campaña de suelos
- 6) Tratamiento e interpretación de los datos obtenidos

3.2 Revisión bibliográfica y búsqueda de datos

La bibliografía existente sobre estudios hidrogeológicos en medio urbano empieza a ser abundante, la mayoría trata de aspectos cuantitativos (escorrentía, aguas de tormenta, balance...) aunque no son raros los trabajos que hacen referencia a temas relacionados con la hidroquímica y control de contaminación (vertido de sustancias tóxicas sobre el terreno, control y remediación, deposición seca y húmeda, etc.)

Se ha llevado a cabo una recopilación, revisión y síntesis bibliográfica, con el fin de sistematizar la información encontrada y permitir un análisis más eficaz de la misma. Para ello, se han ordenado los documentos en dos grandes grupos: aspectos cuantitativos y aspectos cualitativos, subdivididos, cada uno de ellos, a su vez en cinco apartados (ver Tabla 1).

Tabla 1.-Clasificación de la información

| A.- ASPECTOS CUALITATIVOS | | B.- ASPECTOS CUANTITATIVOS | |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| A1 | Hidrogeología urbana en general | B1 | Escorrentía superficial |
| A2 | Escorrentía superficial (B1-B2) | B2 | Aguas de lluvia y tormenta |
| A3 | Sustancias tóxicas | B3 | Balances |
| A4 | Control y remediación | B4 | Uso y gestión |
| A5 | Deposición seca | B5 | Sistemas de Información Geográfica |

En el CD adjunto se presenta de forma extensa la bibliografía recopilada.

La procedencia de la documentación consultada ha sido variada:

⇒ *Información de Bases de Datos*: ICYT (Ciencia y Tecnología), Chemical Abstract, Biological Abstracts, Current Contents, Analytical Abstracts, Poltox II, Georef, Geominer, Teseo, IAH – CGUA.

⇒ *Congresos sobre Hidrogeología Urbana*: Boston 96 (Hydrology and Hydrogeology of Urban and Urbanizing Areas), Nottingham 97 (Proceedings of the XXVII IAH Congress on Groundwater in the Urban Environment)

⇒ *Datos facilitados por organismos o instituciones como*:

- Cámara de Comercio de Zaragoza. (Listado de Industrias actualizado con índices IAES (Impuesto de Actividades Económicas) del Término Municipal de Zaragoza).
- Registro Industrial del Ministerio de Industria. (Listado de Industrias actualizado con códigos CNAE Clasificación Nacional de Actividades Económicas) del Término Municipal de Zaragoza.
- Departamento de Urbanismo del Ayuntamiento de Zaragoza. Servicio de Cartografía del Ayuntamiento de Zaragoza (Cartografía a escala 1:10.000).
- DGA - Gobierno de Aragón y Fundación Nueva Empresa (Contaminación del Acuífero Aluvial del Corredor del Ebro).
- Universidad de Zaragoza; Facultad de Ciencias Geológica. Departamento de Hidrogeología. (Estudio del corredor industrial aguas abajo de la ciudad de Zaragoza).
- Servicio de Conservación de Infraestructuras del Ayuntamiento de Zaragoza (bases de datos de la explotación de las redes de alcantarillado de Zaragoza y cartografía a escala 1:10.000).
- Servicio de Gestión Tributaria del Ayuntamiento de Zaragoza (Base de datos actualizada de la red de control de los usuarios que vierten al colector municipal).
- Instituto Municipal de Salud Pública de Zaragoza (Inventario de Consumos de Agua ajenos a la Red de Abastecimiento del Término Municipal de Zaragoza).
- Servicio de Parques y Jardines del Ayuntamiento de Zaragoza (Información sobre la gestión de los espacios públicos: abonado, cuidado...).
- Departamento de Servicios Industriales del Ayuntamiento (Información acerca de Estaciones de Servicio - Gasolineras).
- Departamento de calidad del agua del Ayuntamiento (Información sobre la calidad del agua del cauce del Ebro en distintas épocas).
- Confederación Hidrográfica del Ebro (Base de datos de puntos de agua).

- Oficina Regional del ITGE en Zaragoza (Intercambio de Información y colaboración en el proyecto).
- IGN- Instituto Geográfico Nacional y Servicio Cartográfico del Ejército (Cartografía 1:25.000). Casa del Mapa y Tienda Verde.

3.3 Inventario de puntos de agua. Trabajo de campo.

Previamente a la realización del trabajo de campo, se llevó a cabo en gabinete un inventario de puntos de agua ubicados en el casco urbano de Zaragoza. Se consultaron los inventarios de puntos de aguas pertenecientes a diferentes organismos: IGME (Instituto Geológico y Minero de España), CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro) y la empresa GEMASA (Geología y Medio Ambiente, S.A.). Se revisaron aproximadamente unos 312 puntos de agua (192 pertenecientes a GEMASA, 66 al IGME, 54 de la CHE).

La mayoría de los puntos inventariados corresponden a pozos o sondeos localizados en industrias, zonas verdes y asociaciones o comunidades de propietarios. El principal uso de esta agua es el riego, aunque en algunos casos, también se emplea para uso industrial, y en menor medida en la actualidad ninguno para abastecimiento. Una vez elaborado el inventario y localizados los puntos, se llevó a cabo el trabajo de campo para seleccionar aquellos que constituirían posteriormente la red de control urbana. Los principales criterios para la selección de los puntos que integran la red de control han sido los siguientes:

1. Distribución y caracterización homogénea de los puntos dentro de la ciudad.
2. Accesibilidad.
3. Selección de zonas potenciales de riesgo para la contaminación de las aguas.

3.4 Inventario de focos de contaminación

Simultáneamente a la realización del inventario de puntos de agua, se llevó a cabo otro de actividades potencialmente contaminantes para las aguas subterráneas. Dentro de estas se han diferenciado focos puntuales y areales:

◊ *Focos puntuales de contaminación*: afectan a una zona de pequeña extensión producida por focos de dimensiones reducidas. Entre ellos están las principales industrias, estaciones de servicio, ambulatorios, lavanderías, cementerios, mataderos, etc...

◊ *Focos areales de contaminación*: están asociados a actividades de carácter extensivo que afectan a grandes superficies, se han considerado: actividades agrícolas o asimilables (zonas verdes, parques y jardines, y vías férreas) por el empleo de fertilizantes y fitosanitarios.

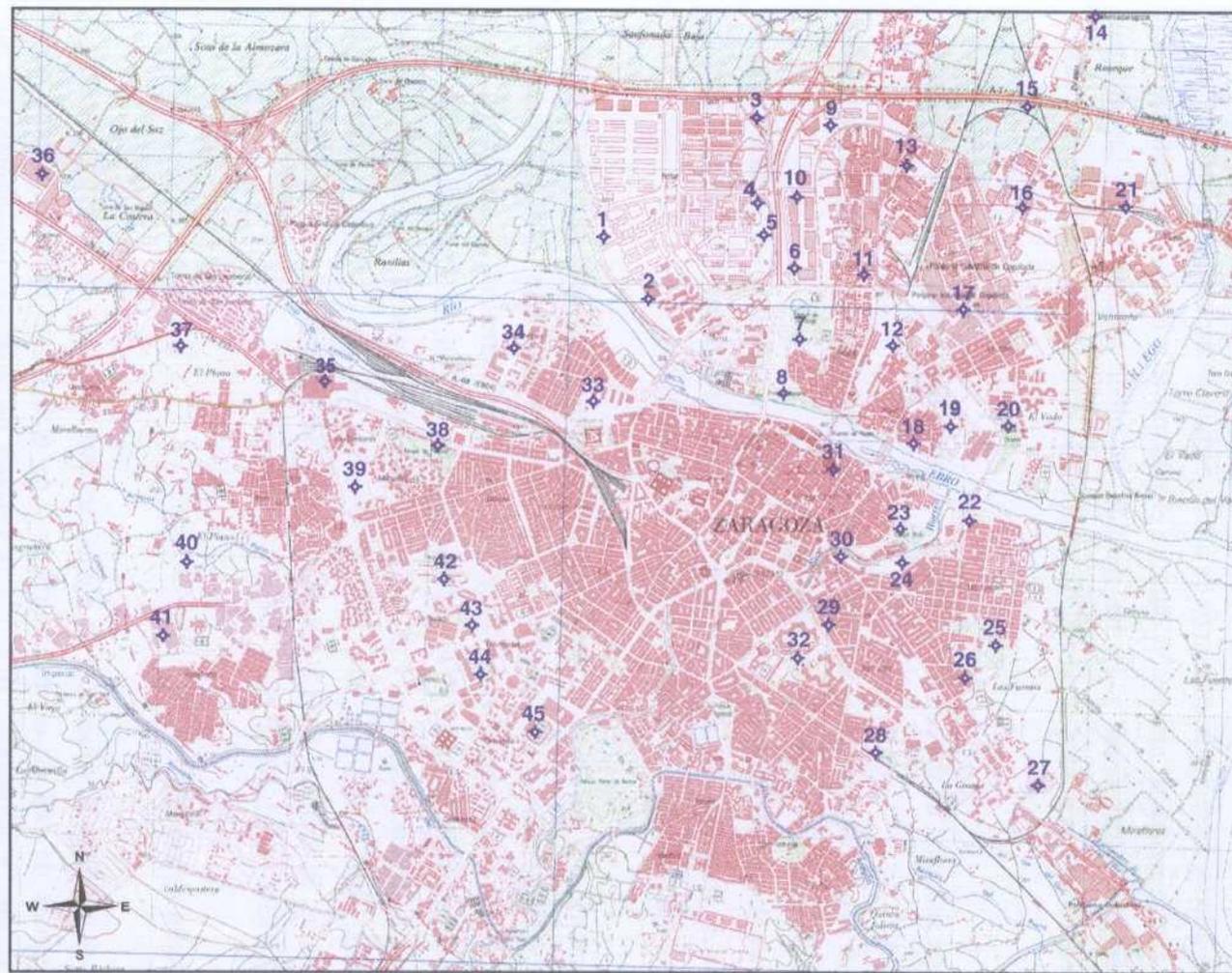
3.5 Red urbana de control de agua subterránea

Una vez realizado el inventario de puntos de agua, se llevó a cabo una selección de los 45 que conformarían la red de control de las aguas subterráneas, de ellos 35 corresponden a

sondeos y los 10 restantes a pozos. La red engloba todo el casco urbano y área de influencia de la ciudad. Los pozos han sido de más fácil acceso en las nuevas áreas de expansión de la urbe que en las zonas más antiguas y consolidadas de la ciudad donde abundan sondeos dobles integrados en circuitos internos de refrigeración o descalcificación, sondeos clausurados e incluso captaciones no declaradas, de las que no hay constancia de su existencia en ningún inventario. En el Plano 1 se presenta la situación de los puntos de la red. Se observa una franja sin muestrear en la zona más antigua de la ciudad que sólo podría ser controlada mediante la colaboración del Ayuntamiento, construyendo nuevos sondeos situados de forma estratégica.

Tabla 2.- Red de control de las aguas subterráneas de la ciudad de Zaragoza

| Punto | Situación-Propietario | X | Y | Naturaleza | Profundidad m | Uso |
|-------|--|--------|---------|------------|---------------|-----------------------|
| 1 | Actur | 675250 | 4615475 | sondeo | 18 | riego |
| 2 | Actur | 675650 | 461520 | sondeo | 18 | riego |
| 3 | Actur área 9 | 676325 | 4616350 | sondeo | 18 | riego |
| 4 | Actur área 13 Norte | 676375 | 4615750 | sondeo | 18 | riego |
| 5 | Área 13 sur | 676475 | 4615500 | sondeo | 18 | riego |
| 6 | Glorietas del Papa | 676650 | 4615250 | sondeo | 20 | riego |
| 7 | P. Tío Jorge | 676700 | 4614750 | sondeo | 20 | riego |
| 8 | P. Macanaz | 676625 | 4614300 | sondeo | 20 | riego |
| 9 | P. Salvador Allende | 676900 | 4616325 | sondeo | 20 | riego |
| 10 | Piscinas CAI | 676700 | 4615800 | pozo | 20 | riego y baño |
| 11 | Piscinas Balsas Ebroviejo | 677200 | 4615250 | pozo | 20 | riego y baño |
| 12 | P. Estación del Norte | 677400 | 4614750 | sondeo | 20 | riego |
| 13 | Fundición Rico Echevarria - pozo Danielli | 677500 | 4616125 | pozo | 20 | industria |
| 14 | Restaurante- María Gil Fustero | 678600 | 4617000 | pozo | 20 | riego y refrigeración |
| 15 | P. áreas 19-20-21 (Cno. Corbera) | 678400 | 4616550 | sondeo | 20 | riego |
| 16 | Pásticos Fleta (Cno. Cogullada) | 678375 | 4615800 | pozo | 20 | industria |
| 17 | Lavandería La Higiénica (Cno. Torrecillas) | 677900 | 4615000 | pozo | 20 | lavado |
| 18 | P. de la Ribera (Cadrete) | 677625 | 4613925 | sondeo | 20 | riego |
| 19 | Jardines Tosos | 677850 | 4614130 | sondeo | 20 | riego |
| 20 | P. Oriente | 678300 | 4614140 | sondeo | 20 | riego |
| 21 | Cromados Cinc. Torremocha | 679140 | 4615850 | pozo | 20 | industria |
| 22 | P. Puente de la Unión | 678050 | 4613380 | sondeo | 20 | riego |
| 23 | P. Bruil | 677500 | 4613340 | sondeo | 20 | riego |
| 24 | P. Glorietas de Goya | 677530 | 4613090 | sondeo | 20 | riego |
| 25 | P. Torreramona | 678270 | 4612500 | sondeo | 20 | riego |
| 26 | Giesia Schindler S.A. (San Joaquín) | 678090 | 4612250 | pozo | 20 | industria |
| 27 | TUZSA | 678600 | 4611690 | pozo | 20 | lavado |
| 28 | P. de la Granja | 677380 | 4611640 | sondeo | 20 | riego |
| 29 | CIUVASA (Reina Fabiola 37) | 677050 | 4612590 | pozo | 20 | refrigeración |
| 30 | P. del Canódromo | 677125 | 4613125 | sondeo | 20 | riego |
| 31 | El Justicia | 677020 | 4613750 | sondeo | 20 | refrigeración |
| 32 | P. Miraflores | 676770 | 4612350 | sondeo | 20 | riego |
| 33 | P. de la Aljafería | 675200 | 4614250 | sondeo | 20 | riego |
| 34 | Jardines de Lisboa y Atenas- Ptas Sancho | 674600 | 4614600 | sondeo | 20 | riego |
| 35 | Centro Comercial Augusta (Avda. Navarra) | 673200 | 4614350 | sondeo | 20 | riego |
| 36 | El Portazgo | 671040 | 4615875 | sondeo | 20 | industria |
| 37 | P. Vista Bella (pol. 56 - II) | 672120 | 4614520 | sondeo | 20 | riego |
| 38 | P. Castillo Palomar | 674060 | 4613820 | sondeo | 20 | riego |
| 39 | P. Sedetania | 673480 | 4613500 | sondeo | 20 | riego |
| 40 | P. Oliver | 672230 | 4612900 | sondeo | 20 | riego |
| 41 | P. Al Campo - Valdefierro | 672050 | 4612390 | sondeo | 20 | riego |
| 42 | P. Delicias (antiguo psiquiátrico) | 674125 | 4612875 | sondeo | 20 | riego |
| 43 | Jardines de Avempace y Avicebron | 674300 | 4612550 | sondeo | 20 | riego |
| 44 | Jardines de la Taifa Saraquista | 674400 | 4612175 | sondeo | 20 | riego |
| 45 | La Romareda | 674800 | 4611730 | sondeo | 20 | riego |



Plano 1. Red de control urbana

En la Tabla 2, se muestra la situación y las características generales de los puntos seleccionados. Se trata en su mayor parte de pozos y sondeos de poca profundidad (menos de 40 metros) ranurados en toda su extensión y con el equipo de bombeo instalado. Este hecho ha dificultado notablemente la toma de muestra. Los niveles piezométricos se encuentran relativamente cercanos a la superficie del terreno, entre 3 y 15 metros.

El muestreo de los puntos de la red se realizó durante dos campañas. La primera durante octubre de 2000 y la segunda en marzo de 2001. Simultáneamente al muestreo, se han analizado, con el fin de evitar su alteración durante el transporte y almacenamiento: pH, T^a, conductividad eléctrica, alcalinidad y se ha medido el nivel piezométrico. En algunas ocasiones, el muestreo en los puntos de la red ha presentado dificultades, entre las que caben destacar:

- La presencia de sistemas de descalcificación en las aguas destinadas a alimentar sistemas de lavado.
- La medida del nivel piezométrico ha sido imposible, en algunos casos, por el difícil acceso a los pozos, generalmente sondeos equipados.
- La existencia de sondeos que forman parte de circuitos cerrados de refrigeración en los cuales la toma de muestras es muy difícil, sobre todo si se quiere que no esté alterada debido a cambios en las condiciones físico-químicas del medio.

En el laboratorio del IGME se han analizado parámetros físico-químicos, componentes mayoritarios y metales pesados. Los métodos analíticos empleados han sido: conductividad eléctrica: electrometría; pH: electrometría; Ca y Mg: espectrofotometría de absorción; Na y K: espectrometría de emisión atómica; CO₃: volumetría; SO₄, HCO₃, Cl, PO₄, SiO₂, NO₃, NO₂, NH₄: autoanalizador de flujo continuo. Los análisis de metales pesados (21 elementos: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V y Zn) se han determinado mediante la técnica de ICP masas (equipo de Espectrometría de Emisión de Plasma modelo JARREL-ASH, ICAP-61)

3.6 Campaña de suelos

De forma simultánea al muestreo de aguas, se han recogido 40 muestras de suelos próximas a los puntos de red de control urbana. Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio del IGME. Los análisis físicos consistieron en análisis granulométricos por tamizado y Sedigraph en cuatro muestras (nº 19, 30, 31 y 39). Los análisis químicos realizados fueron los siguientes: materia orgánica (valoración con sulfato ferroso amónico del exceso no consumido de dicromato potásico), análisis semicuantitativo de la fracción arcilla por difracción de rayos X (Método de polvo cristalino y medida en equipo Philips PW-1700. Tubo de cobre, monocromador de grafito y rendija automática) y pH en suspensión suelo (agua en

relación 1:2, 5). Los análisis de elementos traza y mayoritarios (Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Ti, V, W, Y, Zn) han sido realizados mediante Espectrometría de emisión por Plasma inductivamente acoplado (ICP/AES) con equipo TJA ICAP-61 (ataque multiácido a sequedad - HF + HNO₃ + HClO₄ - y disolución de HCl 10%)

3.7 Tratamiento e interpretación de los datos obtenidos

La información obtenida en campo, los análisis de laboratorio y la información bibliográfica han sido analizados y elaborados según se comenta a continuación:

A) Datos químicos de aguas

Se ha realizado la representación de los datos analíticos para facilitar la interpretación y posterior obtención de conclusiones.

A partir de los datos analíticos de los elementos mayoritarios y otros parámetros físico-químicos obtenidos de los puntos de la red de control establecida, se ha definido la composición de las aguas subterráneas urbanas.

Los datos químicos correspondientes a elementos minoritarios o traza han permitido realizar una valoración del nivel de afección de metales pesados.

B) Evaluación de factores de riesgo

Se llevó a cabo una recopilación de datos de las actividades susceptibles de contaminar directa o indirectamente las aguas subterráneas: sistemas de abastecimiento, red de alcantarillado, actividades agrícolas y zonas verdes, actividad industrial, etc.... A partir de estos datos se realizó un análisis de dicha información y mapas de riesgo potencial para las distintas actividades consideradas.

C) Elaboración de mapas de afección

Para una mejor interpretación de los resultados, se han elaborado mapas de distribución de los metales más representativos en las dos campañas.

D) Calidad del agua subterránea en función de su uso

Se ha llevado a cabo un estudio de la calidad del agua subterránea en función de los distintos usos que hay en la zona de estudio. Estos usos son principalmente: consumo, riego e industrial.

E) Datos analíticos de suelos

A partir de las muestras de suelos recogidos en lugares coincidentes de la red de control de aguas subterráneas, se han elaborado mapas de afección teniendo en cuenta la concentración en el suelo de los distintos elementos analizados

Posteriormente, en el apartado de Resultados y Conclusiones se procederá a realizar un análisis más detallado de éstos puntos.

4. MEDIO FÍSICO

4.1 Marco geográfico y socioeconómico

La provincia de Zaragoza adopta la forma de un triángulo con su ángulo más agudo hacia el E, entre las provincias de Navarra y Huesca. Es la cuarta provincia española por su extensión, 17.274 Km², aunque su población es bastante reducida: 842.419 habitantes en 1996 (Fuente: Anuario Comercial de España "La Caixa" 1998). Se halla situada a 240 metros de altitud sobre el nivel del mar, en el centro de la depresión del Valle del Ebro, río que cruza en sentido diagonal con dirección NO-SE. En ella confluyen, además del Ebro, los ríos Gállego y Huerva, así como el Canal Imperial de Aragón.

En el relieve zaragozano se diferencian perfectamente dos regiones naturales: la zona occidental, perteneciente al Sistema Ibérico, con un conjunto de sierras paralelas y escalonadas- Moncayo, Vicor, Algairén - separadas por parameras áridas y vegas fértiles, como las del valle del Jalón; el resto de la provincia, perteneciente a la depresión del Valle del Ebro, con llanuras bajas junto al río y llanuras altas al alejarse de las terrazas marginales. Son tierras de aulos profundos, arcillosos y bastante fértiles.

El Ebro, desde que entra en la Depresión central circula por terrenos blandos - arcillas, yesos y arenas- que condicionan su curso divagante. La ausencia de vegetación favorece la erosión y la excavación de amplios valles en forma de cubeta.

El cauce excavado entre los yesos y margas forma considerables escarpes casi verticales de hasta 200 m. de altura. En estos materiales, blandos pero coherentes, la erosión se realiza por paneles verticales, mientras las paredes retroceden paralelamente a sí mismas conservando un aspecto de muralla. La erosión lateral conforma una serie de conos de deyección muy numerosos, algunos de los cuales por su gran extensión al pie de las vertientes han determinado que el río los rodee en extensos meandros. Por otro lado en la margen derecha del río se han encajado las sucesivas terrazas del Ebro dando lugar a un relieve muy suave con extensas llanuras escalonadas.

La actividad económica en la provincia de Zaragoza se divide de la siguiente manera, según el Anuario Comercial de España “La Caixa” 1998:

Nivel económico: 6
Cuota de mercado: 2.153
Índice turístico: 1.486
Índice de actividad económica: 2.681

La actividad económica es fundamentalmente agrícola, si bien en los alrededores del núcleo urbano se disponen, no sólo de la clásica industria de productos de transformación del campo, sino también polos industriales de variada producción. En los términos municipales que engloban los diversos terrenos de las franjas aluviales, la superficie cultivada es superior al 50 % del total, y a su vez el regadío ocupa más del 50 % de las tierras labradas. Los cultivos regados cubren la mayor parte de las zonas aluviales más próximas a los ríos y en general toda una amplia zona dominada por los canales de riego. En el secano, de suelo generalmente muy salino, domina el trigo y en menor medida la viña y los olivares.

La actividad agrícola ha favorecido la instalación de industrias relacionadas con el sector, lo que hace que esta zona sea claramente progresiva frente al resto de la región. Los polos de desarrollo determinan que la industria evolucione hacia otros sectores entre los que destaca el metalúrgico y el de la automoción. Hay que citar que si bien a lo largo del río Ebro no son frecuentes las instalaciones hidroeléctricas, el elevado caudal del Segre, ha propiciado la instalación de centrales fluyentes de poco salto con una potencia instalada total de 67.440 KW.

El aumento de la población en la zona ha sido fiel reflejo de la evolución económica. La densidad de población actual es del orden de 200 hab/Km² frente a los 29 hab/Km² del total de la cuenca del Ebro o los 61 hab/Km² de la media nacional (datos del CSIC). Esta ha sido la evolución: (Fuente: Anuario Comercial de España “La Caixa” 1998 e INE 2005)

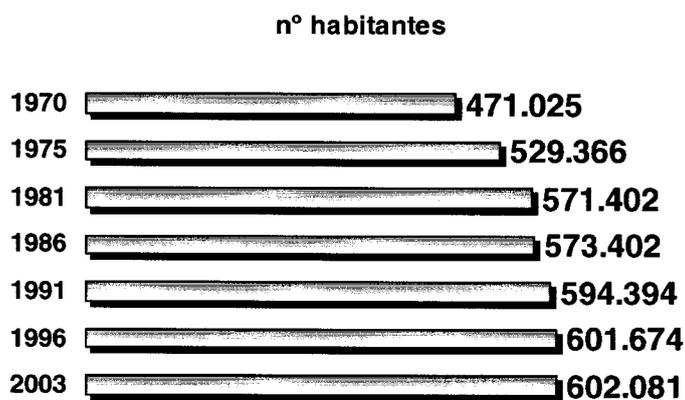


Figura 2.- Datos de población correspondientes a los años 1970-2003

La tendencia de crecimiento ha experimentado en la actualidad un estancamiento que hace imprevisible el movimiento futuro, muy dependiente de decisiones políticas de reordenación territorial y de los planes hidráulicos que se adopten en la Cuenca del Ebro.

A excepción de Zaragoza con un crecimiento de 30.000 hab /año, en el resto de municipios se observa un estancamiento con un crecimiento leve que se localiza en las zonas de regadío.

El Término Municipal de Zaragoza constituye el foco de mayor densidad de población en todo Aragón, con valores del orden de 525 habitantes por Km², cifra anormalmente alta si se compara con la media provincial de 48 hab / Km². Las variables económicas más significativas como puedan ser la renta, el empleo o la producción, presentan una distribución muy heterogénea a escala provincial. Existen municipios dedicados por entero a actividades agrícolas en unas ocasiones o prácticamente industriales en otras (como es el caso de Zaragoza). (Fuente: Ayto. Zaragoza. Área de Acción Social y Salud Pública 1996)

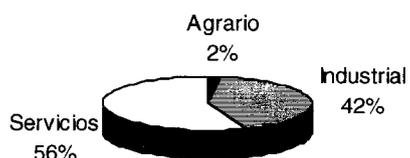
Los datos del mercado de trabajo de España durante el tercer trimestre de 1997 arrojan, en cifras absolutas (miles), los siguientes datos para la provincia de Zaragoza (Fuente INE):

- Población de 16 y más años en viviendas familiares: 705,2 (342.7 hombres y 362.5 mujeres)
- Población activa: 361.3 (224.3 hombres y 137.0 mujeres)
- Población inactiva: 340.6 (115.1 hombres y 225.5 mujeres)
- Población de 16 y más años que trabaja : 307.0 (202.3 hombres y 104.7 mujeres)
 - En agricultura: 21.1
 - En industria: 85.0
 - En construcción:20.8
 - En servicios:180.1
 - Parados: 54.3 (22.0 hombres y 32.3 mujeres)

La renta per cápita media provincial es un 10,2 % inferior a la de Zaragoza capital. Los porcentajes de ocupación de la población activa, considerando los sectores de servicios, industrial y agrario son los que se muestran en las Figuras 3 y 4. (Fuente: Ayto. Zaragoza. Área de Acción Social y Salud Pública 1996)

Tanto a escala local como provincial, es el sector secundario de servicios el que genera más empleo. No obstante, si se analizan los valores de producción, considerando los mismos sectores, se obtienen los resultados reflejados en las Figuras 3 y 4. (Fuente: Ayto. Zaragoza. Área de Acción Social y Salud Pública 1996)

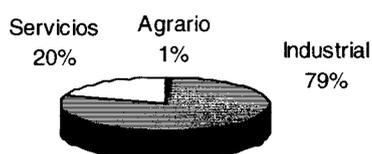
Porcentajes de ocupación de la población activa (ZARAGOZA)



| | AGRARIO | INDUSTRIAL | SERVICIOS |
|-----------|---------|------------|-----------|
| ZARAGOZA | 2% | 42% | 56% |
| PROVINCIA | 12% | 39% | 49% |

Figura 3.- Porcentajes de ocupación de la población activa

Valores de producción (ZARAGOZA)



| | AGRARIO | INDUSTRIAL | SERVICIOS |
|-----------|---------|------------|-----------|
| ZARAGOZA | 1% | 79% | 20% |
| PROVINCIA | 7% | 58% | 35% |

Figura 4.- Valores de producción según los distintos sectores

El sector industrial, a pesar de emplear un menor porcentaje de recursos humanos, representa los valores de producción más elevados tanto a escala provincial como local.

Desde el punto de vista de las actividades que se incluyen en cada sector, se pueden citar por orden de importancia (referidas a valores de producción totales) los siguientes componentes:

- a) **Industrial** (Transformaciones metálicas; Industria alimentaria; Construcción, Industria textil; Industria del papel; Industria química; Industria de la madera; Agua, gas y electricidad; Cerámica, vidrio y cemento; Otras industrias manufactureras, Minería extractiva).
- b) **Servicio** (Comercio, Transporte y comunicaciones, Enseñanza y sanidad, Hostelería)
- c) **Agrícola** (Cereal, Forrajeras, Frutales, Vid-olivo, Hortalizas)
- d) **Ganadero** (Porcino, Ovino, Vacuno, Avicultura, Apicultura)

La concentración industrial y de empresas de servicios que constituye el término municipal de Zaragoza, genera una importante demanda de recursos hidráulicos para usos distintos a los puramente domésticos. Esta demanda, combinada con unas características

geológicas que determinan la posibilidad de obtención de aguas subterráneas con obras relativamente poco costosas (20-30 m. de perforación), determina la proliferación de este tipo de captaciones.

4.2 Medio Natural

La depresión del Ebro flanqueada por el Sistema Ibérico, las estribaciones meridionales de la cadena pirenaica y la cordillera litoral catalana son territorios de gran interés geobotánico. La aridez y continentalidad del clima unida a la pobreza y frecuente salinidad de los suelos comunica originalidad a la flora de este territorio.

La vegetación de la Depresión del Ebro presenta un marcado carácter substepario. Las pequeñas elevaciones que rodean la cubeta central están cubiertas por bosques muy abiertos de pino carrasco (*Pinus halepensis*) acompañados por romerales y aulagares. El centro, exceptuando la pequeña zona de influencia del Ebro donde aparece un bosque en galería de chopos, olmos, sauces, y tarays, está mayoritariamente ocupado por matorrales gypsófilos y formaciones gramínoideas xéricas que responden a las difíciles condiciones del aprovisionamiento hídrico. Los bosques, que constituían el estadio terminal de la serie dinámica de la vegetación han resultado en su mayor parte destruidos. Sólo se conservan en aquellas zonas alejadas de los asentamientos humanos que coinciden con terrenos de difícil aprovechamiento agrícola. Por ello, la mayor parte del Ebro está cubierta por matorrales de sustitución de los primitivos bosques, comunidades halófilas en las "saladas" y extensas formaciones nitrófilas antropozoógenas como los sisallares (*Salsola vermiculata*) y ontinares (*Artemisia herba-alba*). El mosaico de unidades de vegetación que puede distinguirse en la estepa aragonesa de los alrededores de Zaragoza es el siguiente:

- Matorrales calcícolas sobre calizas del páramo o calcarenitas. Se caracterizan por la ausencia de gypsófilos exclusivos. A menudo incorporan algún espino, coscoja, pinos y sabinas. Delimitan externamente en el núcleo central del Ebro.
- Matorrales gypsófilos (aljezares) sobre cerros y laderas margo-yesosas.

4.3 Geología

El núcleo urbano y los polígonos industriales adjuntos de Zaragoza, quedan encuadrados desde el punto de vista geológico sobre el centro de la depresión del Ebro. Los materiales presentes pertenecen a los sistemas Terciario y Cuaternario. Los depósitos terciarios constituyen facies evaporíticas con predominio de yesos y margas que culminan con relieves calcáreos (muelas). Son de permeabilidad muy reducida y constituyen el nivel de base de los acuíferos superficiales. Longitudinalmente, y siguiendo las trazas de los ríos Ebro,

Gallego y Huerva, se desarrollan los aluviales cuaternarios compuestos por gravas, arenas y limos. Estos depósitos, denominados terrazas, se disponen en niveles subparalelos al cauce del río que los genera.

La zona de estudio corresponde así, al centro de la cuenca sedimentaria en la que predominan los yesos. En ellos, el río Ebro ha excavado su cauce a la vez que recibe los aportes de una densa red fluvial más o menos simétrica en ambas márgenes.

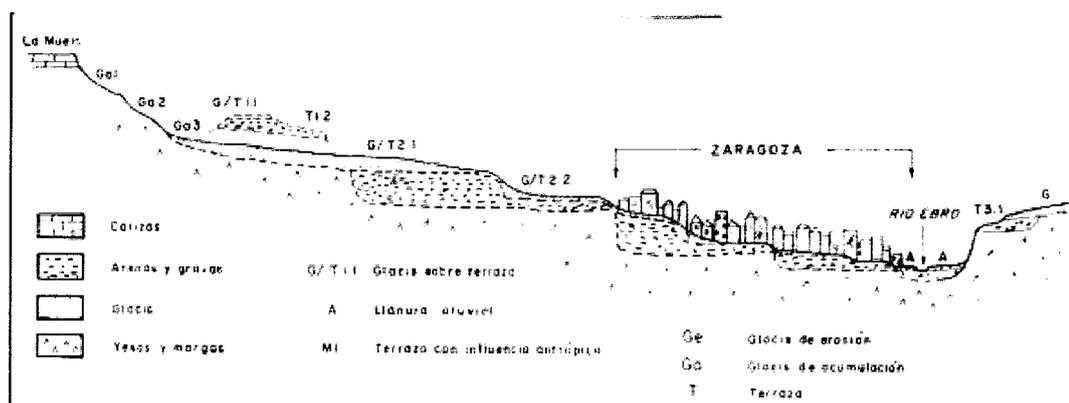


Figura 5.- Perfil geomorfológico característico del valle del Ebro

La evolución paleotopográfica durante el Cuaternario ha sido profunda produciéndose los fenómenos propios de los ríos caudalosos, de alta energía, en cuencas poco consistentes: formación de extensas superficies aluvionares y enérgica disección de las terrazas antiguas e incluso de los sedimentos terciarios. La tectónica reciente de la Depresión, que marca una tendencia al levantamiento ha favorecido estos fenómenos. Los desniveles producidos por la excavación de la red fluvial han posibilitado también la formación de glaciales o depósitos de piedemonte en general.

El Ebro constituye valles longitudinales "en artesa", muy extensos y con cauces sinuosos. Las terrazas aluviales se organizan en bandas alargadas paralelas a los cauces y que sugieren los distintos trazados del río a lo largo del Cuaternario.

La orientación y dirección de los ríos ha variado muy poco sin duda pero, singularmente en este tramo del Ebro, se observa una importante migración lateral en sentido Nororiental constante que ha provocado un evidente disimetría. Mientras que en la margen derecha (Sur) se acumulan y escalonan las diversas terrazas, en la margen izquierda (Norte) se produce una fuerte erosión lateral, con ausencia total de aluvionamiento, que ha proseguido hasta la formación de la terraza actual. El recorrido total de la migración en el Ebro es de unos 15 Km. y el encajamiento efectuado llega a los 190 m., si consideramos la terraza más antigua.

Los glaciares tienen una extensión muy variable lógicamente condicionada al relieve que los ha posibilitado. Normalmente han sido originados por torrentes que atraviesan un escarpe de erosión diferencial y desembocan en el llano produciendo abanicos de aportes detríticos. Estos tienen como base los sucesivos niveles de terrazas, entre los que se intercalan. Incluso dentro de una misma terraza, como ocurre en la margen izquierda, los aportes de gravas de origen longitudinal están recubiertas por aportes laterales de los glaciares.

4.4 Climatología e hidrología superficial

Las características climáticas de la zona de estudio se encuentran vinculadas a la disposición de las montañas marginales; Pirineos y Sistema Ibérico y a la marcada depresión del valle medio del Ebro. El clima del área de Zaragoza según las clasificaciones climáticas en vigor puede considerarse como semiárido. Las características más importantes del mismo son la escasez de lluvias y lo desigualmente repartidas que se encuentran a lo largo del año y lo extremado de sus temperaturas (bruscas oscilaciones térmicas y escasas lluvias, del orden de 400 mm.)

- Precipitación

La media anual de precipitaciones correspondientes a años medios oscila entre 313 y 390 mm. Presentan dos máximos a lo largo del año, uno en primavera y otro en otoño (mayo precipitación media 43 mm. y octubre con una media de 32 mm). También son frecuentes las tormentas en verano que dan los valores máximos de precipitación en 24 h.

- Temperatura

La distribución de temperaturas presenta oscilaciones muy grandes tanto estacionalmente como a lo largo de un mismo día. La temperatura media de las mínimas es inferior a 5 °C y la media de las máximas superior a 25 °C. Las oscilaciones extremas en verano alcanzan el orden de 35 °C.

- Viento

Son abundantes debido a la disposición geográfica del valle del Ebro que hace de corredor favorable a los mismos y que condicionan sus direcciones preferentes WNW y E/ESE. La velocidad media es del orden de 40 Km/h y llega a ser superior a los 70 Km/h en las rachas. De las dos direcciones preferentes, la de mayor frecuencia es la WNW (cierzo) y también los que alcanzan una mayor velocidad, mientras que los de direcciones E/ESE suelen ser vientos suaves de los que menos del 15 % superan los 30 Km/h.

- Otros aspectos climáticos

Son frecuentes las nieblas invernales y las escarchas, siendo muy raras las precipitaciones en forma de nieve. La humedad relativa media oscila en torno al 60%, siendo mayor durante la estación de invierno. El carácter dominante del clima viene definido por su déficit de agua en verano, producido por unos mínimos pluviométricos y unas máximas térmicas que se acentúan por el viento seco del NW (dirección del Valle del Ebro) que activa la evaporación. Se han tenido en cuenta los valores pluviométricos y, en menor medida, los termométricos y los de evapotranspiración potencial obtenidos por métodos teóricos los cuales tienen aplicación en el campo de la hidrogeología. Los datos extraídos de la base del Instituto Nacional de Meteorología que pertenecen a la Estación meteorológica de Zaragoza Aeropuerto (nº 9434) son las presentadas en la Tabla 3.

Tabla 3.- Datos meteorológicos pertenecientes a Estación meteorológica 9434 Aeropuerto

| Variables climáticas | 9434 Aeropuerto (ZARAGOZA) | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|--|------|-------------|------|---------|-----------|--------------------------------|------|---------------|-------------|------|-------|--|
| | Enc. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Año | |
| P.m (mm) | 21.5 | 21.2 | 24.4 | 34.2 | 41.2 | 32.5 | 15.8 | 16.4 | 29.0 | 30.2 | 30.8 | 24.3 | 322.0 | |
| D. lluvia | 8.8 | 8.8 | 9.1 | 10.0 | 22.2 | 8.5 | 5.4 | 5.8 | 7.2 | 9.0 | 9.4 | 0.6 | 102.8 | |
| D. nieve | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 | 0.5 | |
| D. niebla | 6.0 | 1.8 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0 | 0.7 | 1.8 | 4.0 | 6.5 | 22.2 | |
| Tª m (°C) | 6.1 | 7.7 | 10.5 | 12.9 | 17.1 | 20.9 | 24.3 | 24.0 | 20.4 | 15.2 | 9.8 | 6.8 | 14.6 | |
| Tª min m | 2.2 | 2.9 | 4.9 | 7.2 | 10.9 | 14.5 | 17.3 | 17.3 | 14.3 | 9.9 | 5.5 | 3.3 | 9.2 | |
| Tª máx m | 10.1 | 12.5 | 16.2 | 18.6 | 23.3 | 27.3 | 31.4 | 30.6 | 26.5 | 20.5 | 14.2 | 10.3 | 20.1 | |
| Tª min ab | -10.4 | -11.4 | -6.3 | -2.4 | 0.5 | 5.2 | 8.0 | 8.0 | 2.6 | -0.4 | -5.6 | -7.7 | -11.4 | |
| Tª máx ab | 19.8 | 22.5 | 28.3 | 30.6 | 36.0 | 41.0 | 43.0 | 41.2 | 39.2 | 30.7 | 28.4 | 21.8 | 43.0 | |
| H. rel.m% | 73 | 66 | 59 | 56 | 54 | 53 | 50 | 52 | 59 | 65 | 71 | 75 | 61 | |
| Insol. (h) | 134 | 165 | 199 | 230 | 280 | 312 | 362 | 326 | 236 | 193 | 159 | 124 | 2720 | |
| Racha m (km/h) | 135 | 143 | 116 | 126 | 122 | 122 | 160 | 127 | 119 | 111 | 124 | 141 | 160 | |
| Direc. Racha | W | WNW | WNW | NW | WNW | SSW | NW | NNW | WNW | NWW | NW | NW | NW | |
| R.m (km) | 395 | 404 | 415 | 472 | 395 | 405 | 393 | 365 | 334 | 335 | 333 | 387 | 386 | |
| E.P.M (mm) | 11.8 | 18.6 | 33.1 | 50.1 | 83.5 | 117.6 | 145.3 | 133.3 | 94.4 | 54.2 | 25.0 | 13.5 | 780.3 | |
| P.m = Precipitación media | | H.rel.m= Humedad relativa media | | | | | | Insol.= Insolación | | | | | | |
| D.lluvia= Días de lluvia | | Tª máx.m= Temperatura máxima media | | | | | | Racha m= Racha máxima | | | | | | |
| D.nieve= Días de nieve | | Tªmin ab= Temperatura mínima absoluta | | | | | | R.m= recorrido medio en 1 día | | | | | | |
| Tªm= Temperatura media | | Tª máx.ab= Temperatura máxima absoluta | | | | | | E.P.M= evapotransp. Pot. media | | | | | | |
| Tªmin m= Temperatura mínima media | | Direc. Racha= Dirección de la racha máx. | | | | | | | | | | | | |
| Intervalo de precipitaciones anuales correspondientes a años medios: 318-390 mm | | | | | | | | | | | | | | |
| AÑOS | MUY SECOS | | | SECOS | | MEDIOS | | HÚMEDOS | | | MUY HÚMEDOS | | | |
| | 260 | | | 260-318 | | 318-390 | | 390-453 | | | 453 | | | |
| EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL | Pp mm | | | RETENCIÓN | | | | | | | | | | |
| | | | | 50 mm. | | | 100 mm. | | | | | | | |
| | 324.5 | | | EVTR.mm % | | | EVTR.mm % | | | | | | | |
| | 324.5 | | | 324.5 | | | 100 | | | 324.5 | | | 100 | |
| EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL CALCULADA | <i>Thorntwhaite</i> | | | <i>Turc</i> | | | | | | <i>Penman</i> | | | | |
| | 797.7 mm | | | 1018 mm | | | | | | 1082.3 mm | | | | |

La zona está caracterizada por una precipitación anual media inferior a 325 mm. La frecuencia e intensidad del viento dominante (el cierzo), la fuerte sequía estival y sus altas temperaturas (con máximas habituales por encima de los 35 °C) son otros rasgos que definen el clima. Dadas las elevadas temperaturas de la zona, la evapotranspiración potencial de

referencia (ETP0) es muy grande y generalmente superior a los 700-800 mm/año. También la fuerte insolación y el viento son los responsables de este singular valor. En las diferentes hipótesis de balance de agua en el suelo, sólo el mes de diciembre aparece estadísticamente excedentario.

La ciudad de Zaragoza dispone de tres cursos fluviales dentro de su espacio urbano: el río Ebro y por dos importantes afluentes, el río Huerva y Gállego. Dada la aridez de la depresión media del Ebro y la consiguiente escasez de agua, el paso de estos cursos fluviales resulta de gran trascendencia. Éstos constituyen los únicos cursos de agua naturales permanente.

El resto de cursos fluviales del municipio no constituyen corrientes continuas. Se trata de barrancos que únicamente llevan agua a raíz de fuertes precipitaciones, y que en ocasiones producen importantes caudales de avenida. Dicha red se estructura de forma dendrítica hasta formar un colector principal que, en muchos casos, va a parar a zonas de cultivo, acequias, áreas habitadas, etc.

El río Ebro tiene una cuenca total de 85.550 km², siendo en Zaragoza de 40.400 km². La altitud media del río en su paso por Zaragoza es de 190 msnm. Su caudal medio es aproximadamente de 267 m³/s. Además, se sustraen importantes cantidades de agua para riego en su recorrido. La escasa pendiente favorece la existencia de sinuosidades del cauce. La amplia red de acequias extendida sobre las llanuras aluviales de los ríos Ebro, Gállego y Huerva, además del Canal Imperial de Aragón, completan el panorama hidrográfico del municipio.

La principal obra pública de abastecimiento, tanto agrícola como urbana e industrial de la comarca, la constituye el Canal Imperial de Aragón. En él debe destacarse, por un lado el caudal medio anual que transporta (25 m³/s), que permite disponer de un suministro constante a lo largo del año, excepto un mes al año en que por necesidades de limpieza, sus aguas no se utilizan. Por otro lado, debe mencionarse la disposición del trazado justamente en el contacto entre los glaciares de acumulación y las terrazas, que permiten que los aportes laterales derivados del uso de sus aguas pasen a alimentar de modo notable el acuífero subterráneo de las terrazas evitando parcialmente la contaminación química de aquél por sales solubles (yesos principalmente).

Por otra parte, hay una red de numerosas acequias que se bifurcan y ramifican en ramales, acequiones y brazales más pequeños que son los que alcanzan los huertos individuales. Al crecer la ciudad numerosos ramales y brazales han quedado incluidos en el área urbana, algunos subsisten como elementos de riego, otros han quedado fuera de uso.

4.5 Hidrogeología

El empleo de las aguas subterráneas, principalmente para abastecimiento industrial y abastecimiento de urbanizaciones dispersas, es frecuente en la ciudad de Zaragoza; dada la extensión que presentan las terrazas de los diferentes cursos fluviales y el carácter de importantes acuíferos granulares que suponen las mismas en el área, es frecuente el reciclaje de las aguas de riego. Las zonas exteriores a dichas terrazas, formadas por los depósitos terciarios margosos y yesíferos, carecen de agua desde el punto de vista de recursos subterráneos, ya que dada la impermeabilidad de aquellos, éstos se pueden considerar nulos.

Los materiales de los acuíferos aluvionares (terrazas), son los correspondientes a las sucesiones de gravas arenosas con intercalaciones de limos y arcillas, de potencias variables (entre pocos metros y más de 50). Por el propio proceso de sedimentación fluvial que las ha conformado, las capas no tienen continuidad lateral ni vertical, siendo de tipo lentejonar y la potencia de los distintos tramos variables. Responden a la estructura típica de las formaciones con sucesivas alternancias de niveles de gravas y arenas, que corresponden a los aportes de grandes avenidas y encima de estas capas los materiales finos: limos y arcillas depositados en las decrecidas. El espesor de la capa acuífera depende como es lógico de la forma del substrato que a su vez es función de la erosión fluvial y de los movimientos halocinéticos de los yesos del zócalo.

El bombeo que soportan es, en muchos casos bastante intenso por lo que se crean localmente gradientes hidráulicos importantes. Este flujo subterráneo da lugar a la disolución de todo tipo de sales del terreno por lo que la cementación de algunas capas disminuye y, a largo plazo, puede dar lugar a asentamientos o colapsos del terreno. La propia contaminación de las aguas, tanto la procedente por un lado de los yesos del zócalo como, en menor medida, la debida a los abonos, pesticidas y herbicidas de las superficies regadas, e incluso la originada por algunos vertidos de residuos sólidos urbanos no controlados, limita el uso de estos recursos.

La distribución territorial de puntos de agua es irregular, dados los condicionamientos particulares de la zona, en donde se ubica una ciudad densamente poblada y dotada de un nivel de industrialización muy notable, como es Zaragoza. En esta área concreta se concentran la mayoría de los sondeos perforados en toda la zona de estudio que abastece de agua a los polígonos industriales del entorno, donde la demanda es más fuerte. Los principales tipos de captación localizados en la zona son:

- **Manantiales:** los manantiales aluviales no suelen ofrecer interés de cara a su explotación, no sólo por lo reducido de sus caudales, sino por el carácter estacional y transitorio de sus caudales, que responden a los regímenes de precipitaciones o a épocas de riego, dadas las frecuentes fugas que tiene lugar en los canales y acequias

para riego sin revestir, que surcan la zona, y el propio efecto de reciclaje de las aguas de estos canales una vez utilizadas en las tierras.

- **Pozos puntuales:** abundan en el aluvial del Ebro. Se trata de pequeños tubos introducidos en el terreno por el procedimiento de hinca, sistema en el que se da el golpeo o la percusión y una pequeña rotación simultánea que favorece se penetración; son de forma cilíndrica terminados en punta cónica perforada, por donde se filtra el agua. Tienen un diámetro que oscila entre 40 a 60 mm y una profundidad de 5 a 8 m. Su equipamiento se reduce a una bomba manual o de jarra, lo que da idea de sus reducidas posibilidades en cuanto a explotación se refiere. Su distribución en el campo es irregular, ya que no tienen más utilidad que su uso para abastecimiento esporádico o para abrevar el ganado. Tuvieron su importancia en cuanto a abastecimiento de los núcleos de población, en épocas en que no se disponía de otro sistema que cubriera tal necesidad. En la actualidad, las captaciones en los ríos o en los canales para estos menesteres han relegado este tipo de pozo a nivel de lo anecdótico en la mayoría de los casos. En este estudio ofrecen un interés relativo; constituyen un dato puntual acerca de la existencia del acuífero y de su nivel piezométrico en el caso de que se pueda apreciar, y de la calidad del agua, una vez analizada.

- **Pozos abiertos:** es la obra clásica de captación de agua. En el tramo Cortes-Gelsa, representa el 37 % de los puntos de agua, debido, al gran auge de los sondeos para satisfacer la demanda de la industria que se asienta en la zona.

- **Sondeos:** Los sondeos y pozos entubados son la obra de captación que más se viene empleando en el Tramo aluvial Cortes-Gelsa en la actualidad. Son de rápida perforación, con máquinas que trabajan a percusión generalmente y obtienen unos rendimientos muy estimables en relación a la inversión. Es una obra que puede atravesar la totalidad de la formación aluvial, explotando así todo el espesor máximo saturado de las terrazas. *Los sondeos representan el 60 % de los puntos de agua inventariados en este tramo y la mayoría de ellos se concentran en los polígonos industriales de los alrededores de Zaragoza.* La profundidad de los sondeos alcanza hasta los 80 m. Siendo lo normal de 20 a 40 m. La progresión viene condicionada por el nivel de la terraza; cuanto más alta es ésta, más profundo es el sondeo que la explota. Los diámetros oscilan entre 200 y 500 mm, siendo lo normal 400 mm; todos ellos suficientes para albergar equipos sumergidos de bombeo. Más del 80 % de los sondeos tienen equipos de este tipo.

Las características hidrogeológicas más relevantes del aluvial son:

- *permeabilidad*: su orden de magnitud es de 10^2 m/día, si bien en gravas particularmente limpias alcanza los 10^3 m/día. En las zonas con mayor cantidad de arenas finas y limos desciende hasta unos pocos m/día.
- *transmisividad*: es muy variable pero en los aluviales más desarrollados que es donde se pretende intensificar la explotación, la transmisividad supera siempre los 1000 m²/día. En los ensayos de bombeo realizados en las proximidades de Zaragoza por el SGOP en 1990 los valores de la transmisividad obtenidos oscilaban entre 396 y 2820 m²/día.

Tabla 4.- Características hidrogeológicas de los acuíferos

| Tramo | Ext. Km ² | Espesor sat. m. | Volumen Hm ³ | Porosidad | Capacidad Hm ³ | Transmisividad m ² / día |
|-------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|-----------|------------------------------|--|
| Logroño - Cortes | 450 | 20 | 9.000 | 0.1 | 900 | 1000-10000 |
| Cortes - Zaragoza | 350 | 8 | 2800 | 0.1 | 280 | 1000-5000 |
| Zaragoza - Gelsa | 170 | 6 | 1020 | 0.1 | 102 | 500-2000 |

- *Coefficiente de almacenamiento*: 0.05 (SGOP, 1990) de la zona próxima a Zaragoza, se estima entre 0.1 y 0.2.
- *Porosidad eficaz*: 0.1 - 0.05

La media de caudales extraídos del Ebro es superior a la de sus afluentes. En general, los rendimientos son superiores a los deducidos en los parámetros hidrogeológicos, debido a la presencia de barreras positivas que estabilizan el nivel dinámico. Los caudales de explotación vienen impuestos no por las posibilidades del acuífero, sino por las necesidades. Debido a ello, no existe preocupación en la zona por la eficiencia de los pozos pues pueden obtenerse los caudales necesarios con sondeos incompletos y no siempre bien construidos.

- *Régimen del acuífero. Piezometría.*

El río Ebro drena al acuífero (carácter efluente) a lo largo de todo su curso. Teniendo en cuenta que la transmisividad es inversamente proporcional al gradiente hidráulico, los mayores valores de aquella se localizan en las siguientes zonas:

- margen derecha del Ebro desde proximidades de Casetas hasta Zaragoza
- margen izquierda del Ebro, desde Zaragoza a Pastriz
- zona del bajo Gállego

No se aprecian en toda la zona conos de depresión importantes, lo que demuestra que las zonas de mayor explotación se encuentran ubicadas precisamente en terrenos de alta transmisividad.

Los gradientes hidráulicos, y por lo tanto el caudal circulante se reducen en invierno, en función del aumento de niveles de la zona recargada por el río en avenidas y del descenso de niveles en la mayor parte del acuífero al cesar los regadíos. De invierno a verano se produce el fenómeno de que el estiaje desciende el nivel de base al río, y asciende el nivel piezométrico de la capa y en época de aguas altas ocurre al contrario, produciéndose una disminución del gradiente, y por tanto del caudal circulante.

El fenómeno en que debe basarse la explotación de este acuífero aluvial es la posibilidad de la recarga inducida de los cursos de agua que actualmente los drenan. En este supuesto aumentarán los volúmenes explotables respecto a la recarga natural de los acuíferos y en determinadas condiciones se podrá aprovechar el desfase entre el inicio de la explotación de agua subterránea y el principio de la afección a los ríos como una nueva posibilidad de regulación.

5. INVENTARIO DE FOCOS DE CONTAMINACIÓN

El inventario de focos de contaminación requiere tener presente desde un principio el concepto "riesgo". Se engloba dentro de la definición de riesgo cualquier actividad, tanto presente como pasada o futura capaz de contaminar directa o indirectamente las aguas subterráneas. Es muy importante considerar que no sólo los focos "activos" de contaminación son potencialmente agresivos de las aguas subyacentes, muchos suelos muestran elevados niveles de sustancias lixiviables, directa o indirectamente, provenientes de industrias o vertidos pasados, estos puntos deben estar incluidos en cualquier inventario de focos de riesgo y evaluados, a veces con un nivel de agresividad superior que los focos actuales, como actividades potencialmente contaminante.

La zona en estudio (Zaragoza ciudad) está clasificada como de riesgo alto, (acuífero detrítico libre con elevada permeabilidad intergranular), se trata de un acuífero asociado al curso de los ríos Ebro, Gállego y Huerva, con terrazas de escaso espesor y considerable desarrollo lateral. Los niveles piezométricos son elevados, lo que aumenta el nivel de vulnerabilidad frente a agresiones externas, no obstante, el contenido en fracción arcillo-arenosa puede actuar de tampón de algunos contaminantes.

Se ha hecho una clasificación previa de los focos de contaminación delimitando únicamente tres zonas en función del riesgo previsible: de riesgo bajo, medio y alto. Dichas zonas se han definido en función, además de la presencia de focos de contaminación, de la

litología de la zona no saturada, de su disposición y geometría, de la profundidad de los niveles piezométricos, del quimismo de las aguas y su utilización.

De este modo se han considerado como principales focos de contaminación:

- 5.1 Sistema de saneamiento
- 5.2 Actividades agrícolas o asimilables
- 5.3 Sector industrial

A continuación realizaremos una evaluación de los factores de riesgo considerados:

5.1 Sistema de saneamiento

En el concepto de redes subterráneas de saneamiento se incluyen las conducciones de agua potable y los sistemas de alcantarillado, ambas sufren de importantes pérdidas que se infiltran en el acuífero y modifican tanto el balance hídrico total como la composición de las aguas subterráneas, al menos a nivel superficial.

La misión de un sistema de alcantarillado es recolectar los desechos líquidos urbanos e industriales y transportarlos hasta una planta de tratamiento, desde donde, una vez realizada la depuración, el agua es vertida a un río, al mar, a una red urbana de agua no contaminada. Otra importante misión consiste en recolectar el agua de lluvia, sobre todo en las ciudades grandes como Zaragoza, donde hay extensas áreas con edificios o con asfalto en las que el terreno no absorbe agua.

En la red existente en la ciudad de Zaragoza, de unos 650 km. de longitud, aparecen tramos de distinta antigüedad y materiales. Ha tomado protagonismo la cuestión de la estanqueidad de la red por sus efectos en la entrada de agua freática que diluye el vertido y encarece su tratamiento y en la salida de aguas residuales con contaminación de las freáticas. La entrada de aguas subterráneas y el vertido a la red de algunos escurrideros de riego hacen que el volumen a depurar sea aproximadamente un 30 % superior al volumen real de aguas residuales. (Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza, mayo 1999).

El sistema de saneamiento de la ciudad de Zaragoza, excepto en zonas muy reducidas, es de tipo unitario, es decir, las aguas vertidas y las de escorrentía circulan por los mismos colectores mezcladas. Este tipo de redes constituyen, generalmente, la parte más extensa de las infraestructuras ya existentes, particularmente en áreas urbanas antiguas. Los reboses de los alcantarillados unitarios en período lluvioso al medio receptor, originan problemas de contaminación que, a menudo, han impedido alcanzar los objetivos de calidad deseados. Los

contaminantes contenidos en los reboses (microorganismos patógenos, nutrientes, sólidos, DBO, metales y otros constituyentes potencialmente tóxicos) pueden causar efectos adversos en las aguas receptoras.

El caudal de aguas residuales en un alcantarillado está constituido, principalmente, por la escorrentía originada por las precipitaciones (aguas pluviales) y por las aguas residuales. Estas últimas entran continuamente a la alcantarilla unitaria, tanto en tiempo seco como en tiempo lluvioso. El flujo de agua en tiempo seco puede incluir aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, así como agua proveniente de la infiltración. Las aguas residuales mezcladas son la combinación de las aguas pluviales, más la suspensión del material sedimentado en la red con anterioridad al momento de la lluvia.

La situación de Zaragoza junto a tres cauces fluviales ha ido produciendo una multiplicidad de puntos de vertido que han hecho necesaria la ejecución de costosos y complicados colectores de margen para reunir los vertidos y posibilitar su posterior depuración.

La red de colectores se encuentra falta de capacidad para recoger las aguas pluviales procedentes de las superficies impermeables en aguaceros de fuerte intensidad. A lo largo del crecimiento histórico de la ciudad, se han ido ampliando las cuencas de colectores concebidos para evacuar áreas más reducidas; en otros casos lo que se ha incrementado progresivamente es la proporción de superficies pavimentadas, aumentando consiguientemente la escorrentía de aguas de lluvia a desaguar. En consecuencia, se producen situaciones de incapacidad de recoger la escorrentía, por lo que parte de las aguas discurren en superficie, dando lugar incluso a inundaciones puntuales en lugares carentes de desagüe natural. (Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza, mayo 1999).

Del análisis bibliográfico es posible para algunos parámetros analíticos establecer unos rangos de variación y valores promedio para las aguas procedentes de la escorrentía superficial. (Tejero J.I., 1993)

Tabla 5.- Valores analíticos de aguas de escorrentía superficial

| | DBO₅ | DQO | SS | C.Fec. | N.Total | P. Total |
|-----------------|------------------------|------------|-----------|---------------|----------------|-----------------|
| Unidades | mg/l | mg/l | mg/l | Nº/100 ml | mg/l | mg/l |
| Rango | 9-38 | 60-200 | 100-450 | 104-106 | 1.2-6 | 0.1-1.7 |
| Promedio | 20 | 105 | 195 | 105 | 2.7 | 0.5 |

Generalmente, la escorrentía fruto de las precipitaciones, contribuirá a las aguas residuales mezcladas con un gran volumen de agua, de mejor calidad que el de las aguas residuales. Debido a la gran variabilidad de los sucesos de lluvia, área de drenaje, características de las aguas residuales mezcladas tienden a ser altamente variables de un lugar a otro.

Tabla 6.- Valores analíticos de agua mezclada

| | SS | DBO ₅ | DQO | C.Fec. | NTK | P.Total | Plomo |
|-----------------|---------|------------------|---------|--|------|---------|---------|
| Unidades | mg/l | mg/l | mg/l | Nº/100 ml | mg/l | mg/l | ug/l |
| Rango | 270-550 | 60-220 | 260-480 | 2 10 ⁵ -1.1 10 ⁶ | 4-17 | 1.2-2.8 | 140-600 |

Las medidas de control de la contaminación se pueden clasificar de varias formas (Temprano, J., 1996).

Según el grado de intervención en la estructura de la red:

- Medidas no estructurales.- son aquellas que no precisan una actuación en la estructura de la red. Ejemplos de este tipo de medidas son: pavimentos porosos, limpieza de calles, limpieza de sumideros, lavado de alcantarillas, etc.
- Medidas estructurales.- para adoptar este tipo de medidas es preciso operar en la estructura de la red. Se pueden incluir desde la modificación de los volúmenes de almacenamiento de algunos aliviaderos hasta la construcción de sistemas de control y tratamiento de reboses.

Según el lugar del sistema de alcantarillado donde se apliquen:

- Control en origen: son aquellas medidas que se aplican a elementos del sistema de drenaje previamente a su incorporación a la red de saneamiento. Pertenece a este grupo el cambio del tipo de superficie urbana, la retención de la escorrentía, la limpieza de calles, etc.
- Control de vertidos: son las aplicadas a elementos de la red de alcantarillado. Por ejemplo: almacenamiento en la red, almacenamiento fuera de línea, combinaciones de los dos anteriores (Sistemas de Control y Tratamiento de reboses), tecnologías de tipo Vórtex, etc.

Las medidas no estructurales coinciden, en general, con el control en origen; por su parte las medidas estructurales lo hacen con el control de vertidos.

Se pueden distinguir tres fuentes de contaminación que afectan a la cantidad y calidad de la escorrentía, y sobre las que se puede actuar en mayor o menor medida:

- la contaminación natural, ligada a las superficies no urbanizadas.
- la contaminación atmosférica.
- la contaminación ligada a las actividades humanas y dada en gran medida en las superficies impermeables urbanas.

Los procesos involucrados en la contaminación directa por pérdidas en la red de alcantarillado son conocidos desde hace años. En cambio, no es tan reciente el conocimiento de los mecanismos de formación de componentes recalcitrantes como los organoclorados, como resultado de la mezcla de este agua con la de abastecimiento. De hecho en la mayoría

de países del mundo (los del Norte de Europa en particular) se intenta evitar la formación de estos compuestos haciendo que el agua de abastecimiento no sea clorada antes de pasar por la red (cosa que es obligatoria según la normativa de potabilidad española). Otro punto de interés, y diferenciador, es la presencia en el subsuelo de compuestos que sirven para aplicaciones médicas y de sus metabolitos. Estos compuestos se han encontrado en algunos acuíferos urbanos en Holanda y Alemania.

La protección, si se produce la contaminación, es complicada y por ahora, se hace de manera bastante empírica (Harris 1997). En la actualidad y con este trabajo en concreto, se está tratando de buscar una serie de indicadores primarios de contaminación. El gran problema es el desconocimiento que tiene el público de que las actuaciones que se hacen en superficie pueden llegar a contaminar el subsuelo y los acuíferos. En estas condiciones, el control se hace más difícil.

Por todas estas razones, para el correcto funcionamiento de la red de saneamiento es conveniente la inspección periódica y la limpieza de las alcantarillas mediante diferentes sistemas (manual por arrastre y extracción posterior, hidrodinámica, por extracción neumática, por extracción con vehículos automóviles eléctricos, con cámaras de descarga, mecanizada con extracción en baldes metálicos, por arrastre con compuerta...).

► Red de alcantarillado en la zona urbana de Zaragoza

El objetivo básico de este estudio es valorar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas debido a la red de alcantarillado en la zona urbana de Zaragoza. La consecución de este objetivo general precisa cumplir con una serie de objetivos parciales que pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

- Realizar una clasificación de la edad y material de la red de alcantarillado desde el punto de vista de su agresividad para las aguas subterráneas.
- Establecer, en base a los resultados obtenidos en el apartado anterior, una metodología para la valoración del potencial contaminante de las aguas subterráneas de las diversas conducciones.
- Representar en forma cartográfica los resultados obtenidos.
- Proponer normas para la ordenación del sistema de saneamiento y de los vertidos potencialmente contaminantes.

El análisis de la red se ha realizado en base a datos proporcionados por la Sección de Cartografía y Explotación de Redes del Servicio de Conservación de Infraestructuras del Ayuntamiento de Zaragoza. Como datos más relevantes pueden destacarse:

- El agua puesta en la red de distribución es 72.316.542 m³.
- La pérdida estimada es de un 25 %.
- El consumo facturado por contador es de 41.031.516 m³ siendo el consumo en producción (planta potabilizadora) de: 7.037.648 m³.
- El total de agua depurada es de 70.189.001 m³.
- Las tuberías más antiguas se encuentran en el Casco histórico y en el Casco antiguo de la Ciudad.
- El control de fugas se realiza cuando se produce la rotura de la tubería o existe un gran consumo detectado en los contadores en alta.
- El sistema de saneamiento en Zaragoza es unitario en su gran mayoría; existen algunas zonas pequeñas en separativo.

En la Plano 2 se muestra la clasificación de la red de alcantarillado por cuencas y en la Tabla 7 una relación de cuencas de vertido, así como las características de pozos (Tabla 8), conductos (Tabla 9) y sumideros (Tabla 10).

Tabla 7. Relación de cuencas de vertido

| Zona | Código | Denominación |
|------|--------|--|
| AD | 01 | Cuenca A, margen derecha Huerva (zona II) |
| A1 | 23 | Cuenca A, margen izquierda Huerva (zona I) |
| B | 02 | Colector del sud-este, Torrero, La Paz |
| C | 03 | Parte de delicias, Casco Antiguo |
| CH | 04 | Zona Río Ara, San Juan, Montañana, Villamayor, Sta Isabel, Malpica, Movera |
| D | 05 | Barrio de la Almozara |
| E | 06 | Actur, Arrabal, Barrio Jesus, Juslibol |
| EM | 40 | Emisario a la Depuradora de la Cartuja |
| F | 07 | Barrio de la Jota, Marques de la Cadena |
| G | 08 | Polígonos de Cogullada y Ntra. Sra. del Pilar |
| H | 09 | Delicias, Monsalud, Valdefierro, Barrio Oliver |
| I | 10 | Colector zona Centro Comercial Augusta |
| J | 11 | Montecanal, Ctra. de Madrid, Miralbueno |
| K | 12 | Colector con inicio en Ctra. de Logroño (Terrenos RENFE) con. de la Noguera. |
| L | 13 | Colector de Cesareo Allerta |
| M | 14 | Rulsenoras, Moncasi, Goya, Zumalacarregui, Cervantes |
| N | 15 | Colector Juan Pablo Bonet |
| O | 16 | Sevilla, Porvenir, Vasconid, Dr. Lozano, Arzpo. Morcillo, La Luz |
| P | 17 | Torrero Sur, Africa, Mariano Renovales, Marina Española |
| Q | 18 | Colector de Violante de Hungría con final en Pte. Trece de Sept. |
| R | 19 | Escorradero de la Filla. |
| S | 20 | Villarrapa, Casetas, Garrapinillos, Monzalbarba, Venta del Olivar, Oals Ctra. de Logroño |
| T | 21 | Las Fuentes Norte |
| U | 22 | Grupo Arrese |
| V | 27 | Colector Deposito Valdespartera. Paseo de los Resyes de Aragón. |
| X | 28 | Colector Deposito Casablanca, Via de la Hispanidad |
| Y | 30 | Alfocea, Torrecilla de Valmadrid, Peñaflor, La Cartuja |

Tabla.- 8. Valores de Pozos

| Ubicación del pozo | | Tipo de Pates | | Estado de los Pates | | Tipo de pozos | | Material de la tapa | | Tipos de sección | | Material del pozo | | Situación eje del pozo | |
|--------------------|---|------------------|--------|---------------------|---|----------------------|----|---------------------|----|------------------|---|-------------------|---|------------------------|---|
| Acera | A | Acero | A C | Bueno | B | Aliviadero | AL | Chapa de acero | AC | Circular | I | Fábrica | F | Concéntrico | E |
| Parking | P | Acero y Plástico | AP | Malo | M | Arqueta registro | AR | Fund. dúctil | FD | Cuadrado | U | Hormig | H | Excéntrico | H |
| Calzada | C | Plástico | PL | No hay | N | Depuradora pequeña | OP | Fund. nodular | FN | Rectangular | E | Hormig y Fábrica | M | Lateral | L |
| Inaccesi. | I | | | | | Estación de bombeo | EB | Hormig. | HM | | | | | | |
| Jardín | J | | | | | Fosa de sedimenta. | FS | | | | | | | | |
| Solar | S | | | | | Particular | PA | | | | | | | | |
| | | | | | | Pozo enterrado | PE | | | | | | | | |
| | | | | | | Pozo registro normal | PR | | | | | | | | |
| | | | | | | Sifón | SF | | | | | | | | |

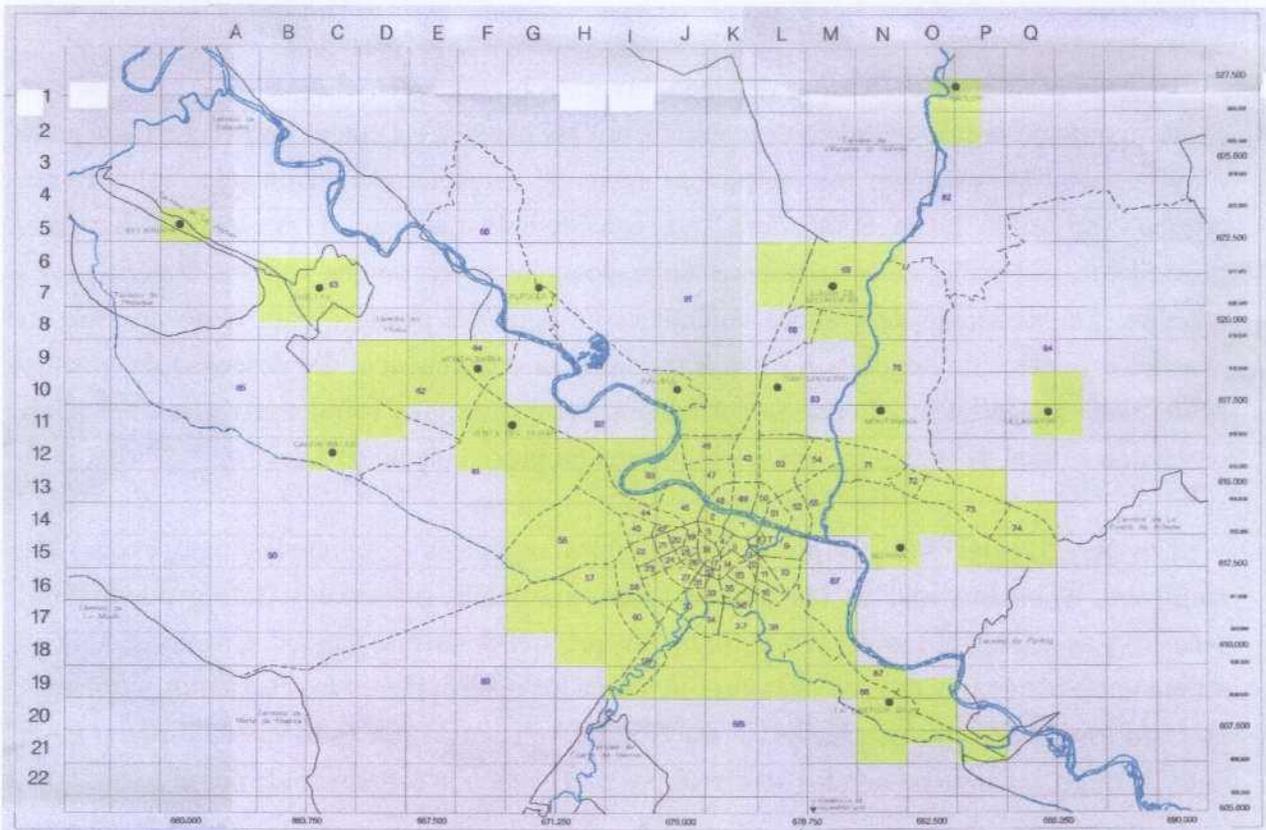
Tabla 9.- Valores de Conductos

| Tipo de material | | Tipo de sección | | Tipo de red | | Tipo de facturación | |
|----------------------|----|-----------------|---|-------------|----|---------------------|---|
| Fibrocemento | Fc | Boveda | B | Acequia | A | Unitaria<60 | A |
| Fundición | Fu | Circular | C | Industrial | I | Unitaria>60 | B |
| Grés | Gr | Ovoide | O | Particular | PT | Particular<60 | C |
| Hormigón y ladrillo | HI | Rectangular | R | Pluvial | PL | Particular>60 | D |
| Hormigón armado | Ha | | | Unitaria | U | | |
| Hormigón masa | Hm | | | | | | |
| Ladrillo | La | | | | | | |
| Mampostería-hormigón | Mh | | | | | | |
| Mampostería-ladrillo | MI | | | | | | |
| Mampostería | Ma | | | | | | |
| Plástico | PI | | | | | | |

El material de construcción de las tuberías en general es Hormigón masa, pero también hay algo en: Plástico, Grés y Fibrocemento. El diámetro en anchura está entre 25 a 220 mm.

Tabla 10.- Valores de Sumideros

| Ubicación | | Tipo de sumidero | | Tipo de material | | Tipo de red | |
|--------------|---|------------------|----|----------------------|----|-------------|---|
| Acera | A | Acera buzón | AB | Fibrocemento | Fc | Municipal | M |
| Aparcamiento | P | Calzada cuadrado | CC | Fundición | Fu | Particular | P |
| Calzada | C | Calzada doble | CD | Grés | Gr | | |
| Inaccesible | I | Calzada sencillo | CS | Hormigón y ladrillo | HI | | |
| Jardín | J | Rejilla | RE | Hormigón armado | Ha | | |
| Solar | S | | | Hormigón masa | Hm | | |
| | | | | Ladrillo | La | | |
| | | | | Mampostería-hormigón | Mh | | |
| | | | | Mampostería-ladrillo | MI | | |
| | | | | Mampostería | Ma | | |
| | | | | Plástico | PI | | |



Plano 2.- Mapa de clasificación de la red de alcantarillado por cuencas

5.2 Actividades agrícolas o asimilables

Dentro de la ciudad existen dos actividades cuyo impacto sobre el suelo y el agua es similar a la de un foco de tipo agrícola, se trata de las zonas verdes, parques y jardines, que necesitan, como cualquier cultivo, ser abonados y tratados con fitosanitarios. Otra actividad de estas características son las vías férreas que son tratadas de forma sistemática con herbicidas con el fin de evitar el crecimiento de plantas (malas hierbas) que puedan favorecer la aparición de incendios o estorbar la circulación de los trenes.

La caracterización del factor riesgo debido a la actividad agrícola se ha realizado evaluando los compuestos químicos empleados en los tratamientos para combatir las enfermedades y plagas que afectan a los cultivos, del empleo de herbicidas y de la aplicación de abonos. El riego constituye un vehículo de transporte de sustancias a los acuíferos y, además, el reciclaje de las aguas supone un riesgo de salinización, al sobrecargarse en sales los excedentes en la continua reutilización. El aporte de sustancias nutrientes a las zonas verdes representa la fuente principal de sales de origen exógeno a las aguas, en especial los excedentes no asimilados por las plantas, y que son arrastrados desde el suelo y la zona de raíces hacia el acuífero por las aguas de riego y lluvia.

Durante el proceso de retorno de riego, las sales presentes en el agua de riego se van concentrando en la fase líquida no consumida por las plantas, las cuales aprovechan una parte muy pequeña de sustancias minerales. Las aguas de irrigación disuelven sales solubles del terreno, lixiviando hacia el acuífero una considerable cantidad de sustancias disueltas, provenientes del suelo, de los nutrientes aplicados a las zonas verdes y de los materiales del acuífero. La extracción de grandes volúmenes de agua del acuífero para riego produce en ocasiones la afección negativa a otras actividades, a consecuencia del descenso de niveles, provocando situaciones deficitarias. La falta de recarga origina asimismo variaciones en el quimismo natural de las aguas, que se enriquecen progresivamente en sales.

Los **fertilizantes** son los productos naturales orgánicos o minerales inorgánicos que contienen, al menos, uno de los tres elementos nutrientes principales (nitrógeno, fósforo, potasio) y se añaden al terreno con el fin de favorecer el desarrollo vegetal. Cuando se aplican sufren una serie de procesos de descomposición en los que se liberan los elementos nutrientes, que son asimilados por las plantas; la fracción no consumida por éstas queda disuelta en el agua de riego, y puede pasar a los acuíferos por percolación, o ser adsorbida por el suelo.

Los **compuestos de nitrógeno** son los que tienen mayor importancia desde el punto de vista de la contaminación, dada su gran movilidad, tanto en el suelo, donde el movimiento es predominantemente vertical, como en la zona saturada, donde sigue la dirección del flujo de agua. Las diferentes formas en que el nitrógeno aparece en los suelos y el agua viene controlada por procesos químicos y bioquímicos. Su circulación en el agua está regida fundamentalmente por procesos redox, en los que las bacterias juegan un importante papel. En función del tipo de fertilizante utilizado y las reacciones que tienen lugar en el suelo y en el subsuelo, las dos formas predominantes en que el nitrógeno está implicado en la contaminación de las aguas subterráneas son los iones amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), de ambos, es el último el que se encuentra mayoritariamente en las aguas.

El **fósforo**, además de ser poco soluble, es adsorbido o retenido por procesos de cambio iónico y reacciones de precipitación, por lo que la incidencia en la calidad de las aguas queda muy limitada. El contenido total de fósforo en el suelo es, en general, inferior al 0.20 %. Las formas minerales de este elemento que pueden formar parte de la fracción sólida del suelo son fosfatos de hierro y aluminio en suelos ácidos, y fosfatos de calcio en los alcalinos.

El **potasio** tampoco presenta riesgo de contaminación por su limitada solubilidad y por los procesos de adsorción y fijación en los minerales del suelo, especialmente arcillas. El potasio se desplaza muy poco en el suelo, y las pérdidas por lavado son generalmente muy bajas y limitadas por el contenido en arcillas y humus, lo que disminuye de forma considerable su capacidad de lixiviación hacia niveles más profundos y eventualmente, a alcanzar la zona saturada. Por ejemplo en suelos desnudos las pérdidas pueden oscilar entre 10 y 60 Kg de K_2O /Ha y año.

Con respecto a los **fitosanitarios**, para estimar la pérdida de éstos en suelos y la posible contaminación de aguas superficiales y subterráneas, es necesario considerar su persistencia y adsorción. Los productos de degradación de algunos **plaguicidas** no son siempre inocuos, por ejemplo, ditiocarbamatos y fenilamidas producen metabolitos altamente tóxicos.

Los herbicidas, una vez que han penetrado en el interior del vegetal pueden ejercer succión alrededor de su zona de penetración o moverse a lo largo de la planta si es de traslocación. En este caso, el herbicida produce su acción tóxica en donde se almacena o a lo largo del trayecto. La efectividad puede variar según numerosos factores: absorción, solubilidad, naturaleza del suelo y del herbicida, acidez del suelo, humedad, volatilización, degradación, disponibilidad, insolación temperatura, precipitaciones, viento etc.

➤ Zonas verdes en Zaragoza

- *Empleo de fertilizantes*

El riesgo de contaminación de los acuíferos por efecto de los excedentes de abonado disminuye al aumentar las necesidades nutritivas de las plantas. Así, el impacto sobre las aguas es, en general, menor bajo cultivos en sus primeros estadios de desarrollo, cuando más fertilizantes requieren. Por otro lado, las plantas que extraen la mayor parte de los nutrientes hacia sus partes altas, representan un factor de protección frente a la contaminación. La presencia de microorganismos capaces de fijar el nitrógeno en el suelo y las raíces de las plantas reducen también el aporte de este ion a las aguas. La cantidad de nitrógeno fijado de esta forma se estima en unos 10 Kg./ha/año, siendo superior el fijado por los organismos simbióticos de las raíces de las leguminosas.

El período de abonado de los parques y jardines de la ciudad de Zaragoza es, según datos de la subcontrata del Servicio de Parques y Jardines del Ayuntamiento de Zaragoza encargada del mantenimiento de las zonas verdes, el siguiente: a) En primavera y otoño: en todas las zonas verdes conservadas por la empresa concesionaria. b) En otras épocas: en zonas concretas en las que sea necesario por la labor desarrollada (siembras, plantación, etc.) o por necesidades del cultivo (grupos de flor).

El tipo de abono es:

- En todas las zonas: complejo 15 - 15 - 15;
- En zonas determinadas: amonitro 33.5 % y urea 50 %;
- En determinados cultivos, tanto herbáceos como leñosos: Abono foliar "Metalosate": anhídrido fosfórico (P_2O_5) 12 % p/p, óxido de potasio (K_2O) 12 % p/p, fosfito de potasio 24% p/p; Kelatréen 520 Fe: Hierro (Fe) 2.5 % p(p, agente quelante: EDDHA.

La forma de abonado es por medios mecánicos con abonadora y atomizadora. La dotación de abonado es de 400–500 Kg de 15-15-15 por hectárea, complementando con abono nitrogenado según necesidades del cultivo y de abono foliar 300 cc/100 l de agua (Metalosate) o 4 l/Ha; Kelatrén 3 cc a 12 cc/m².

- *Empleo de fitosanitarios*

En Zaragoza la época de aplicación de fitosanitarios es en general en primavera y verano, no obstante en invierno y otoño se realizan ciertos tratamientos preventivos. Las sustancias empleadas son:

- Anticriptogámico.- Benomilo, Kasumin y Bayfidan;
- Minadores.- Bulldock 2.5 sc;
- Afidos.- Confidor;
- Cochinilla.- Juvinal

El único tratamiento que se realiza en la unidad de montes es contra la procesionaria en los meses de Septiembre – Octubre con Diflubenturon 45 % P./V. y Dimilín en las dosis recomendadas por el fabricante.

Desde 1998, no se siguen realizando los habituales y masivos tratamientos contra el pulgón que se alimenta de géneros como Robinia, Populus, Pinus, Catalpa... así mismo, tampoco se realizan tratamientos contra Gnomonia veneta en Platanus.

La forma de aplicación es:

- Mecánica.- con fumigadora sobre tractor y cuba fumigadora con motor
- Manual.- con mochila manual

Las dosis empleadas son:

- Kasumin (Kasugamicina + Cobre) 50 gr/100 l;
- Benomilo (Benomilo) 200 gr/100 l;
- Bayfidan (Tridimenol) 100 cc/100 l;
- Bulldock (Betaciflutrin) 50 cc/100 l;
- Confidor (Imidacloprid) 50 cc/100 l;
- Juvinal (Piriproxifen) 50 cc/100 l.

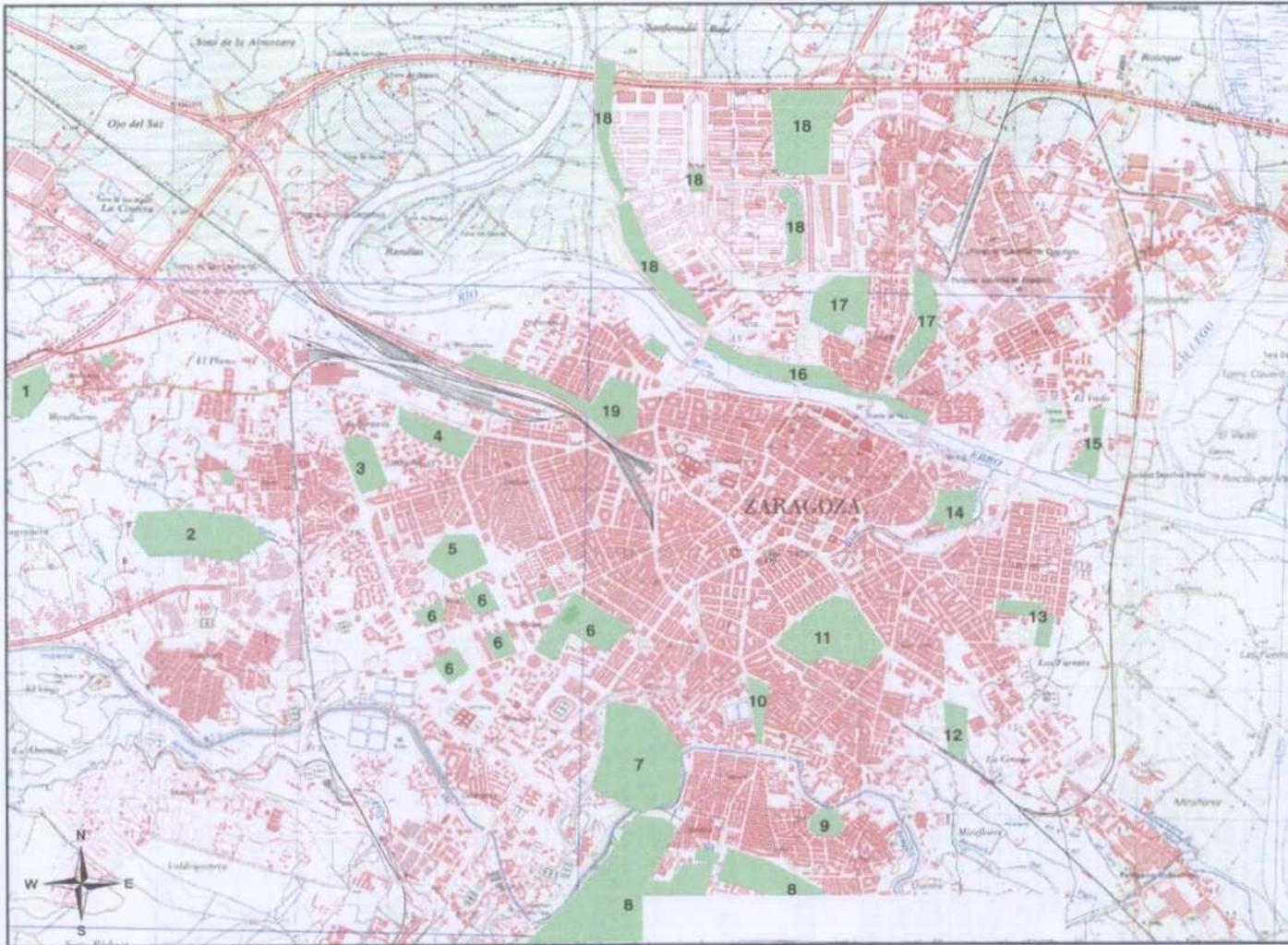
A continuación se enumeran (Tabla 11) y se representan (Figura 7) las zonas verdes o áreas ajardinadas principales de la ciudad de Zaragoza con la superficie que ocupan y la carga contaminante que soportan (Tabla 12).

Tabla 11.- Zonas verdes principales del casco urbano de la ciudad de Zaragoza.

| Zonas verdes | Área (m ²) | Perímetro (m) |
|--------------------------------|------------------------|---------------|
| Jardines de Al Andalus | 18.098 | 552 |
| Jardines de la Taifa Saraqusta | 17.867 | 552 |
| Jardines de Avicebron | 112.215 | 1.415 |
| Jardines de Avempace | 106.665 | 1.477 |
| Parque Delicias | 833.902 | 4.518 |
| Parque Sedetaria | 545.535 | 3.071 |
| Parque Oliver | 1.834.730 | 7.850 |
| Parque Castillo Palomar | 455.044 | 3.924 |
| Ciudad Universitaria | 160.325 | 1.975 |
| La Romareda | 348.026 | 2.606 |
| Parque Primo de Rivera | 20.040 | 742 |
| Parque Pignatelli | 9.830 | 456 |
| Parque Miraflores | 83.747 | 1.860 |
| Parque de la Memoria | 10.440 | 460 |
| Plaza Mayor | 9.878 | 403 |
| Parque de la Paz | 30.806 | 670 |
| Parque La Granja | 34.066 | 854 |
| Parque Torre Ramona | 18.055 | 561 |
| Parque Bruil | 32.577 | 805 |
| Plaza Los sitios | 8.662 | 382 |
| Arboleda Macanaz | 1.084.663 | 7.929 |
| Parque Tío Jorge | 136.664 | 1.513 |
| Parque de Oriente | 35.444 | 1.114 |
| Parque de la Esperanza | 36.150 | 824 |
| Parque Deportivo Ebro | 108.020 | 4.721 |

Tabla 12.- Carga contaminante vertida sobre las zonas verdes en forma de abono mineral.

| ZONA VERDE | SUPERFICIE Ha | Complejo 15-15-15 Kg./Ha | Nitrógeno Kg |
|-----------------|------------------|--------------------------------|-----------------|
| BRUIL | 2.9 | 1.305 Kg. | 1.261,5 |
| TORRERAMONA | 4.2 | 1.890 | 2.646 |
| TÍO JORGE | 12.6 | 5.670 | 23.814 |
| MACANAZ | 2.9 | 1.305 | 1.261,5 |
| PRIMO DE RIVERA | 17.6 | 7.920 | 46.464 |
| UNIVERSIDAD | 5.3 | 2.385 | 4.213,5 |
| ROMAREDA | 1.2 | 540 | 216 |
| PIGNATELI | 1.3 | 585 | 253,5 |
| CEMENTERIO | 7 | 3.150 | 7.350 |
| MIRAFLORES | 4.8 | 2.160 | 3.456 |
| PALOMAR | 4.3 | 1.935 | 2.773,5 |
| GRANJA | 2.8 | 1.260 | 1.176 |
| OLIVER | 6.8 | 3.060 | 6.936 |
| ALFAJERIA | 2.3 | 1.035 | 793,5 |
| DELICIAS | 4.7 | 2.115 | 3.313,5 |
| SEDETANIA | 2.4 | 1.080 | 864 |
| MIRALBUENO | 2.2 | 990 | 726 |



Situación y carga contaminante relacionada con parques y jardines.

Superficie zonas verdes Ha

| |
|-----------------------------------|
| Nº 1 - Miralbuono - 22 Ha. |
| Nº 2 - Oliver - 6.8 Ha. |
| Nº 3 - Sedetania - 2.4 Ha. |
| Nº 4 - Palomar - 4.3 Ha. |
| Nº 5 - Delicias - 4.7 Ha. |
| Nº 6 - Universidad - 5.3 Ha. |
| Nº 7 - Primo de Rivera - 17.6 Ha. |
| Nº 8 - Cementerio - 7 Ha. |
| Nº 9 - San Antonio - 0.7 Ha. |
| Nº 10 - Pignatelli - 1.3 Ha. |
| Nº 11 - Miraflores - 4.8 Ha. |
| Nº 12 - La Granja - 2.8 Ha. |
| Nº 13 - Torramona - 4.2 Ha. |
| Nº 14 - Brull - 2.9 Ha. |
| Nº 15 - Oriente - 2.9 Ha. |
| Nº 16 - Macanaz - 2.9 Ha. |
| Nº 17 - Tío Jorge - 12.6 Ha. |
| Nº 18 - Actur - 5.6 Ha. |
| Nº 19 - Alfajería - 2.3 Ha. |

FERTILIZANTES

Primavera y Otoño

- En todas las zonas: complejo 15-15-15 400 - 500 Kg/ha complementado con abono nitrogenado según necesidades del cultivo.
- En determinadas zonas: amonitro 33.5 % y urea 50 %.
- En determinados cultivos: abono foliar Metatosate 12% antídoto fosfórico, 12% óxido de potasio, 24 % fosfito de potasio 300 cc/100 l o 4 l/ha. Kelatón 520 Fe: Hierro 2.5% y agente quelante EDDHA.

FITOSANITARIOS

Primavera y Verano

- Anticriptogámico: Benomilo (Benomilo) - 200gr/100 l
- Kasumin (Kasugamicina - Cu) - 50 gr/100 l
- Bayfidan (Triadimenol) - 100 cc/100 l
- Miradores:
- Bulldock 2.5 sc (Betaciflutrin) - 50 cc/100 l
- Aftos:
- Confidor (Imidacloprid) - 50 cc/100 l
- Cochinilla:
- Juvinal (Pirproxifen) - 50 cc/100, l

Escala gráfica



MAPA 1.2. RIESGO DE AFECCIÓN POR ZONAS VERDES

Plano 3.- Mapa de situación de zonas verdes en la ciudad de Zaragoza.

5.3 Sector Industrial

En la provincia de Zaragoza la actividad industrial supone cerca de un 43 % del PIB claramente superior al 41% del sector servicios y muy por encima del 16 % del agrícola (Cámara de Comercio de Zaragoza 2000). Buena parte de estas industrias se concentran en los corredores fluviales, no obstante aún se mantienen dentro del casco urbano actividades que como los hospitales, surtidores de gasolina, los mercados o los talleres de automoción, generan una cantidad importante de residuos agresivos para el medio hídrico subterráneo.

Así pues, hablando en términos generales, la contaminación de las aguas subterráneas debido a actividades industriales se caracteriza por la gran variedad de sustancias químicas que este sector maneja y/o produce, las cuales son susceptibles de convertirse en contaminantes para las aguas subterráneas, además de ser también significativo su marcado carácter local o puntual.

Existen múltiples formas por las que, directa o indirectamente, se puede producir un aporte indeseable de sustancias al acuífero, principales focos reales y potenciales de contaminación de las aguas subterráneas por la actividad industrial son el vertido incorrecto de los residuos, además de eventuales pérdidas y fugas de contaminantes e incluso accidentes de transporte. A continuación se valorará el impacto que la industria ha tenido sobre la calidad del agua subterránea en la zona de influencia de la ciudad, analizando la industria como actividad de riesgo para la calidad de las aguas subterráneas.

También se presenta un análisis aproximado de la demanda industrial de agua. Se utiliza el término demanda como la cantidad teórica de agua que se solicita para el desarrollo de una actividad determinada; parte del agua de la demanda se gasta realmente (consumo directo, transformación en vapor, utilización como materia prima, etc.) y representa el “consumo neto” de dicha actividad. El resto, es decir el agua no consumida, se vierte tras su utilización y es portadora de diversos elementos contaminantes que pueden ser objeto de tratamientos previos (depuración) o ser vertidos directamente incorporándose al ciclo hidrogeológico y por tanto contaminar las aguas subterráneas. La distribución de la demanda según actividades se ha obtenido del Inventario de Consumos de agua ajenos a la red de abastecimiento del Término Municipal de Zaragoza (Ayto. de Zaragoza – Instituto Municipal de Salud Pública, 1992) y puede resumirse como sigue:

- 23.4 Hm³/año cubren la demanda industrial y la de los servicios relacionados con ella.
- 1.1 Hm³/año se destinan a abastecimientos urbanos o domésticos colectivos.

Dentro de los usos industriales, el volumen de agua demandado se distribuye de la siguiente forma:

- 0.9 Hm³/año para actividades comerciales e industriales con factor de vertido (K)=A.
- 21.7 Hm³/año para actividades comerciales e industriales con factor de vertido (K)=B.
- 0.8 Hm³/año para actividades comerciales e industriales con factor de vertido (K)=C

Dentro de los usos urbanos y domésticos colectivos, pueden distribuirse de la siguiente forma:

- 0.9 Hm³/año son destinados a actividades industriales o comerciales, sin consumo de agua derivado de la propia actividad. La demanda se genera para usos sanitarios (saneamientos y similares).
- 0.2 Hm³/año son destinados a abastecimientos urbanos y domésticos colectivos; la cifra anterior se considera orientativa, existiendo dificultades para su evaluación exacta, ya que hay una fuerte fluctuación de los parámetros que definen la demanda (dotaciones medias, variaciones estacionales de la población, suministros alternativos, etc...)

La caracterización de las actividades que mayor demanda generan (siempre considerando suministros no ligados a la red municipal), son las derivadas de la fabricación de papel y celulosa, seguidas de las fundiciones metálicas. Este hecho depende más de la importancia de dichas factorías que de las dotaciones medias por obrero o por superficie ocupada.

Las captaciones se sitúan, por lo general, fuera del núcleo urbano, mayoritariamente en zonas sin red de distribución de agua potable ni alcantarillado en las que suelen usarse pozos negros, fosas sépticas y en general sistemas muy agresivos para las aguas subterráneas. El uso a que se destinan estas tomas de agua es para sanitarios o pequeños regadíos de superficies ajardinadas, y en menor medida para consumo humano.

Los vertidos de aguas residuales que se producen en el Término Municipal de Zaragoza, son conducidos, bien a través de la red de colectores o directamente hasta cualquiera de los ríos (Ebro, Gallego, Canal Imperial de Aragón, o algún cauce subsidiario de éstos).

Interesa conocer el volumen de efluentes líquidos vertidos a partir del agua procedente de la red municipal y los generados a partir del agua no procedente de la red municipal. Puesto que el vertido se realiza de forma conjunta (independientemente de que la demanda se cubra con agua de la red, de sondeos o de cauces superficiales), la estimación del volumen vertido sólo puede realizarse por métodos teóricos. Sobre el total de extracciones a partir de bombeos netos y derivaciones de cauces superficiales (24.5 Hm³) se ha calculado un volumen de efluentes de 22.8 Hm³. Es decir, aproximadamente el 90 % de la demanda para

usos industriales o urbanos es vertido de nuevo tras su utilización. En total se han contabilizado dentro del núcleo urbano 4.8 Hm³/año de vertidos derivados de extracciones no tarifadas por el Ayuntamiento de Zaragoza. (Ayto. de Zaragoza. Instituto Municipal de Salud Pública, 1996)

Las cuencas colectoras de los efluentes correspondientes a los barrios interurbano de Zaragoza recogen un volumen adicional de 18 Hm³, correspondiendo en su mayoría a Polígonos industriales o barrios residenciales. Existe un volumen de 0,6 Hm³ de efluentes que no quedan adscritos a ningún colector concreto. La eliminación de dichos vertidos se realiza a través de fosas sépticas o vertidos a cauces sin red de alcantarillado jerarquizada.

Desde el punto de vista de las actividades que se incluyen en el sector industrial, se pueden citar por orden de importancia (referidas a valores de producción totales) las de transformación metálica, industria alimentaria, construcción y textil como las de mayor relevancia, la industria del papel, química y de la madera le siguen en importancia, quedando atrás otras como agua, gas y electricidad, cerámica, vidrio y cemento otras industrias manufactureras y la minería extractiva. Se ha elaborado una clasificación de residuos (Tabla 13) estableciendo el riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas según su reactividad.

Tabla 13-. Clasificación de residuos según el riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas

| Grupo | Subgrupo | Reactividad | Riesgo Potencial |
|-------|-------------------|----------------------------|--|
| A | INERTES | | NO AFECTAN AL AGUA SUBTERRÁNEA (INSOLUBLES...) |
| B | NO TÓXICOS | | SU INGESTA NO SUPONE RIESGO PARA LA SALUD HUMANA |
| | B-1 | TOTALMENTE DEGRADABLES | |
| | B-2 | PARCIAL O NADA DEGRADABLES | |
| C | TÓXICOS | | SU INGESTA SUPONE RIESGO PARA LA SALUD HUMANA |
| | C-1 | TOTALMENTE DEGRADABLES | |
| | C-2 | PARCIAL O NADA DEGRADABLES | |

En la Tabla 14 se presenta una relación de las industrias de mayor impacto, la clasificación se ha hecho en base al número de trabajadores, la potencia instalada y el tipo de actividad:

Tabla 14.-Clasificación de las Industrias del municipio de Zaragoza

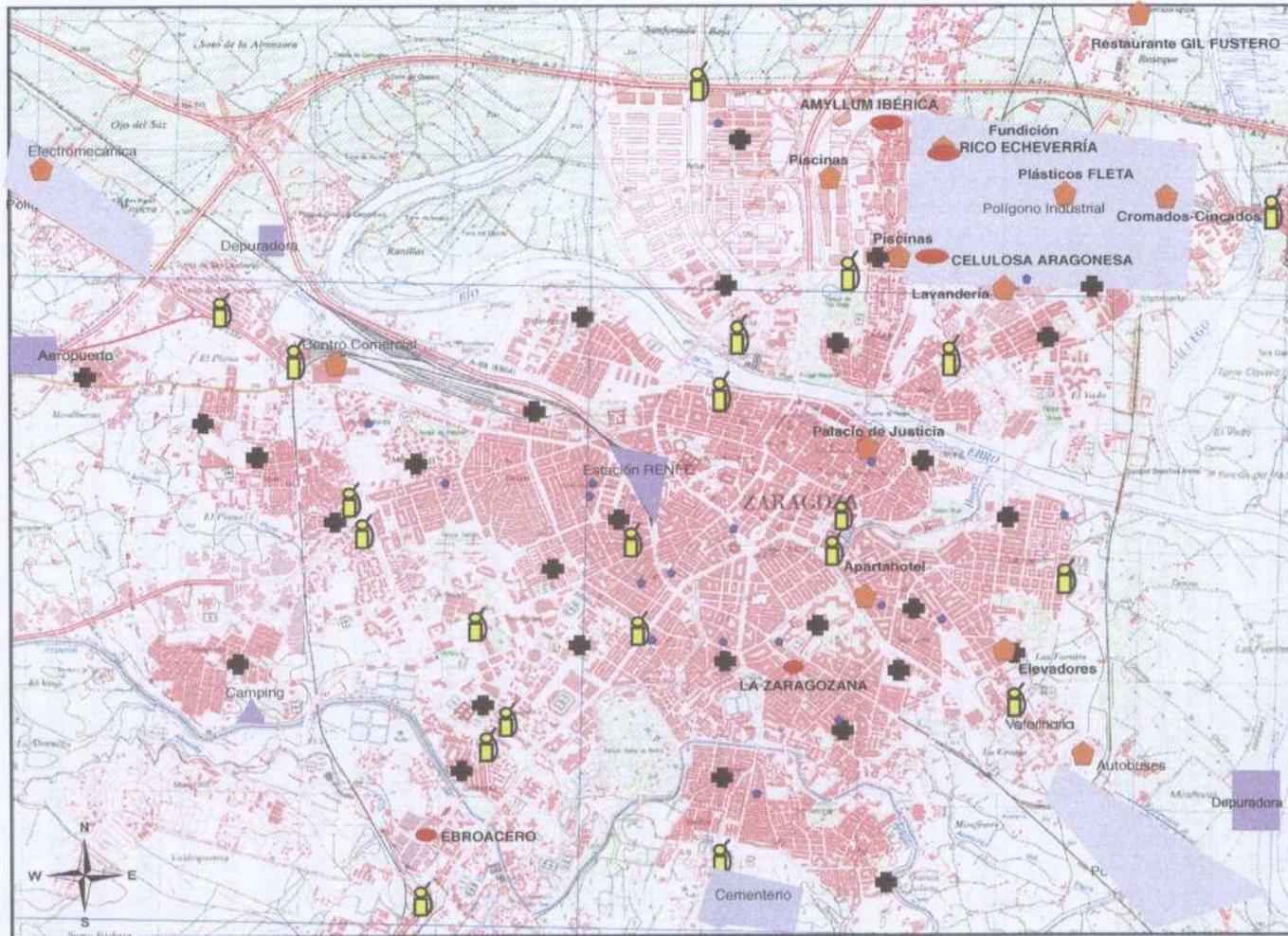
| CNAE-93 | Traducción CNAE | Nº industrias | Personal | Potencia instalada media | Grupo |
|---------|---|---------------|----------|--------------------------|-------|
| 15333 | Preparación y conservación de aceitunas | 1 | 19 | 44 | B-2 |
| 15413 | Obtención de otras grasas y aceites vegetales sin refinar | 1 | 17 | 909 | B-2 |
| 15420 | Fabricación de aceites y grasas refinadas | 2 | 15 | 42 | B-2 |
| 15620 | Fabricación de almidones y productos amiláceos | 2 | 315 | 8350 | B-1 |
| 15960 | Fabricación de cerveza | 2 | 97 | 1021 | B-1 |
| 22120 | Edición de periódicos | 23 | 159 | 267 | B-2 |
| 22240 | Composición y fotograbado | 3 | 7 | 40 | C-1 |
| 22250 | Otras actividades gráficas | 5 | 14 | 60 | C-1 |
| 24110 | Fabricación de gases industriales | 5 | 50 | 1638 | B-1 |
| 24142 | Fabricación de otros productos básicos de química orgánica | 5 | 8 | 92 | C-2 |
| 24150 | Fabricación de abonos y compuestos nitrogenados fertilizantes | 6 | 13 | 354 | C-2 |
| 24410 | Fabricación de productos farmacéuticos de base | 25 | 23 | 586 | C-2 |
| 26210 | Fabricación de artículos cerámicos de uso doméstico y ornamental | 2 | 4 | 37 | A |
| 26510 | Fabricación de cemento | 6 | 152 | 2144 | B-1 |
| 27100 | Fabricación de productos básicos del hierro, acero y ferroaleaciones (CECA) | 4 | 300 | 69450 | B-1 |
| 27220 | Fabricación de tubos | 3 | 4 | 16 | B-1 |
| 27420 | Producción y primera transformación de aluminio | 7 | 331 | 1949 | C-2 |
| 27500 | Fundición de metales | 6 | 371 | 12922 | C-2 |
| 27530 | Fundición de metales ligeros | 17 | 20 | 275 | C-2 |
| 28400 | Forja, estampación y embutición de metales; metalurgia de polvos | > 50 | 104 | 3197 | C-2 |
| 28610 | Fabricación de artículos de cuchillería y cubertería | > 25 | 10 | 199 | B-2 |
| 29121 | Fabricación de bombas | 12 | 26 | 303 | B-2 |
| 29200 | Fabricación de otra maquinaria, equipo y material mecánico de uso general | 17 | 157 | 934 | B-1 |
| 31200 | Fabricación de aparatos de distribución y control eléctricos | 19 | 551 | 11838 | B-1 |
| 32200 | Fabricación de transmisores de radiodifusión y televisión y de aparatos para la radiotelefonía y radiotelegrafía con hilos. | 1 | 10 | 65 | A |
| 32201 | Fabricación de equipos de emisión de radio y televisión | 11 | 477 | 722 | A |
| 34100 | Fabricación de vehículos de motor | 40 | 431 | 2645 | B-2 |
| 36000 | Fabricación de muebles, otras industrias manufactureras | 21 | 19 | 121 | A |
| 37200 | Reciclaje de desechos no metálicos | > 50 | 28 | 140 | B-1 |
| 50301 | Comercio al por mayor de repuestos y accesorios de vehículos de motor | 10 | 12 | 113 | B-1 |
| 74810 | Actividades de fotografía | > 50 | 31 | 256 | C-2 |
| 51150 | Intermediarios del comercio de muebles, artículos para el hogar y ferretería. | 3 | 4 | 33 | B-1 |

En la Tabla 15 se clasifican los residuos industriales en función de la agresividad para con las aguas subterráneas según la clasificación propuesta en la Tabla 13.

Tabla 15.- Clasificación de residuos atendiendo a la agresividad para las aguas subterráneas

| CNAE | Industrias | Residuos | Clasificación |
|------|-----------------------|---|---------------|
| 251 | QUÍMICA BÁSICA | Aceites de refrigeración, de maquinaria y de engrase, chatarras recortes y virutas polvos metálicos, abrasivos, refractarios, cenizas, fangos inorgánicos baños ácidos, lodos de depuradora, cauchos y plásticos halogenados, detergentes contaminados... | C-2 |
| 252 | QUÍMICA AGRÍCOLA | Aceites de corte, fangos inorgánicos, lodos de depuradora, lodos arcillosos con sulfato de manganeso, aerosoles, isómeros ... | C-2 |
| 253 | QUÍMICA INDUSTRIAL | Hidróxido cálcico, pinturas, colas, lacas, barnices, aguas residuales con grasa y glicerina de estearatos, óxido de plomo y ácido esteárico, tierras decolorantes impregnadas en aceite, alquitranes. | C-2 |
| 254 | FARMACÉUTICA | Medicamentos caducados | B-2 |
| 311 | FUNDICION | Arenas (sílice-silicatos), polvos no metálicos, abrasivos, refractarios, cenizas y escorias. | A |
| 313 | METALURGIA | Aceites de maquinaria y engrase, chatarras, recortes y virutas, polvos metálicos, abrasivos, baños cianurados con cromo hexavalente, ácidos clorhídrico y sulfúrico, baños fosfatantes, desengrasantes, pasivantes, baños concentrados de sales metálicas – cobreado, niquelado, cadmiado, zincado..., pintura, colas, lacas, barnices, lodos de depuradora, detergentes. | C-2 |
| 34 | FOTOGRAFÍA | Aceites de refrigeración, maquinaria y engrase, escombros inertes, chatarras, recortes y virutas, polvos metálicos, fangos inorgánicos, cloruros orgánicos, baños de colorantes, tintas, líquidos de fotografía, pasta de papel, metasilicato, solución de látex en agua. | C-2 |
| 482 | MATERIAS PLÁSTICAS | Aceites de maquinaria y engrase, lodos de depuradora, hidróxido sódico, sulfito, hipoclorito, chatarras recortes y virutas, escorias, polvo de celulosa, vidrios, espuma de poliuretano... | B-2 |
| 491 | JOYERÍA Y BISUTERÍA | Chatarras, recortes y virutas, arenas, escorias, baños cianurados, baños con cromo hexavalente, lodos de depuradora de aguas de proceso | B-2 |
| 941 | HOSPITALES Y CLÍNICAS | Vidrios, lodos de depuradoras, plomo, restos de material médico | C-2 |

En el mapa que se adjunta más adelante (Plano 4), se representa la distribución de industrias controladas potencialmente contaminantes del medio hídrico subterráneo. Se han seleccionado una serie de industrias de gran relevancia desde el punto de vista de la contaminación atmosférica que originan (representadas en la Figura 9 en forma de pentágono de color rojo), considerando su pertenencia a sectores incluidos en el “*Catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera*” grupos A y B (Decreto 833/75, de desarrollo de la Ley 38/72, de protección del ambiente atmosférico). Respecto a la posible contaminación de las aguas subterráneas tiene sentido destacarlas debido a la deposición seca y húmeda que arrastraría las partículas emitidas por éstas a la atmósfera en forma de lluvia ácida y acabaría depositándose en el suelo y a través de éste llegaría hasta el acuífero. Estas industrias son principalmente fundiciones, industrias cuya actividad es la fabricación de papel, así como industrias alimentarias.



Mapa de riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas por actividad industrial.

-  Actividades industriales en las que se han tomado muestras.
-  Industrias importantes
-  Estaciones de servicio
-  Ambulatorios
-  Lavanderías
-  Actividades singulares

Escala gráfica
 1000 m 500 0 2 3 Kilómetros

Plano 4.- Mapa de industrias singulares de Zaragoza.

6. CAMPAÑAS DE MUESTREO. RESULTADOS ANALITICOS

Las campañas de muestreo se llevaron a cabo durante dos periodos: en el primero de ellos (octubre 2000), se tomaron muestras en 45 puntos mientras que durante la campaña realizada en marzo de 2001, únicamente se pudieron tomar muestras en 40 puntos (debido a problemas de accesibilidad).

Durante las campañas se realizaron medidas in situ de parámetros inestables: T^a, pH y conductividad. Al laboratorio se mandaron por cada muestra dos botellas de polietileno de 1 l, uno de los cuales se acidificó con ácido nítrico ultrapuro. Los análisis se realizaron en el laboratorio del IGME, determinándose: pH, Conductividad, DQO, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, B, Fe, B, Br. Los análisis de metales pesados (21 elementos: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V y Zn) se han determinado mediante la técnica de ICP masas (equipo de Espectrometría de Emisión de Plasma modelo JARREL-ASH, ICAP-61).

En el caso de la campaña de muestreo de suelos, al tratarse de un núcleo urbano densamente poblado, la toma de muestras está naturalmente restringida a una serie de lugares, heterogéneamente distribuidos por la ciudad: zonas verdes en general y zonas con una actividad industrial potencialmente contaminante. Alguno de ellos coincidentes con puntos de muestreo de aguas subterráneas. En total, se tomaron muestras en 40 puntos, que fueron metidas en bolsas de plástico con autocierre estanco. Una vez recogidas, las muestras fueron transportadas al laboratorio, secadas al aire, antes de ser sometido a disgregado, homogeneizado y desmuestra manual. Se llevó a cabo una clasificación granulométrica vía húmeda, así como una molienda a tamaño de análisis (36µm) para DRX. Una vez preparadas las muestras se realizaron los análisis físico-químicos correspondientes.

Se presentan en este apartado los resultados correspondientes a los estudios previos de caracterización del medio, riesgo y afección así como de la calidad del agua subterráneas en función del uso.

6.1 Composición natural

El contexto geológico condiciona la mala calidad de las aguas subterráneas para abastecimiento y riego y la gran vulnerabilidad a la contaminación que presentan. Toda la zona evaporítica central al zócalo del acuífero corresponde a una potente formación de yesos y además los torrentes de las pequeñas cuencas adyacentes aportan aguas muy sulfatadas que se infiltran invariablemente al llegar al acuífero.

La ciudad de Zaragoza se ubica sobre el acuífero nº 62: Aluvial del Ebro y sus afluentes. Las aguas pertenecientes a este acuífero se caracterizan por una mineralización que

suele ser de notable a fuerte. La conductividad llega a alcanzar 15.500 μ /cm. Los sulfatos son muy variables en concentración y pueden alcanzar valores muy altos (hasta 3.500 mg/L), aunque lo normal es que no superen los 1.000 mg/L. Los cloruros se sitúan generalmente en valores comprendidos entre 30 y 50 mg/L, llegando a alcanzar hasta 4.000 mg/L en algún punto.

Los nitratos suelen estar presentes con concentraciones muy altas superando fácilmente los límites tolerables. Acusan una tendencia a aumentar en estos últimos años. Los nitritos también tienen concentraciones superiores a las establecidas. El calcio está presente con valores variables, pero frecuentemente se sitúan entre 80 y 150 mg/L. El magnesio oscila normalmente entre 30 y 40 mg/L. El potasio se encuentra con valores bastante estables oscilando entre valores medios de 2 a 7 mg/L. El sodio varía mucho, llegando a concentraciones muy elevadas pero sólo puntualmente, y comúnmente oscila entre 7 y 30 mg/L.

La mayor mineralización de las aguas de este grupo se traduce en una disminución notable de su calidad. El exceso de nitratos, sulfatos, nitritos, calcio y residuo seco son los factores principales de la no potabilidad que se produce entre el 20-30% de esta agua. Las facies predominantes son la bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica, menos frecuente la bicarbonatada magnésica, sulfatada cálcica y cálcico-magnésica y, ocasionalmente, la clorurada cálcica.

Desde el punto de vista de la agricultura, abundan las aguas pertenecientes al grupo C₄S₃ y C₅S₂.

Entre las fuentes de salinidad en el agua, en la cuenca han de destacarse los materiales yesíferos triásicos y terciarios que producen una contaminación natural de las aguas subterráneas reflejada en aumentos de conductividad, dureza, sulfatos, calcio, etc.. Dentro de los focos de contaminación de origen antrópico, cabe destacar las actividades agrícolas por cuanto son consideradas como la causa principal del elevado valor de fondo de nitritos y nitratos y de la intensa contaminación puntual por compuestos nitrogenados; las causas últimas han de buscarse fundamentalmente en la aplicación incorrecta de fertilizantes y en la reutilización de los excedentes de regadío.

Por otra parte, el Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza (mayo 1999) nos revela que la calidad del agua para abastecimiento en la ciudad de Zaragoza, se caracteriza por presentar:

- contenidos salinos relativamente altos.
- contenidos en materia orgánica variables, generalmente débiles pero con valores puntuales elevados en momentos concretos. Lo mismo sucede con los sólidos en suspensión, con puntas elevadas de turbidez.
- Tendencia creciente a la aparición de microcontaminantes con origen en fertilizantes y pesticidas agrícolas incorporados por drenaje de las aguas freáticas.
- Factor esencial de la calidad media del agua es el caudal presentado por el Ebro, con ligera tendencia al empeoramiento, ya que el uso cada vez más intensivo del agua del río tiende a disminuir los caudales y a concentrar los vertidos.

En el Anexo I se muestran los resultados de los análisis de componentes mayoritarios de las dos campañas.

Se trata en la mayoría de los casos de aguas subterráneas con un elevado grado de mineralización. La conductividad sobrepasa con frecuencia los 2000 $\mu\text{s} / \text{cm}$, llegándose a alcanzar en algunos casos valores de hasta 5000 $\mu\text{s} / \text{cm}$. Se ha observado que en el margen izquierdo del río presenta unas conductividades mayores que el derecho, a excepción de dos puntos en éste último que son los dos puntos con mayores conductividades de todos. Además presenta una dureza media de 75 $^{\circ}\text{F}$.

Las aguas presentan valores de pH que oscilan entre 7 y 8.5. Los valores de alcalinidad medidos oscilan entre 150 y 460 ppm.

El ión sulfato es el principal responsable de la mineralización seguido de cloruros, bicarbonatos, sodio, calcio y magnesio. Para una mejor caracterización de esta agua, se han llevado a cabo diagramas de Piper y de Schoeller correspondientes a las dos campañas de muestreo (Figura 6 y 7).

En los diagramas de Piper correspondientes a ambas campañas, no se observan diferencias significativas entre los valores de octubre 2000 y marzo 2001. El tipo de aguas que se deducen de la representación de los puntos de la red de control, son mayoritariamente sulfatadas cálcicas y/o cloruradas cálcicas.

Diagrama Piper 1ª campaña (octubre 2000)

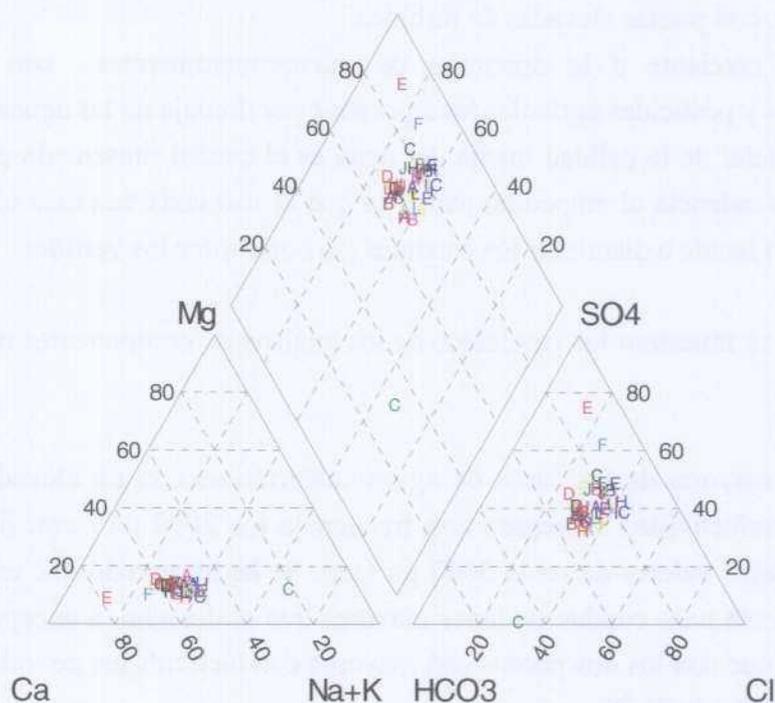


Diagrama de Schoeller 1ª campaña (octubre 2000)

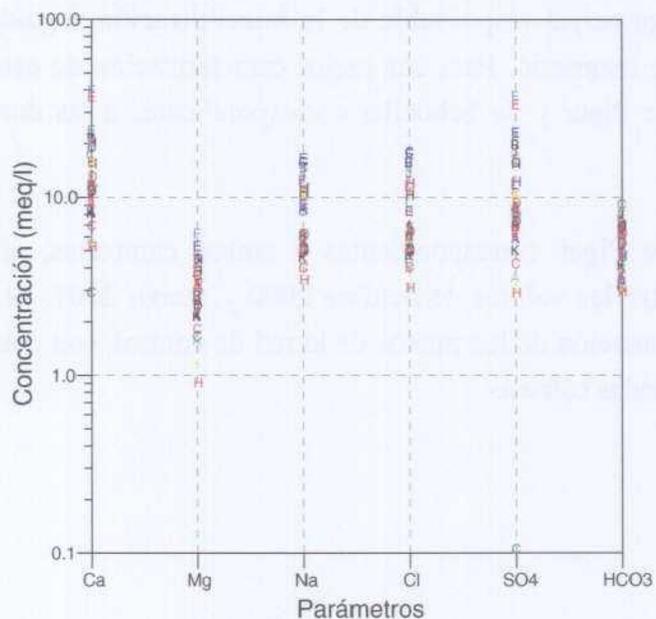


Figura 6.- Diagramas de Piper y Schoeller pertenecientes a la 1ª campaña de muestreo (octubre 2000)

Diagrama de Piper 2ª campaña (marzo 2001)

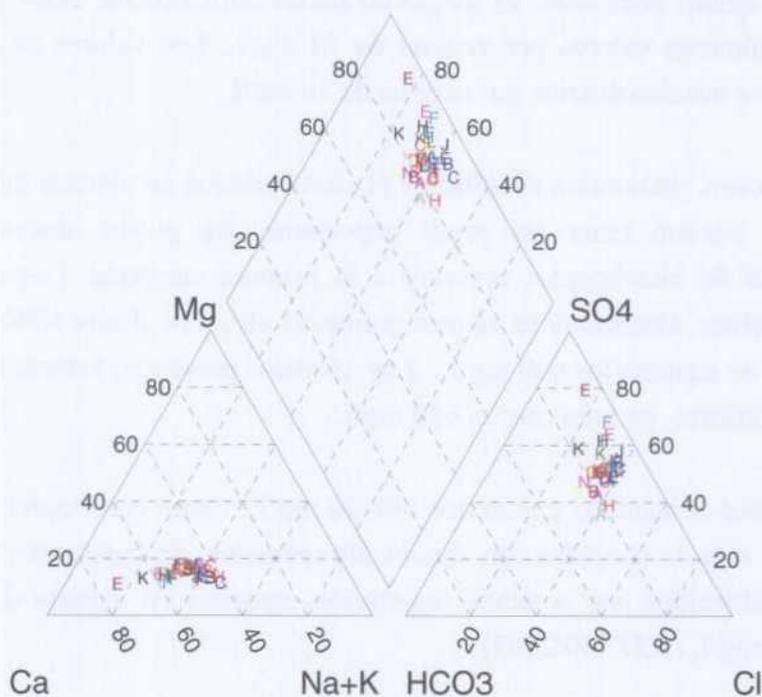


Gráfico Schoeller 2ª campaña (marzo 2001)

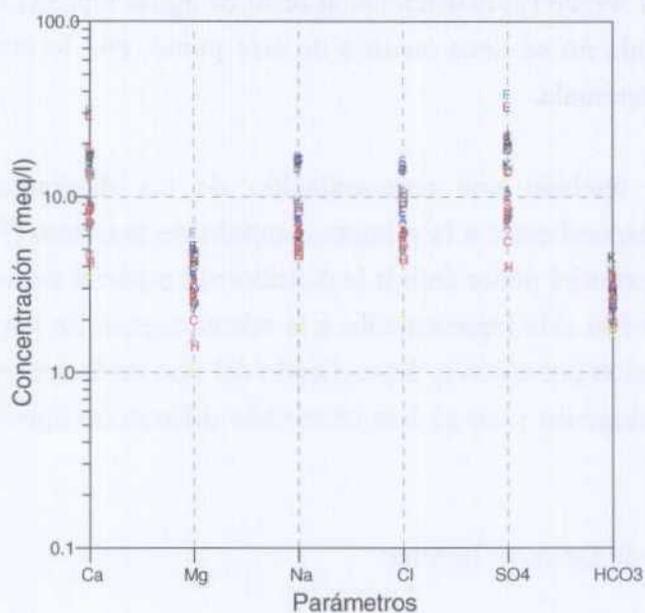


Figura 7.- Diagramas de Piper y Schoeller pertenecientes a la 2ª campaña de muestreo (marzo 2001)

En general, los cationes más frecuentes son el calcio y sodio. El calcio presenta un amplio rango de valores desde 100-400 mg/L, alcanzándose puntualmente valores entorno a 700 mg/L. Se observa un aumento de los valores de calcio en la primera campaña respecto a

la segunda. El sodio presenta un intervalo de valores entre 100-300 mg/L, no observándose diferencias importantes en ambas campañas. El magnesio oscila normalmente entre 20 y 60 mg/L, alcanzándose puntualmente valores por encima de 70 mg/L. Los valores de potasio suelen ser bajos, superándose ocasionalmente por encima de 10 mg/L.

En cuanto a los aniones, predomina el sulfato y el cloro, aunque en algunas ocasiones los bicarbonatos también pueden tener un papel importante. Se puede observar una disminución de la cantidad de bicarbonatos respecto a la primera campaña. Los sulfatos presentan valores muy variables, alcanzándose valores puntuales elevados (hasta 1800 mg/L), aunque de manera general, no superan los 600 mg/L. Los cloruros presentan valores siempre superiores a 100 mg/L e inferiores, en todo caso, a 650 mg/L.

Cabe destacar los altos contenidos en nitratos (40–70 mg/L) como consecuencia de la infiltración de las aguas de regadío cargadas con abonos nitrogenados. En bastantes casos, se sobrepasan los valores establecidos por la actual legislación española en materia de aguas potables, establecido en 50 mg/L (R.D 140/2003).

De la representación de los diagramas de Piper, destaca la representación del punto número 3 denominado “Actur área 9”, en el cual las aguas durante la primera campaña presentan carácter bicarbonatado sódico (muy diferente al resto de aguas representativas de la zona), mientras que en la segunda no se tiene análisis de éste punto, con lo cual no se ha podido ratificar su composición anómala.

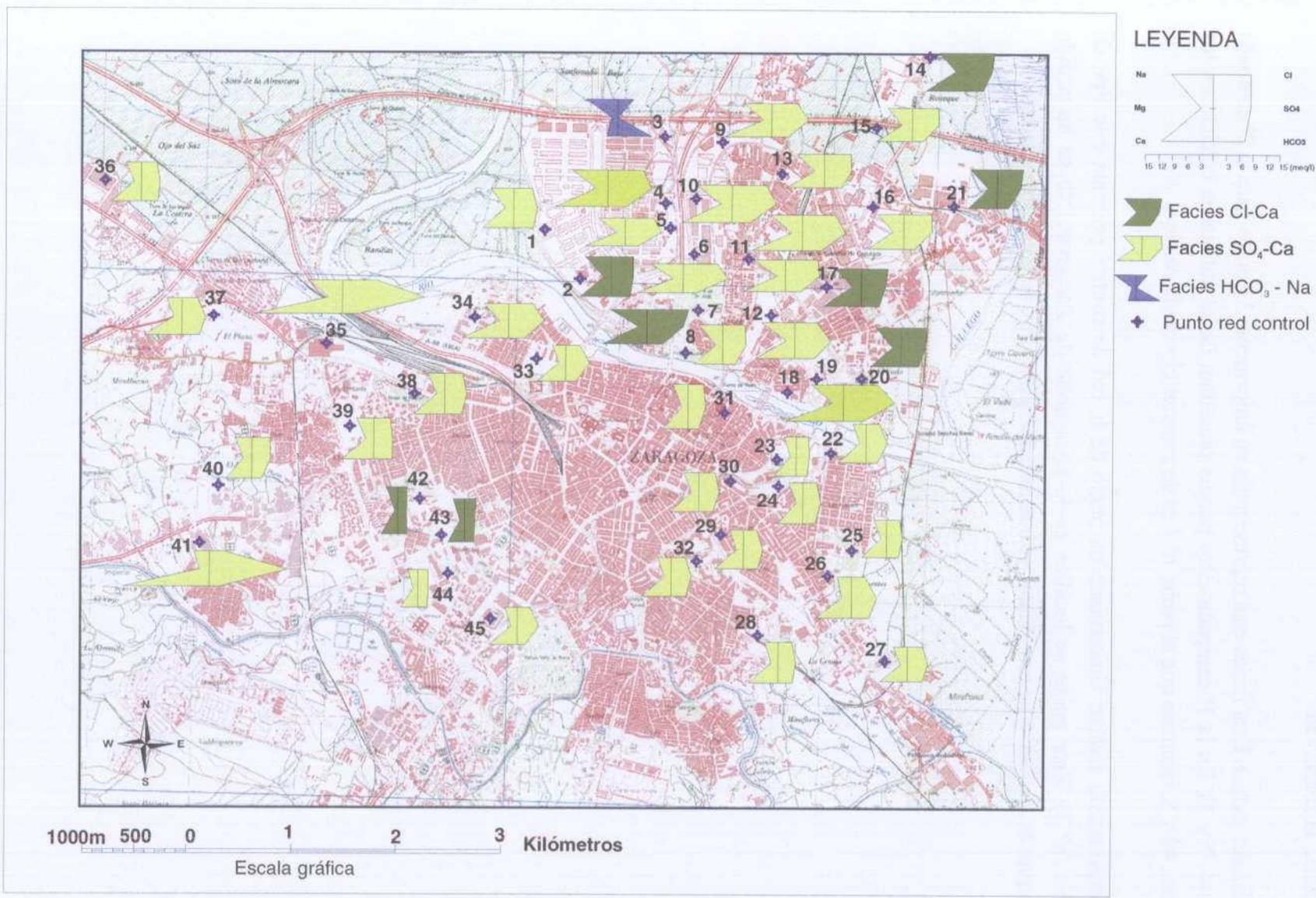
Se ha llevado a cabo también una representación de los diagramas de Stiff modificados de los análisis correspondientes a la primera campaña de muestreo (Plano 5) y a la segunda (Plano 6). Esto nos permitirá poder definir la distribución espacial de los puntos de la red de control. Los diagramas han sido representados a la misma escala. En los mismos, se ha llevado a cabo una diferenciación por colores, dependiendo del tipo de facies representada. Se observa una distribución homogénea y no se han observado diferencias significativas en ambas márgenes del río Ebro.

Se distinguen claramente 4 tipos de facies en la zona:

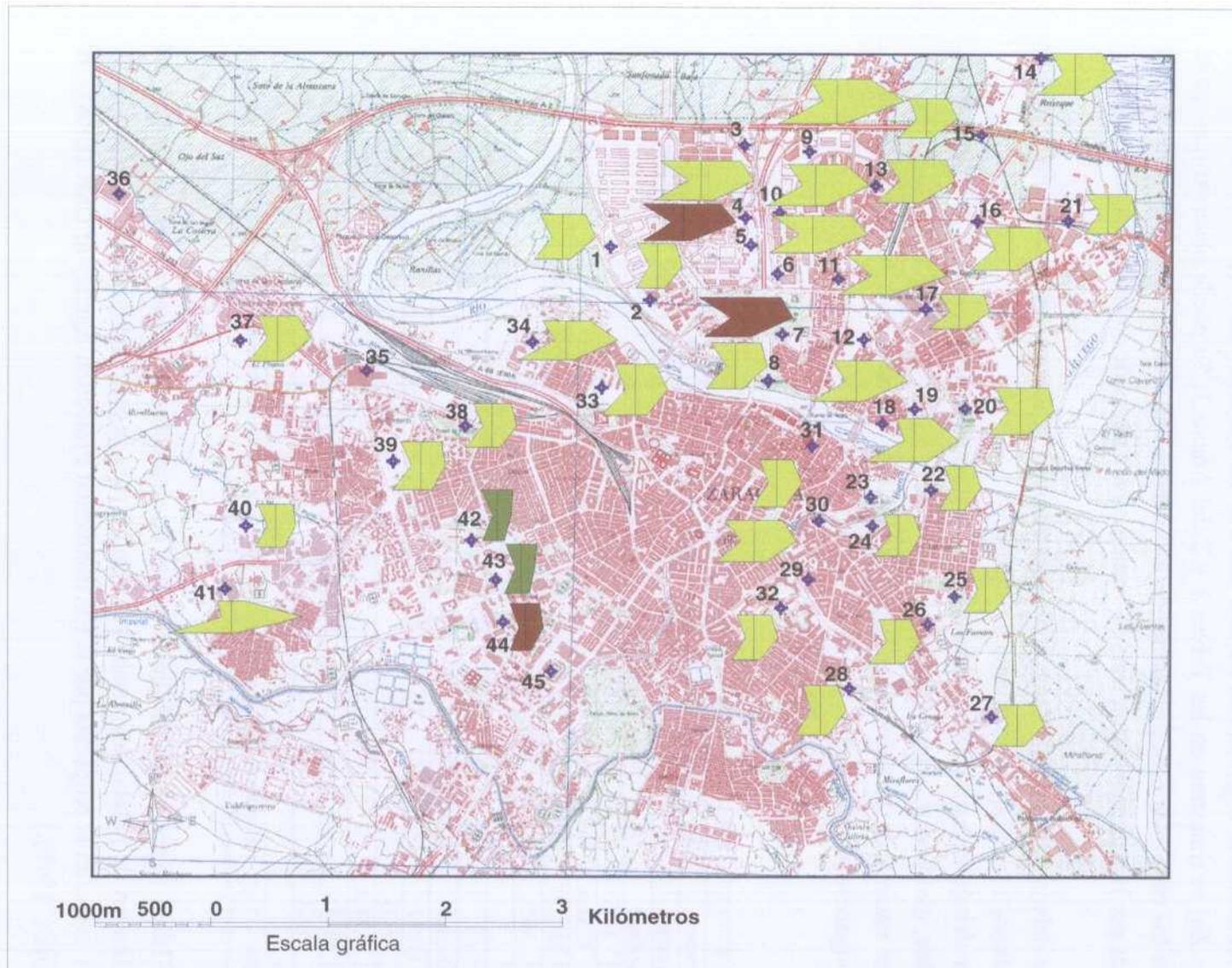
- *Sulfatada cálcica*: Es la facies hidroquímica predominante en la zona, está relacionada con la presencia de rocas evaporíticas (yesos principalmente) de los materiales terciarios de la depresión sobre los que se sitúa la ciudad de Zaragoza.
- *Clorurada cálcica*: Este tipo de facies es minoritaria, únicamente 7 puntos del total para la 1ª campaña. Se localizan a ambos márgenes del río Ebro, pero son más numerosas en el

margen izquierdo. En la 2ª campaña, únicamente 2 puntos (nº 42 y 43) de la margen derecha, la conservan.

- *Sulfatada sódica*: Esta facies está representada en únicamente 3 puntos para la 2ª campaña (nº 44, 7 y 5). En la 1ª campaña estos puntos presentan facies sulfatadas cálcicas en los puntos 44 y 5, mientras que el punto nº 7 es de carácter clorurada cálcica.
- *Bicarbonatada sódica*: Únicamente un punto de la red de control presenta este tipo de facies (nº 3). Este punto se localiza en la zona norte de Zaragoza. No se ha podido observar la evolución de este punto, ya que durante la 2ª campaña no se obtuvo análisis.



Plano 5.- Mapa de diagramas de Stiff. 2ª campaña (octubre 2000)



Plano 6.- Mapa de diagramas de Stiff. 2ª campaña (marzo 2001)

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Metales pesados

Además de los elementos mayoritarios, también se determinaron 21 elementos traza entre los que se encuentran los contaminantes inorgánicos cuya concentración determina la potabilidad de las aguas. Las concentraciones de los elementos traza analizados para las dos campañas de muestreo (Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Th, Tl, U, V y Zn) se muestran en las Tablas 1 y 2 del Anexo 3. Se puede observar que, en la mayoría de los casos, las concentraciones de los metales halladas son inferiores a los límites establecidos por la reglamentación técnico- sanitaria para aguas de consumo. De este modo:

- Por debajo del límite de detección de las técnicas usadas se encuentran: plata, berilio, cadmio, antimonio, torio, titanio y vanadio.
- Por debajo de su concentración máxima admisible aparecen: bario, cobalto, cromo, cobre, molibdeno, plomo y uranio.
- Por encima de los niveles máximos admisibles encontramos: mercurio, aluminio, manganeso, selenio y zinc.

Tabla 16.- Valores máx. ($\mu\text{g/L}$) de elementos traza . Campañas 2000/2001

| ELEMENTO | Ag | Al | As | Ba | Be | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mn | |
|---------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|----|
| MÁX. VALOR 1 | 0.17 | 270 | 9.7 | 69 | 1.1 | 2.8 | 3.8 | 20.7 | 96.6 | 5.89 | 90.4 | |
| MÁX. VALOR 2 | 1.6 | 3581 | 20.6 | 52.9 | 5.4 | 91.5 | 15.8 | 61.1 | 99.4 | 1.5 | 347 | |
| ESPAÑA | N.G | | | 100* | | | | | 100* | | 20* | |
| | C.M.A | 10* | 200 | 10 | - | - | 5 | 2000 | 50 | | 1* | 50 |
| U.S.A | MCLG | - | | 0 | 2000 | 4 | 5 | - | 100 | 1300 | 2 | |
| | MCL | - | | 50 | 2000 | 4 | 5 | - | 100 | | 2 | |
| EUROPA | | | 200 | 10 | | | 5 | 2000 | 50 | 2000 | 1 | 50 |
| ELEMENTO | Mo | Ni | Pb | Sb | Se | Th | Tl | U | V | Zn | | |
| MÁX. VALOR 1 | 21.5 | 1703 | 11.2 | 1.6 | 38.2 | 0.26 | 0 | 4.3 | 3.7 | 3063 | | |
| MÁX. VALOR 2 | 39.9 | 39.5 | 10.3 | 0.77 | 30.2 | 5.2 | <3 | 16.8 | 17.9 | 3032 | | |
| ESPAÑA | N.G | | | | | | | | | 100/5000* | | |
| | C.M.A | | 20 | 25 | 5 | 10 | | | | | | |
| U.S.A | MCLG | | - | 0 | 6 | 50 | | 0.5 | 0 | | | |
| | MCL | | - | 15 | 6 | 50 | | 2 | 30 | | | |
| EUROPA | | | 20 | 10 | 5 | 10 | | | | | | |

N.G: nivel guía; C.M.A: concentración máxima admisible; MCLG: maximum contaminant-levels goals; MCL: maximum contaminant-level. (*) valores referidos a R.D 1138/1990 de 14 septiembre.

La Tabla 16 recoge los máximos valores de elementos traza para ambas campañas, así como los límites de potabilidad establecidos tanto para la legislación actual española (R.D. 140/ 2003), como en la propuesta por la Environmental Protection Agency of USA (EPA) y la europea (OJEC 1998).

La distribución encontrada en los metales estudiados ha sido la siguiente:

- **Bario:** no supera su límite máximo admisible (100 µg/L) en ningún punto muestreado; aparece en concentraciones entre 10 y 70 µg/L en la campaña de octubre de 2000; y entre 5 y 50 aproximadamente en la campaña de marzo de 2001. Generalmente, los compuestos de bario son usados por las industrias de petróleo y del gas natural para fabricar taladros especiales. Estos materiales facilitan la perforación a través de rocas ya que mantienen la barrena del taladro lubricada. También se usan para hacer pinturas, baldosas, vidrios y caucho. El sulfato de bario se usa en ciertos exámenes médicos y para tomar rayos-X del estómago. Por lo tanto, algunos compuestos de bario se disuelven fácilmente en el agua y se pueden encontrar incorporados en las aguas, aunque en niveles bajos.
- **Selenio:** supera con frecuencia (13 de las muestras) los 10 µg/L en la primera campaña (octubre 2000), llegándose a alcanzar valores superiores a 30µg/L ; en la segunda (marzo 2001) supera el límite en 26 de las muestras. Para ambas campañas se observa una mayor concentración de este elemento en la margen izquierda del río, donde se localiza la mayor actividad industrial. Aunque la literatura describe numerosos focos antrópicos: industrias de xerocopias; vidrio; como componente de pigmentos en plásticos, pinturas, esmaltes, tinturas y caucho; cosmética; cerámica; farmacéutica, electrodomésticos y acero, o bien como aditivo nutricional en alimentos para aves de corral y ganado, pesticidas, fungicidas, así como por el uso de fertilizantes fosfatados (Fetter, C.W., 1993).
- **Mercurio:** En Zaragoza supera su límite de toxicidad en tres casos en la primera campaña: el punto 18 (5.89 µg/L) – Parque de la Ribera, el 22 (4.67 µg/L) – Parque Puente de la Unión y el 40 (5.18 µg/L) en el parque Oliver. En la segunda campaña, sin embargo, se han obtenido veinte muestras con niveles de concentración superiores a 1 µg/L. Puede proceder de fábricas e industrias químicas, fungicidas, de lixiviación de cenizas de carbón o de electrodos de cloruro sódico para obtener gas de cloro y sosa caústica. También se usan en termómetros, empastes dentales y pilas. Las sales de mercurio se usan en cremas para aclarar la piel y en cremas y ungüentos antisépticos. La concentración máxima admisible según el R.T.S. es 1 µg/L. Tiene alta toxicidad para el hombre, especialmente cuando se encuentra en forma orgánica la cual con la ingestión de sólo unos pocos miligramos produce enfermedad.
- **Manganeso:** supera los 50 µg/L en tres puntos (3,18, 23): alrededores del Huerva (antigua central eléctrica) y en la margen izquierda del Ebro, según los datos de la primera campaña. El punto con mayor concentración en este elemento, nº 18,

alcanza valores de 106 $\mu\text{g/L}$. En la segunda campaña, son cuatro (18, 32, 37, 41 y 44) los puntos que superan el valor límite, destacando el 37 con 119 $\mu\text{g/L}$ en el parque de Vista Bella y el 41 con 347 $\mu\text{g/L}$ situado en el parque del "Al Campo". Cabe destacar la reducción, en el punto 18, a la mitad de la concentración de Mn de la primera a la segunda campaña, aunque en ambas se superan los 50 $\mu\text{g/L}$.

Es un metal que, a parte de su utilización industrial, forma parte del compuesto metilciclopentadienil manganeso tricarbonil (MMT), recientemente aprobado como un aditivo de la gasolina; otros compuestos orgánicos de manganeso comunes incluyen pesticidas tales como maneb o mancozeb. El dióxido de manganeso se usa como un agente descante o catalizador en pinturas y barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas. El permanganato de potasio se emplea como blanqueador para decoloración de aceites y como un agente oxidante en química analítica y preparativa. Junto con el Co y V integran un grupo de elementos que, con gran probabilidad, está asociado a procesos de combustión y que seguramente su presencia refleja la influencia que sobre las concentraciones de base natural tiene la deposición de cenizas de sistemas de calefacción (Jiménez de Grado. M et al, 1997). El Mn puede proceder por tanto de muchos orígenes: tráfico urbano, calefacciones de fuel-oil de viviendas individuales y obras de edificación, presentando por ello un comportamiento estacional que ha de ser comprobado (Llamas, J.F., et al. 1991).

- **Cobre** : está distribuido ampliamente en la zona de estudio aunque sin superar nunca el nivel límite (100 $\mu\text{g/L}$) aunque en la segunda campaña (marzo 2001) casi se supera este nivel en el punto 38 (parque Castillo Palomar) con 99.4 $\mu\text{g/L}$. Este metal se presenta muy raramente en las aguas dulces (de 5 a 1.000 $\mu\text{g/L}$) siendo interesante su estudio porque en concentraciones de trazas es indispensable para el organismo. Es utilizado en canalizaciones para conducciones de agua que pueden ser atacadas en condiciones determinadas de oxigenación, acidez y temperatura.
- **Zinc**: El límite de 100 $\mu\text{g/L}$ es superado por 13 de las 45 muestras en octubre de 2000 encontrándose en los alrededores de los polígonos industriales en ambas márgenes del Ebro; en marzo de 2001 es superado el nivel en 22 de las muestras destacando algunos valores muy elevados como el punto 2 (469 $\mu\text{g/L}$) en el Actur, el 23 (1.340 $\mu\text{g/L}$) en el parque Bruil, el 38 (732 $\mu\text{g/L}$) en el parque Castillo Palomar y sobre todo el punto 41 (3.032 $\mu\text{g/L}$) en el parque "Al Campo". El origen del Zn puede ser industrial siendo un subproducto de la mezcla o producción de latón y bronce, se emplea como revestimiento para prevenir corrosión, metales galvanizados para tuberías, utensilios, compartimentos de baterías secas, insecticidas, caucho, tintas, preservativos para maderas y ungüentos etc.; puede entrar también en la composición de algunos insecticidas, fertilizantes y abonos.

Estudios de geoquímica urbana arrojan información sobre el contenido en Zn debido al tráfico rodado en ciudades como Madrid (Llamas, J.F. 1991), Londres (Kelly, J. 1996), Dayton (Titter, C. J. 1980), o Puertollano (Illescas, J.A. 1996), pero también para otros elementos como el Pb, Cu, Cr y Ni. (Llamas, J.F et al.,1991).

- **Plomo:** apenas supera los 5 µg/L excepto en el punto 23 (Bruil) que llega a los 11 µg/L en la primera campaña y en los puntos 24 (Glorietas de Goya) y 32 (Miraflores) que llega a los 10 µg/L en la segunda, siendo su nivel máximo 50 µg/L. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos (soldaduras y cañerías) y en dispositivos para evitar irradiación con rayos X. El origen urbano más probable de este metal, ahora prohibido, es como antidetonante en gasolinas que produce la emisión de dióxido de plomo al aire. Debido a inquietudes sobre salud pública, en años recién pasados se ha reducido en forma dramática la cantidad de plomo en gasolina, pinturas y cerámicas y en materiales para calafatear y soldar. Si el plomo se pone en contacto con aguas muy salinas, se forman sales insolubles (sulfatos y carbonatos principalmente) que quedan inmovilizadas en el terreno.
- **Antimonio:** se encuentra en concentraciones muy bajas, entre 0.5 y 1.5 µg/L, en ambas campañas, no superándose en ninguno de los casos la concentración máxima admisible. En cualquier caso, el antimonio cuando se combina en aleaciones es usado en baterías de automóviles, soldadura, láminas y cañerías metálicas, rodamientos, moldes de fundición y peltre. El óxido de antimonio se añade a tejidos y plásticos para darles resistencia al fuego. También se usa en pinturas, cerámicas y fuegos artificiales, y como esmalte para plásticos, metal y vidrio.
- **Plata:** se encuentra en concentraciones que oscilan entre 0.5 y 1.5 µg/L en los datos de las dos campañas, siendo el nivel máximo permitido 10 µg/L. La presencia de Ag en las aguas subterráneas urbanas tiene su origen más probable en los vertidos procedentes de actividades sanitarias (aleaciones dentales y placas radiográficas, entre otros) e industriales (fotografía, baterías de alta capacidad de Ag-Zn y Ag-Cd, etc.) (Jiménez de Grado, M., 1997). También es usada para fabricar joyas, cubiertos y vajillas de plata, equipos electrónicos, para desinfectar agua potable y agua en piscinas y como agente contra bacterias. Además, se ha usado la plata en pastillas y gomas de mascar para ayudar a personas a dejar de fumar.
- **Aluminio:** supera su nivel máximo en dos muestras (200 µg/L) dispersas en la margen derecha en la primera campaña, el punto nº 6 (270 µg/L) y el 41 (214 µg/L) sin embargo, en la segunda campaña aparecen cuatro puntos de muestreo relevantes, estos son: el 24 (810 µg/L) que corresponde al parque de las glorietas de Goya, el 32 (1.191 µg/L) en el parque de Miraflores, el 37 (730 µg/L) en el parque Vista Bella y el más escandaloso el 41

(3.581 $\mu\text{g/L}$) en el parque "Al Campo". El anhídrido de cloruro aluminico es importante en las industrias químicas de sintéticos y aceite; es usado en decoraciones de edificios y en miles de aplicaciones industriales como material de construcción. Además el aluminio se emplea en utensilios y artículos de cocina, en pinturas y fuegos artificiales; en la producción de vidrio, gomas y cerámicas; y en productos de consumo tales como antiácidos, astringentes, aspirina amortiguada, aditivos para comidas y desodorantes. No obstante el Al y el Fe provienen, en una gran proporción, de las redes de los silicatos naturales, enmascarando la presencia de focos potenciales de contaminación. (Llamas, J.F. 1991).

- **Níquel:** aparece en dos puntos destacados de la margen derecha superando los 50 $\mu\text{g/L}$ el 31 (1.703 $\mu\text{g/L}$) en el Justicia y el 35 (102 $\mu\text{g/L}$) en el parque Miraflores según los datos de octubre de 2000; los datos de marzo de 2001 arrojan sólo un punto conflictivo, el 41 (100 $\mu\text{g/L}$) en el parque de "Al Campo". Se usa en tratamiento de superficies metálicas y puede proceder del polvo o escorias de hornos eléctricos y residuos minerales. El níquel en aleaciones con otros elementos se usan para fabricar monedas, joyas, y artículos tales como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable. Los compuestos de níquel se usan en niquelado, para colorear cerámicas, para fabricar baterías y como catalizadores.
- **Cromo:** aparece entre 10 y 20 $\mu\text{g/L}$ no superando en ninguna ocasión el valor máximo de 50 $\mu\text{g/L}$ en la primera campaña, no siendo así en la segunda en la que aparece el punto 24 (parque de las Glorietas de Goya) con 61.1 $\mu\text{g/L}$. El origen del Cr es claramente industrial, siendo un elemento muy utilizado como agente anticorrosivo en las industrias de acabados metálicos, en tinturas y pigmentos, industrias textiles, curtido y cuero, y para preservar madera.
- **Cadmio:** sólo se ha encontrado Cd en cinco muestras, con un máximo de 2,5 $\mu\text{g/L}$ en octubre de 2000 sin embargo en la campaña de marzo de 2001 aparecen cinco puntos diferentes en los que se superan con creces el límite máximo permitido por la R.T.S. (5 $\mu\text{g/L}$) siendo estos: el punto 17 (17.1 $\mu\text{g/L}$) en una lavandería, el 18 (91.5 $\mu\text{g/L}$) en el parque de la Ribera, el 28 (10.7) en el parque de la Granja, el 39 (16.8 $\mu\text{g/L}$) en el parque de Sedetania y el de más concentración en el punto 41 (138 $\mu\text{g/L}$) en el Al Campo. Tiene un origen propiamente industrial, encontrándose como subproducto en la obtención de zinc, en las baterías de Cd-Ni, en procesos de electrochapado y revestimientos metálicos (MOPU, 1988), además se emplea como pigmentos y plásticos. Es frecuente encontrar este metal como consecuencia de la corrosión de las tuberías de distribución de agua.
- **Arsénico:** durante la primera campaña ninguno de los puntos de la red de control superó los 10 $\mu\text{g/L}$, aunque durante la segunda, se observan 6 puntos en los cuales se llegó a

alcanzar en el punto nº 41, los 20.6µg/L. El As puede estar relacionado la explotación de oro arsenical y depósitos de metales base (Williams, M., 2000; N.C. Woo et al, 2001; Smedley, D.G. et al., 2002), pero en el caso que nos ocupa, podría estar relacionado con la aplicación o utilización excesiva de fertilizantes en el suelo (McArthur, J.M et al., 2001), herbicidas, pesticidas (MOPU, 1988). También se ha venido empleando el arsénico inorgánico como conservante para la madera, principalmente en América (Welch, AH et al, 2000).

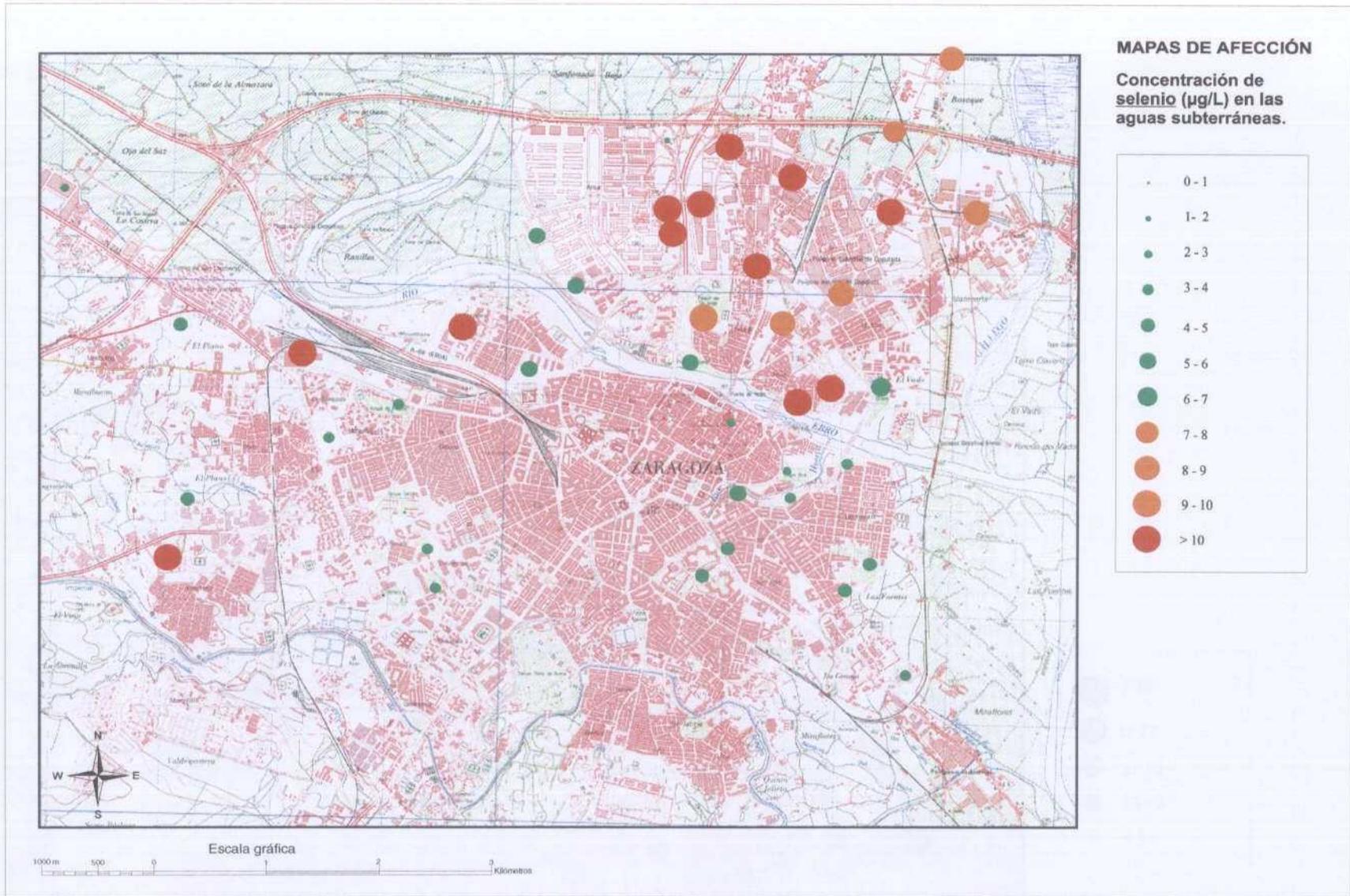
- **Cobalto:** Las concentraciones obtenidas para el cobalto se encuentran muy alejadas de los límites establecidos por la legislación. Para la primera campaña se observan valores entre 0.5 y 4 µg/L, aproximadamente. En la segunda campaña, los valores aumentan, alcanzándose puntualmente concentraciones de 16 µg/L. Existen formas radioactivas y no radioactivas de cobalto. El cobalto no radioactivo, estable, se usa para producir aleaciones (mezclas de metales) usadas en la manufactura de motores de aviones, imanes, herramientas para triturar y cortar y articulaciones artificiales para la rodilla y la cadera. Los compuestos de cobalto se usan también para colorear vidrio, cerámicas y pinturas y como secador de esmaltes y pinturas para porcelana. Los dos isótopos radioactivos de cobalto comercialmente más importantes son el ⁶⁰Co y el ⁵⁷Co. El ⁶⁰Co es usado como fuente de rayos gama para esterilizar equipo médico y artículos de consumo, radioterapia para pacientes con cáncer, para fabricar plásticos y para irradiar alimentos. El ⁵⁷Co es usado en investigación clínica y científica.
- **Talio:** nunca se han superado valores de 3 µg/L. Aunque dicho elemento no aparece legislado en el actual Real Decreto, la legislación estadounidense refleja como valor máximo 2 µg/L, por lo que en la zona no parece haber una contaminación debida a éste elemento.
- **Uranio:** al igual que en caso anterior, nos basaremos en límites dados por la legislación americana. Durante la primera campaña se encuentran valores de uranio desde 0.5 hasta 4.3; sin embargo, en la segunda campaña los valores se incrementan, llegándose a alcanzar valores de hasta 16.8 µg/L. No se superan en ningún caso los 30 µg/L propuestos en la legislación. El uranio se suele emplear como combustible en plantas de energía y en armamentos.

Tanto para el **Molibdeno**, **Torio** como **Vanadio** no existen límites dentro de las legislaciones consideradas.

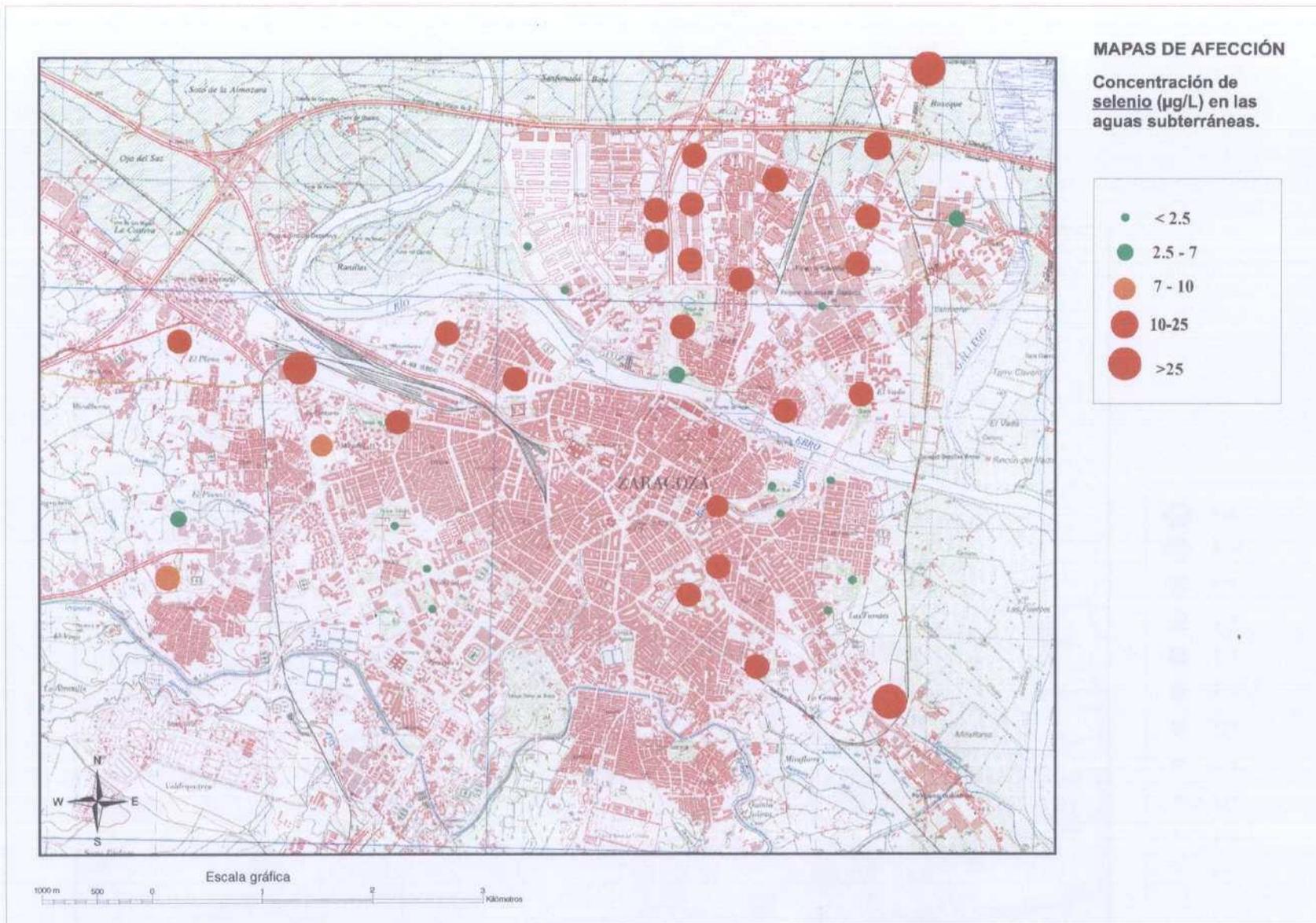
Destacaremos como caso más significativo, por sus altos contenidos en varios de los elementos analizados, el punto nº 41: P. Al Campo-Valdefierro sondeo empleado para riego, en el cual se han encontrado concentraciones muy elevadas en Aluminio (214 µg/L), Cobalto

(3.8µg/L), Molibdeno (21.5 µg/L), Uranio (4.3 µg/L) para la primera campaña; siendo en la segunda campaña altos en los siguientes elementos: Aluminio (3581 µg/L), Arsénico (20.6 µg/L), Cobalto (15.8 µg/L), Manganeso (347µg/L) y Zn (3032 µg/L).

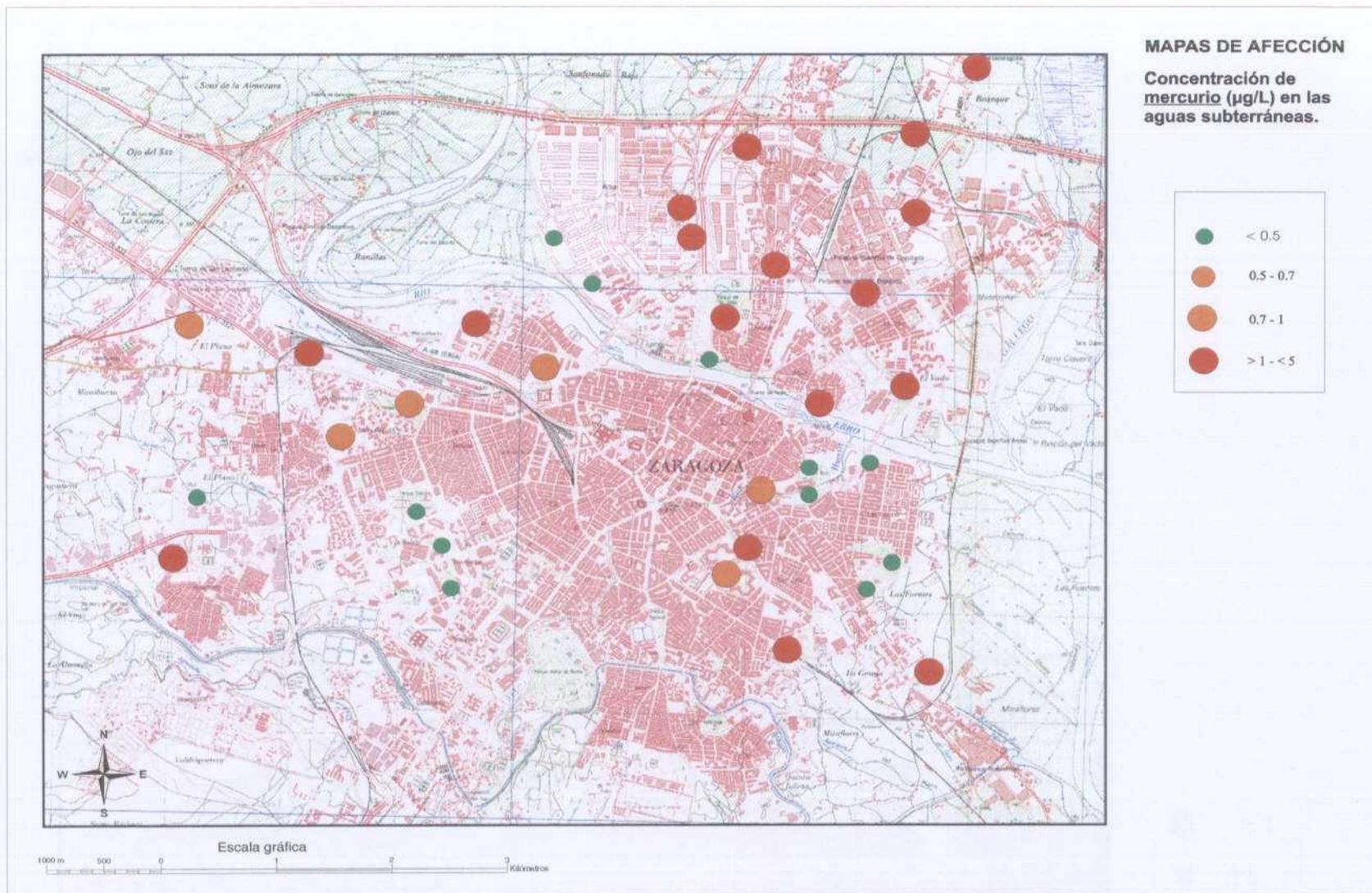
A continuación se adjuntan los mapas de distribución de los metales más representativos en las dos campañas.



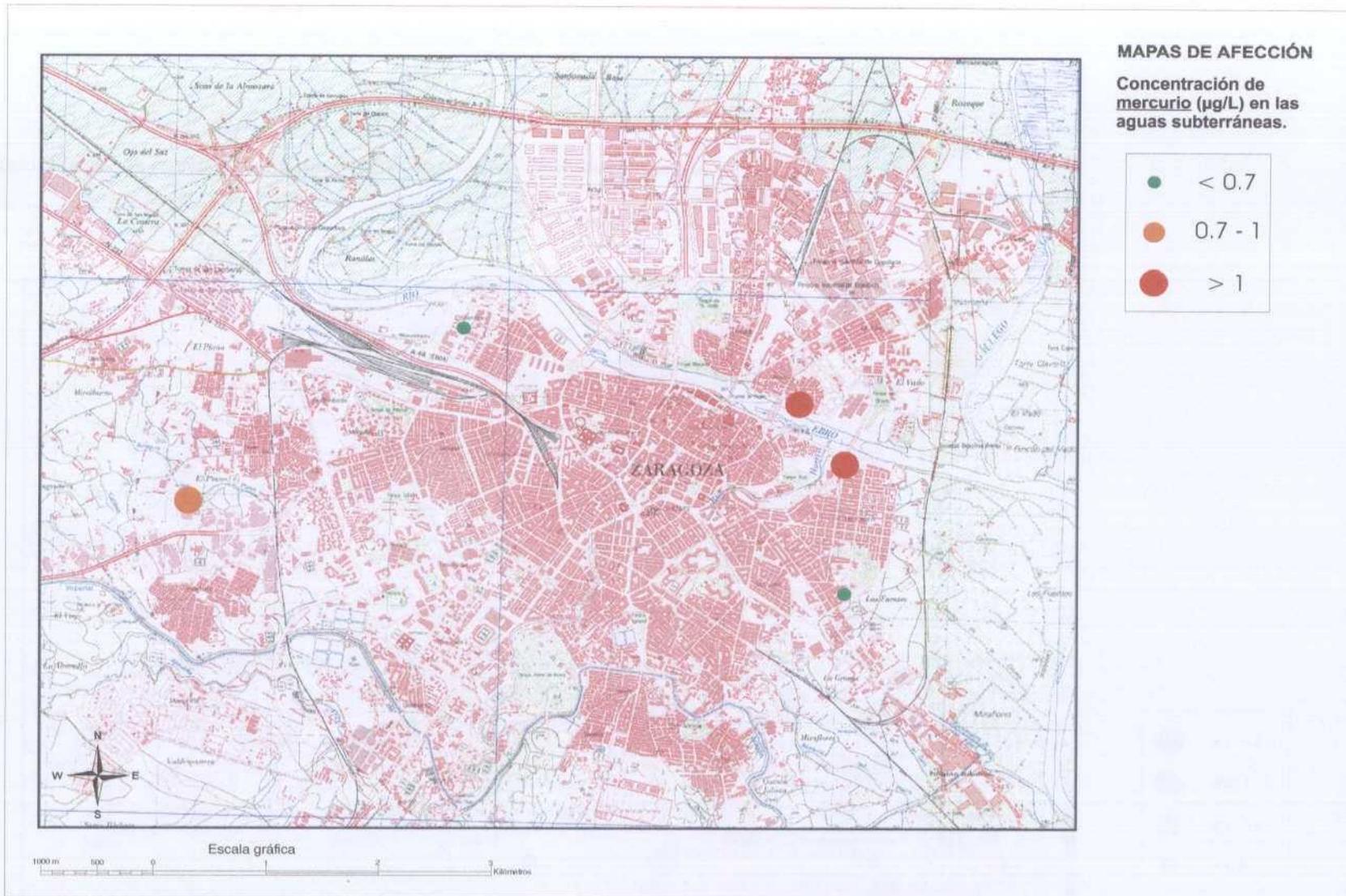
Plano 7.- Mapa de contenido de selenio ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



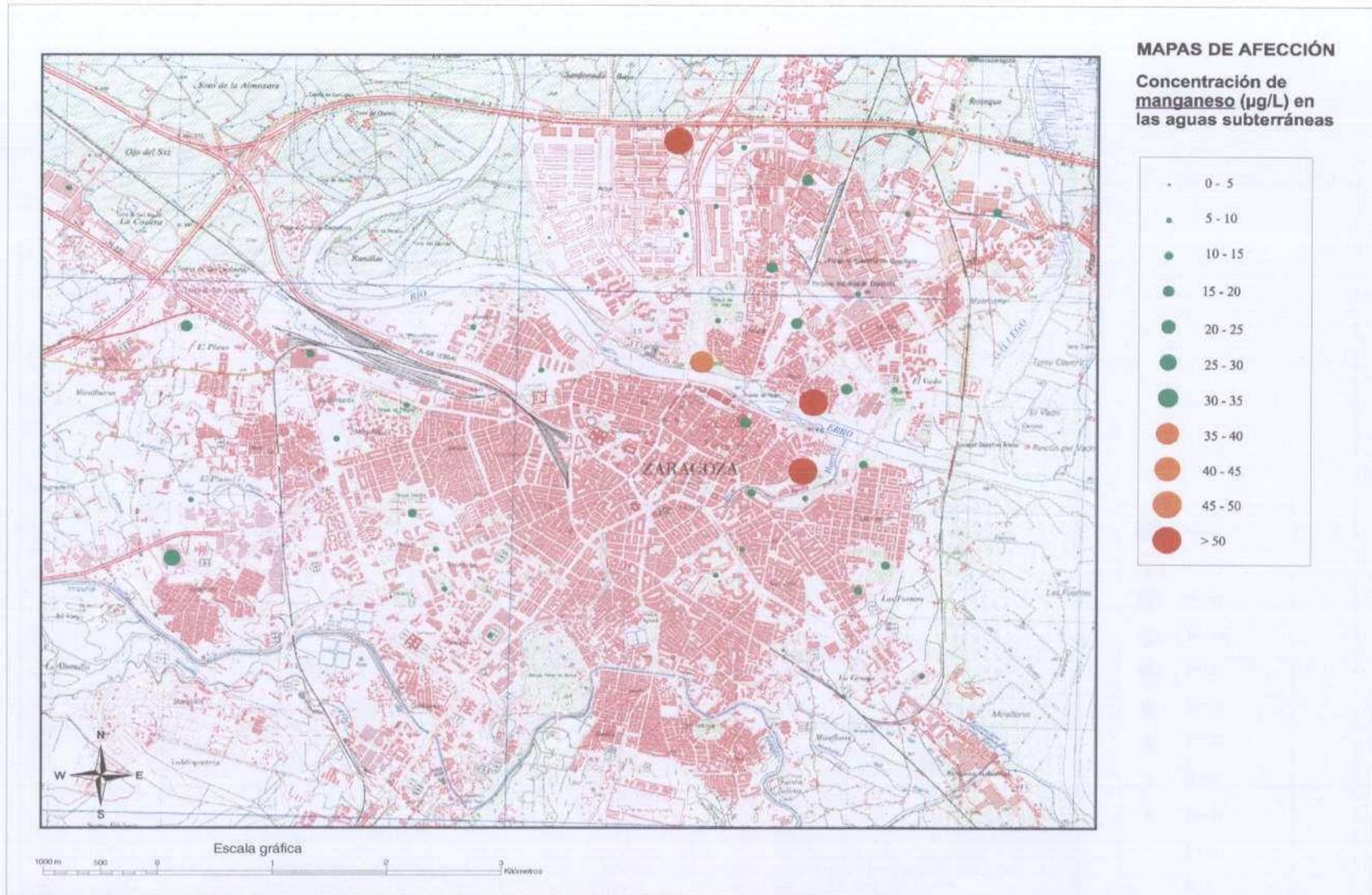
Plano 8.- Mapa de contenido de selenio ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (marzo 2001).



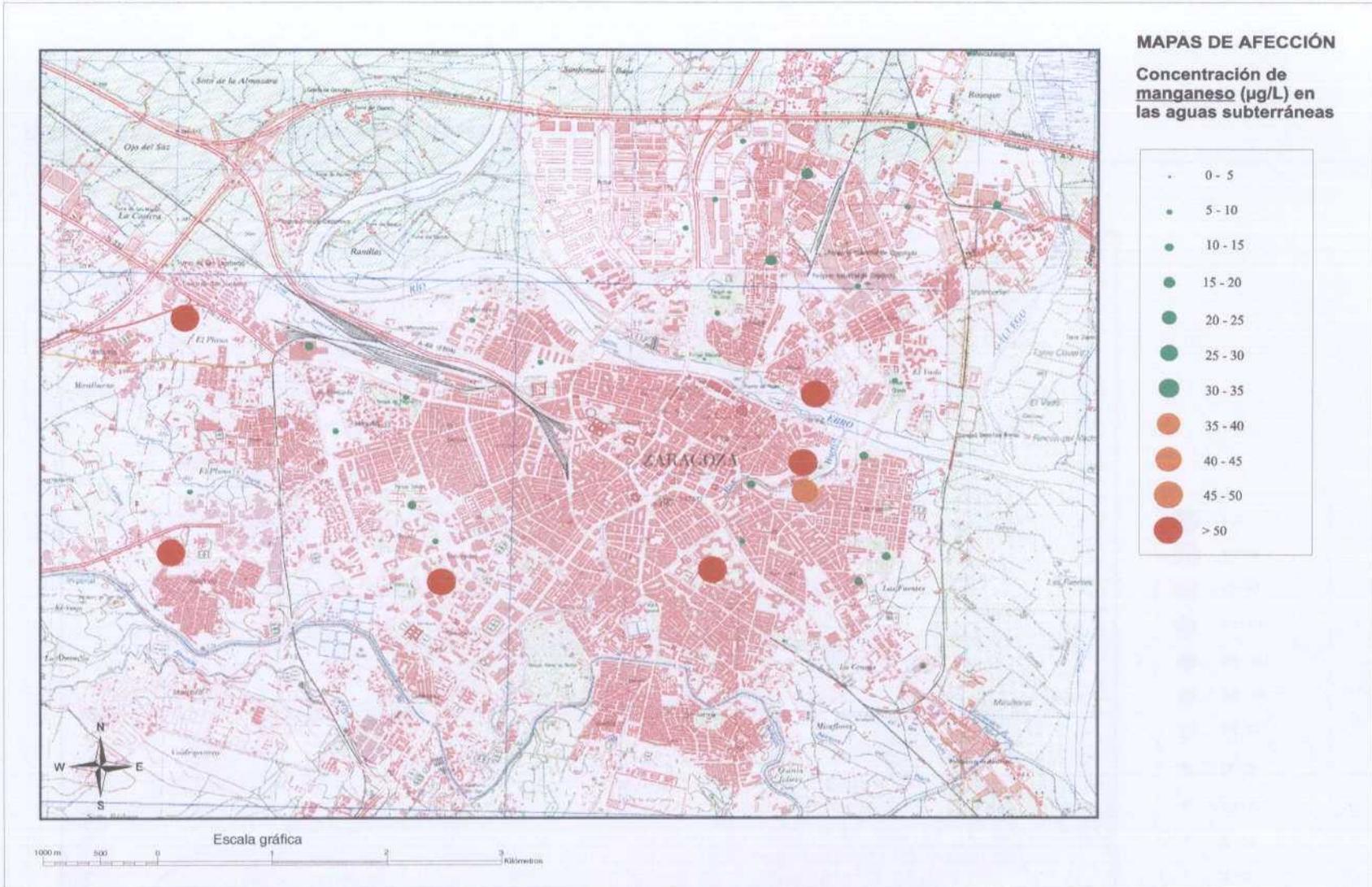
Plano 9.- Mapa de contenido de mercurio ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



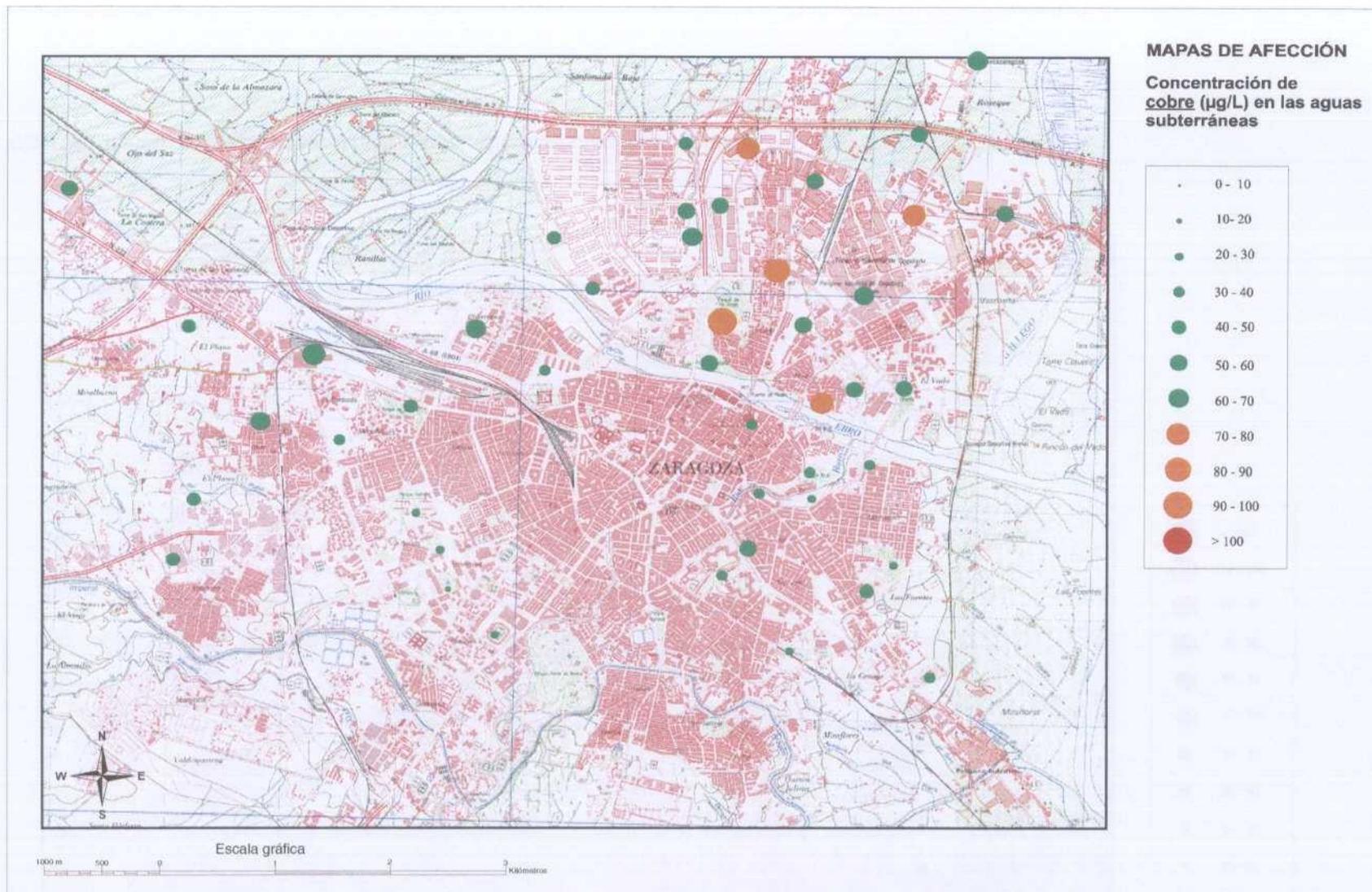
Plano 10.- Mapa de contenido de mercurio ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (marzo 2001).



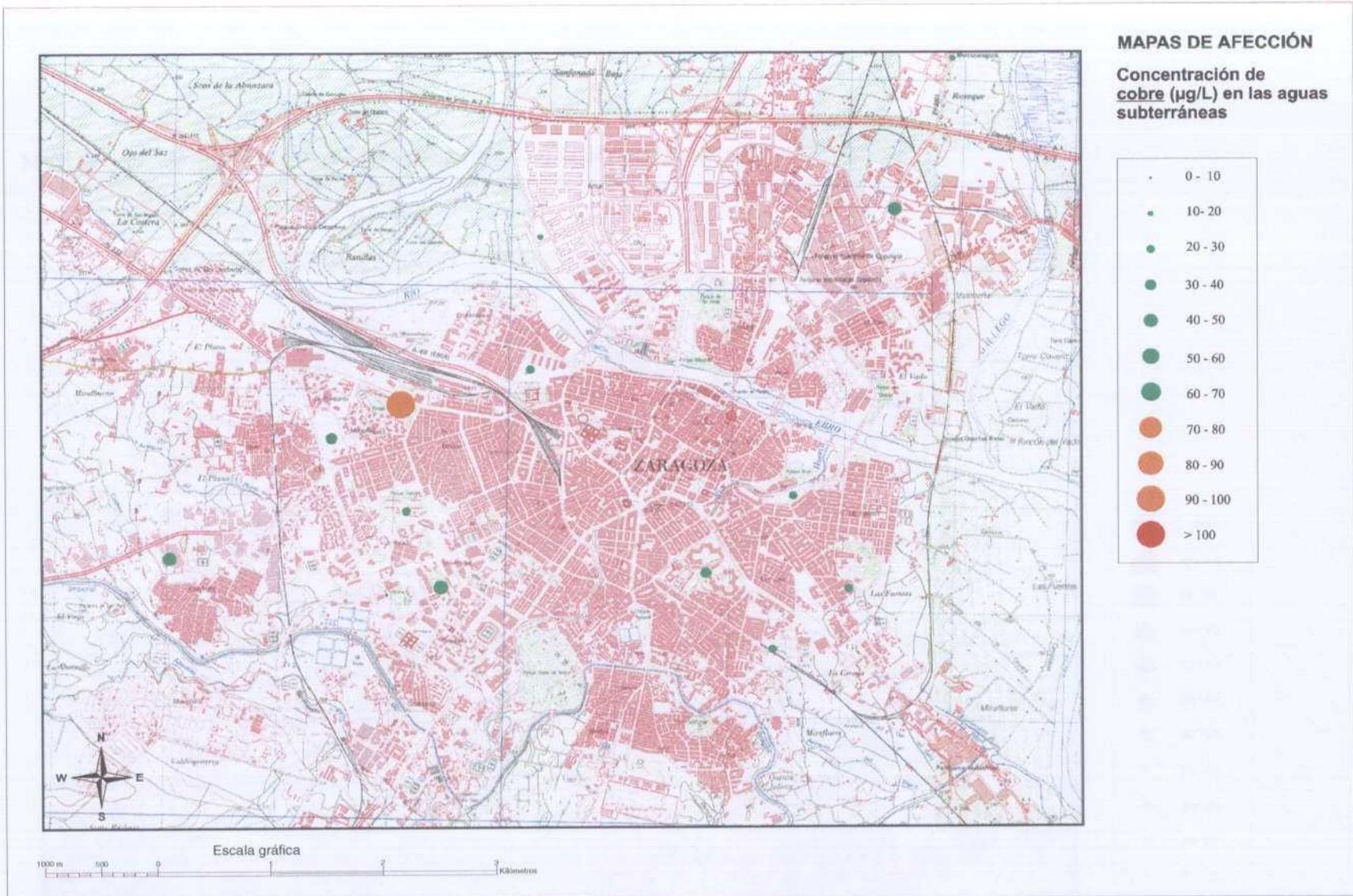
Plano 11.- Mapa de contenido de manganeso ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



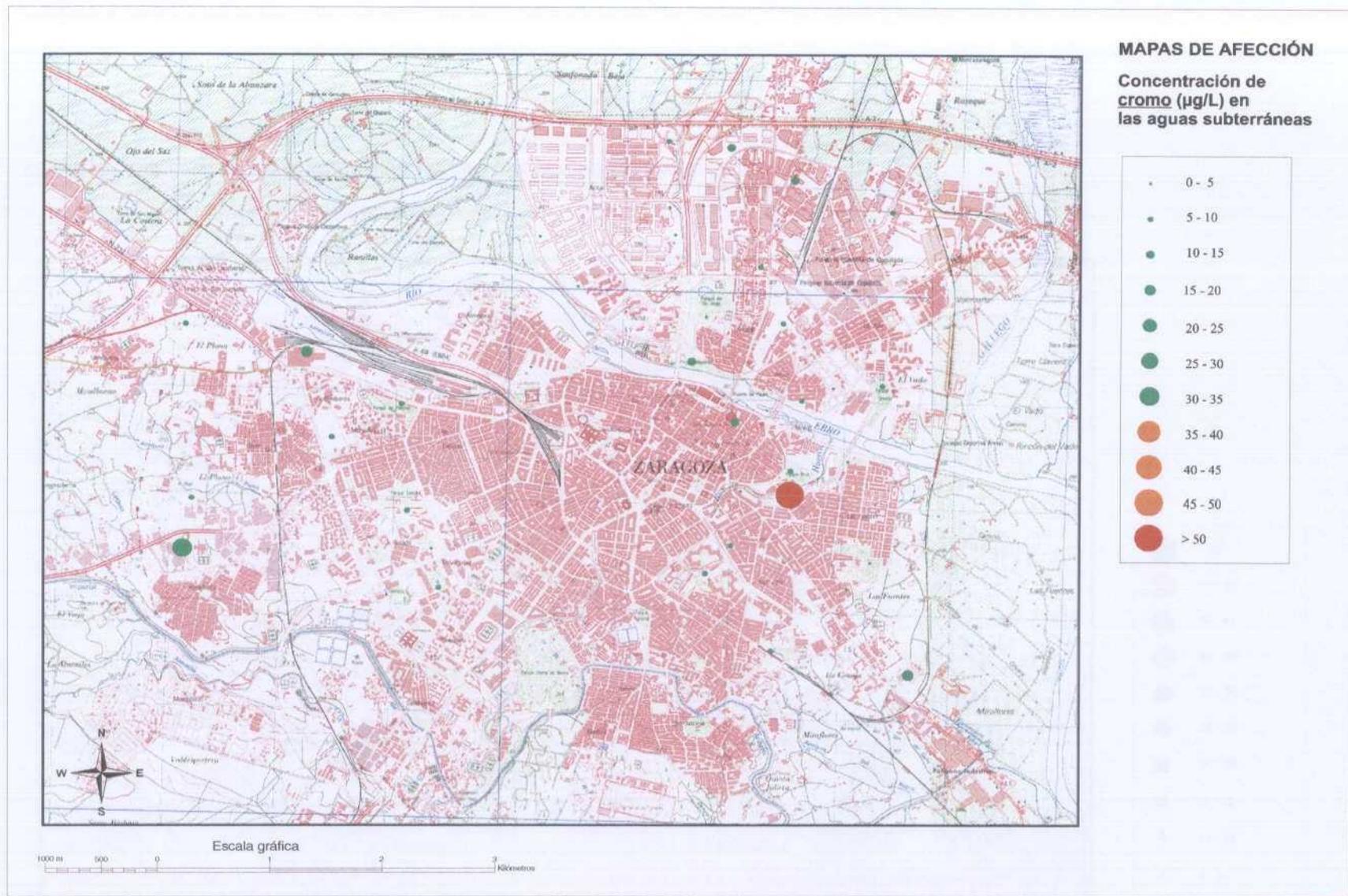
Plano 12.- Mapa de contenido de manganeso ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (marzo 2001).



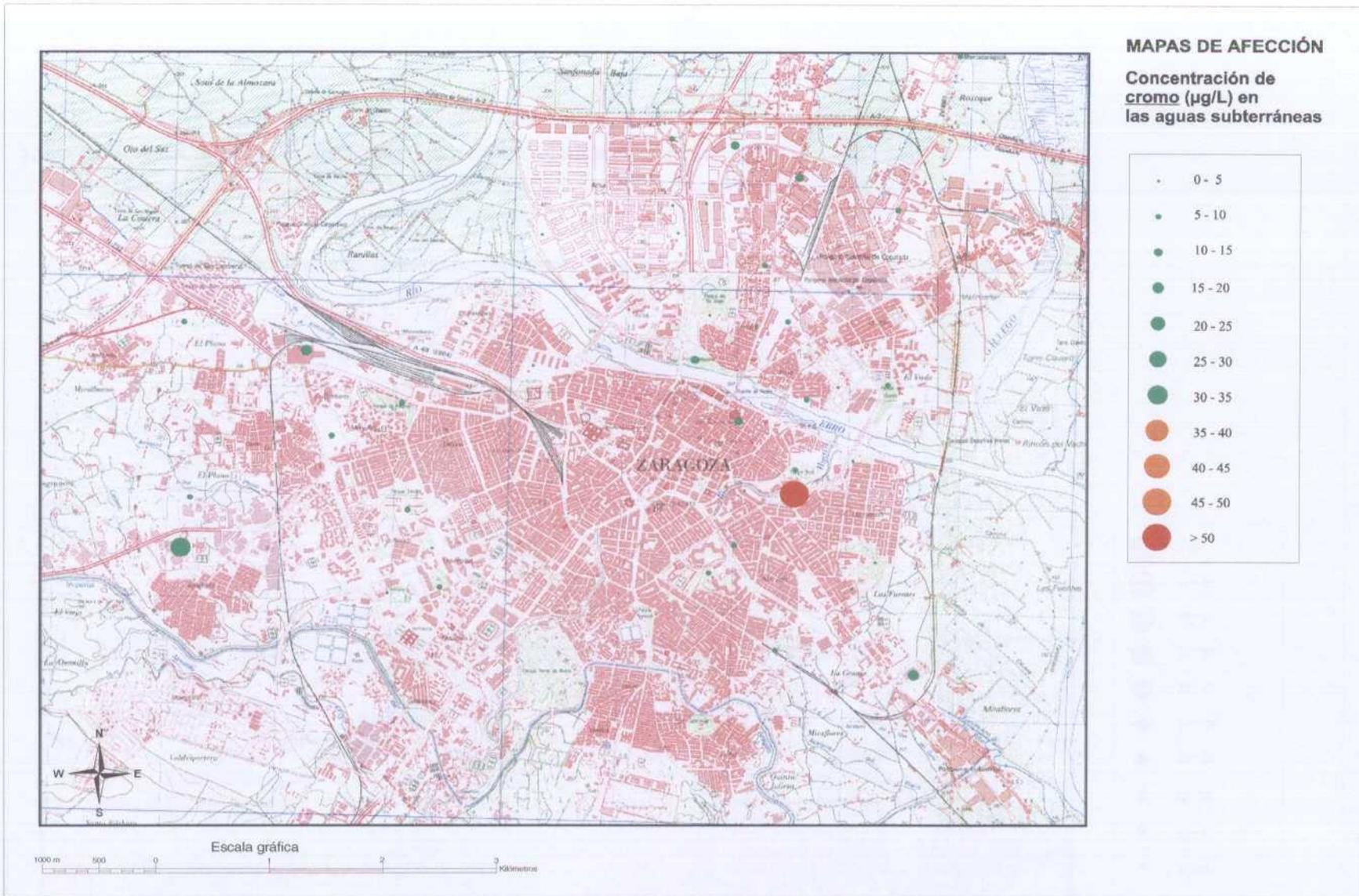
Plano 13.- Mapa de contenido de cobre (µg/L) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



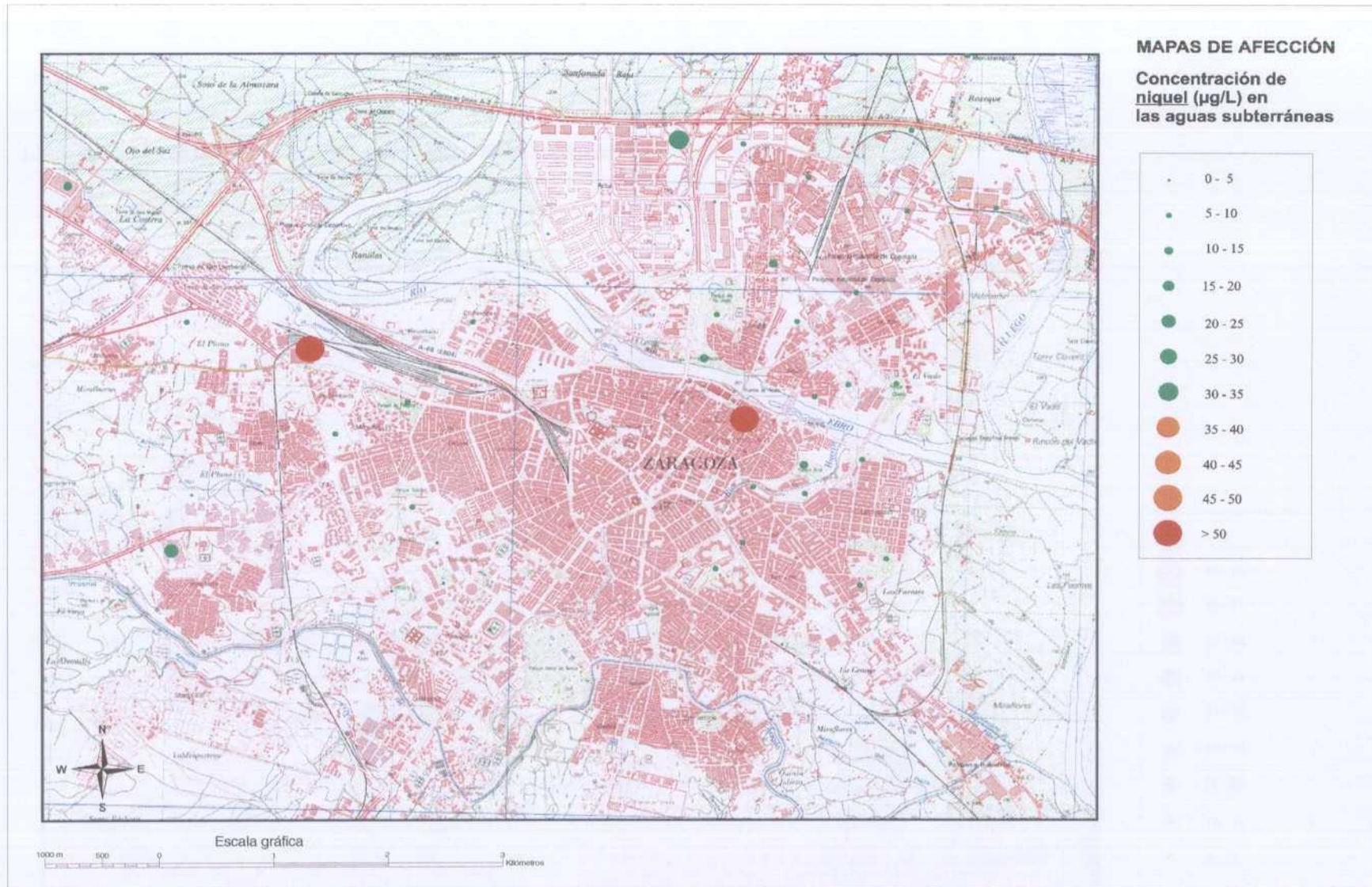
Plano 14.- Mapa de contenido de cobre ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (marzo 2001).



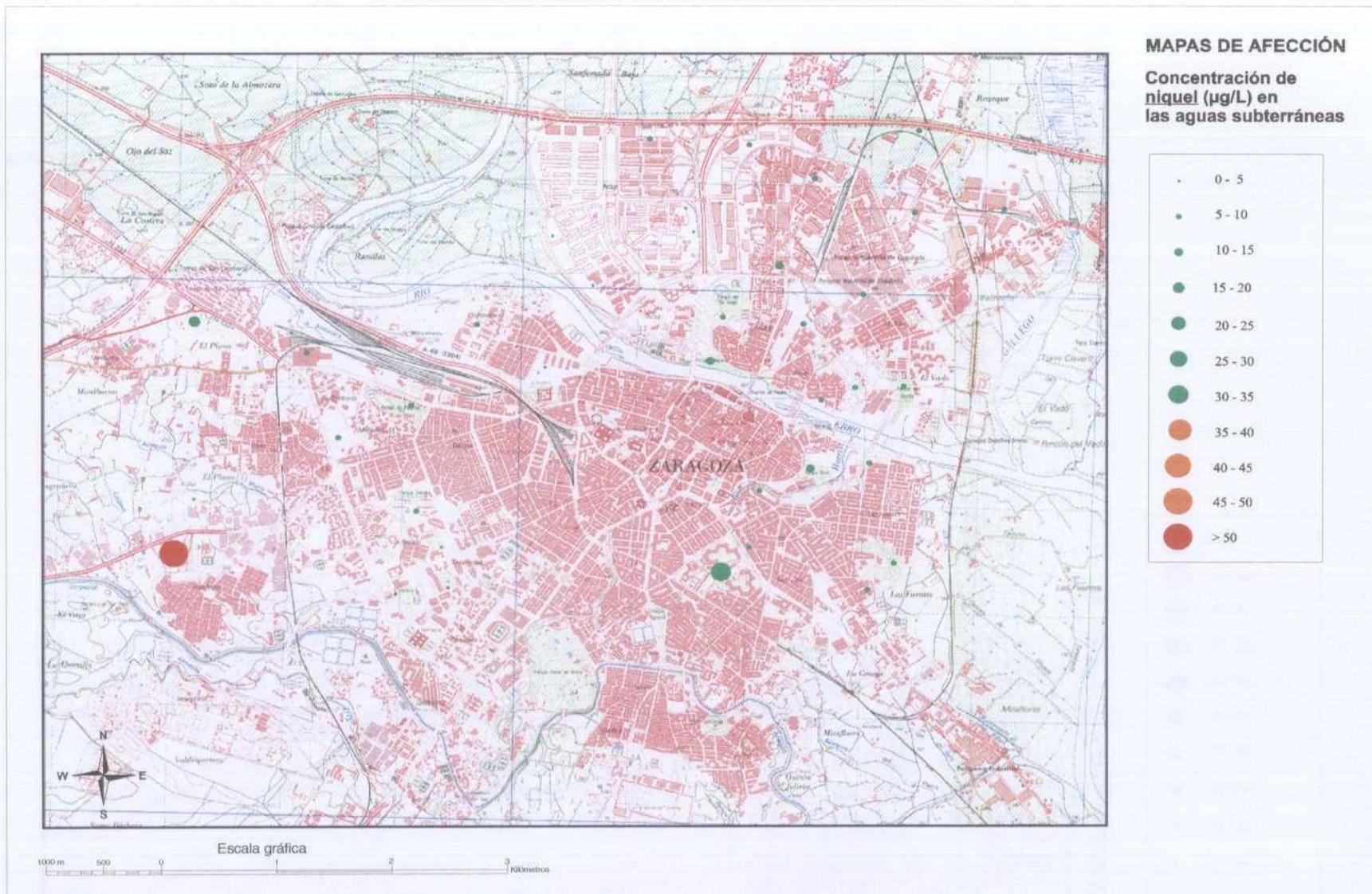
Plano 15.- Mapa de contenido de cromo ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



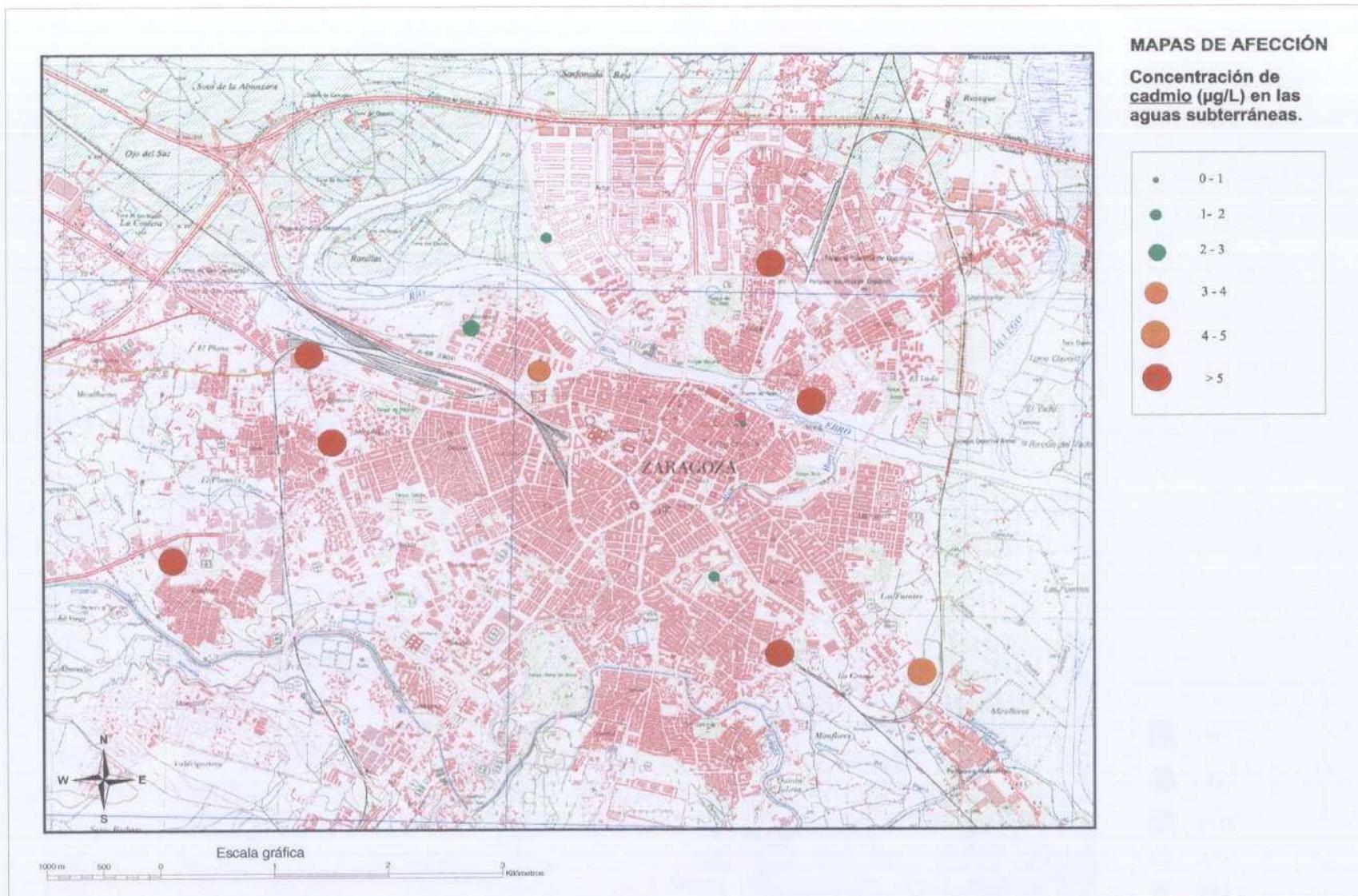
Plano 16.- Mapa de contenido de cromo ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (marzo 2001).



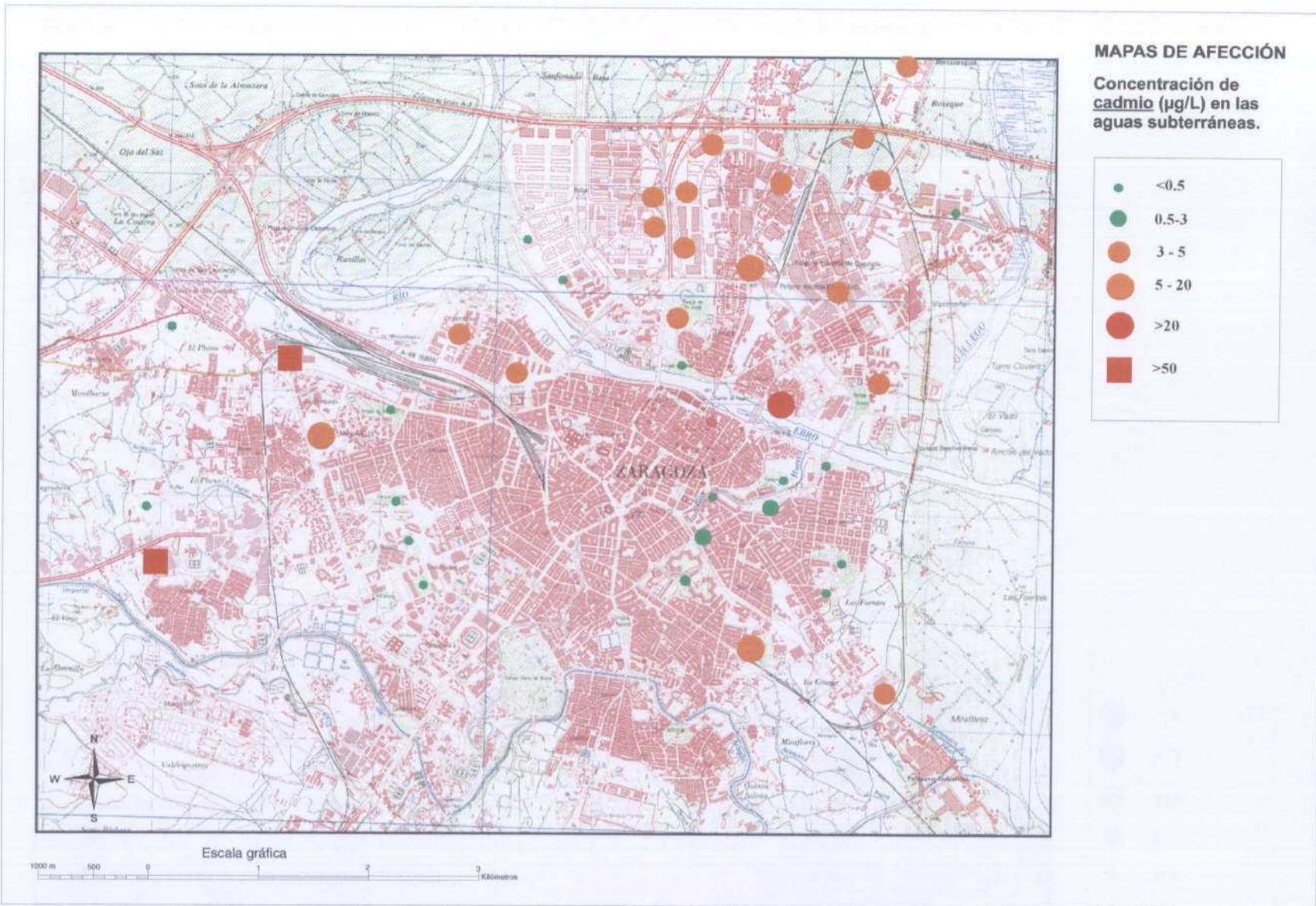
Plano 17.- Mapa de contenido de níquel (µg/L) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



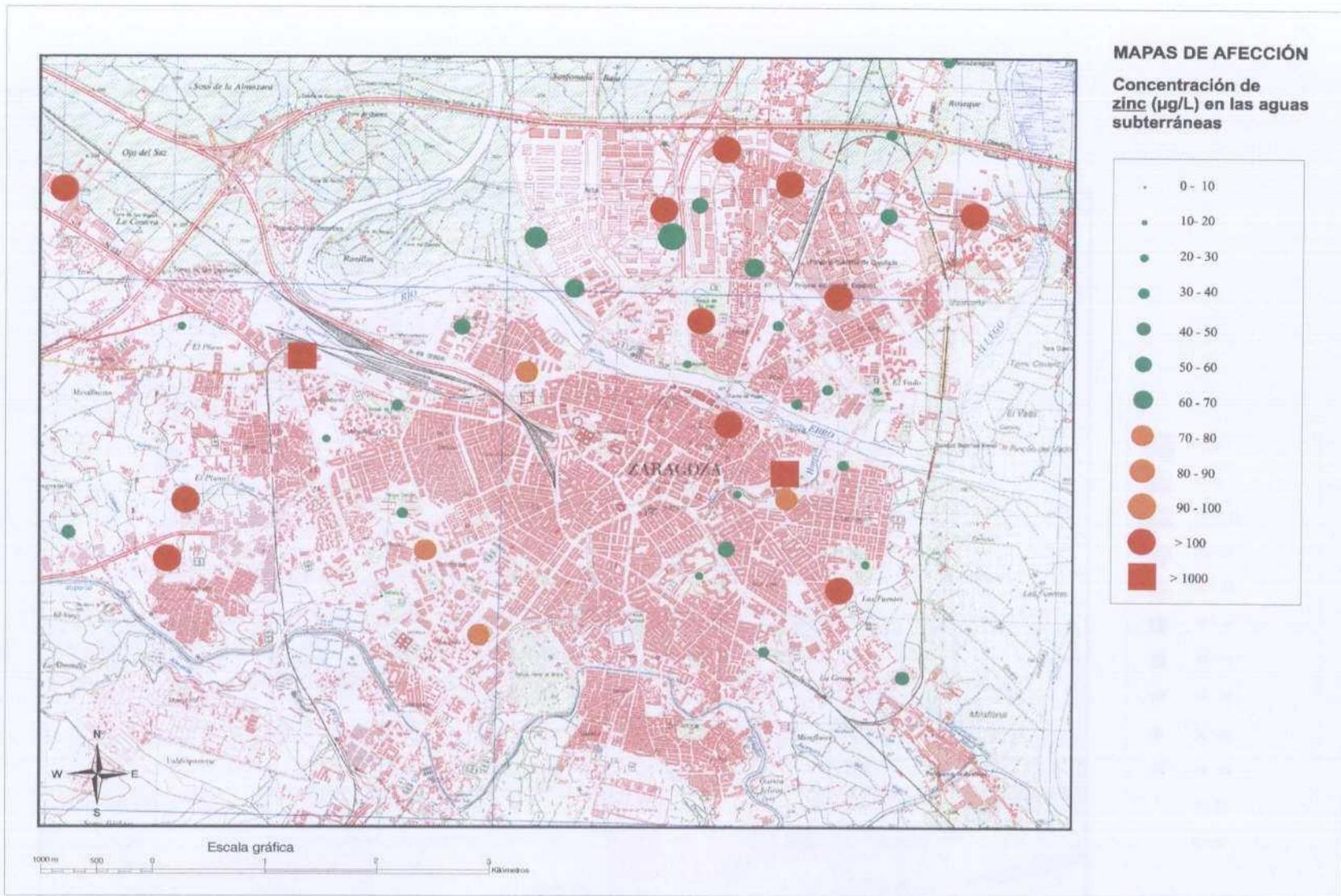
Plano 18.- Mapa de contenido de níquel ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



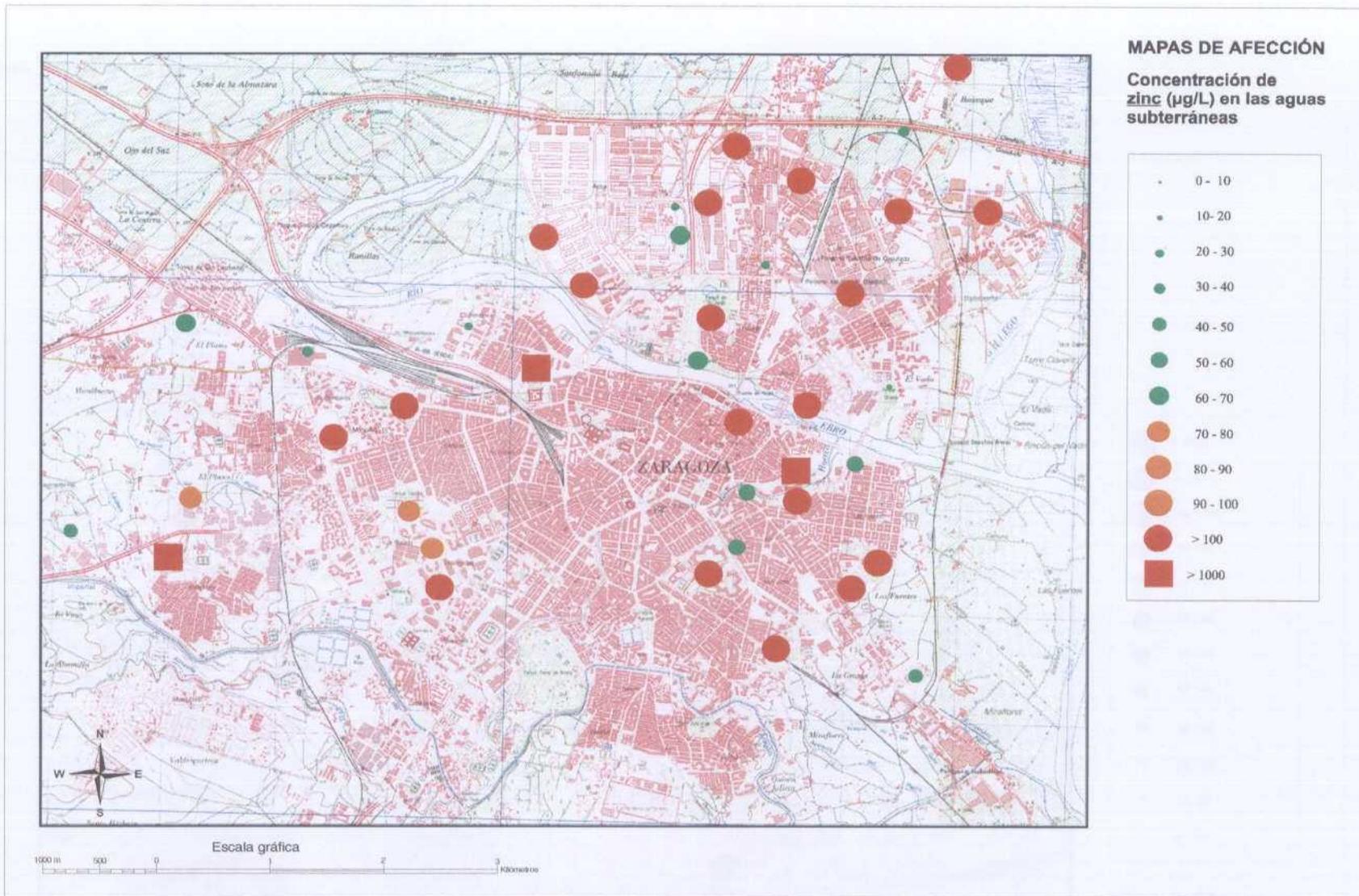
Plano 19.- Mapa de contenido de cadmio ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



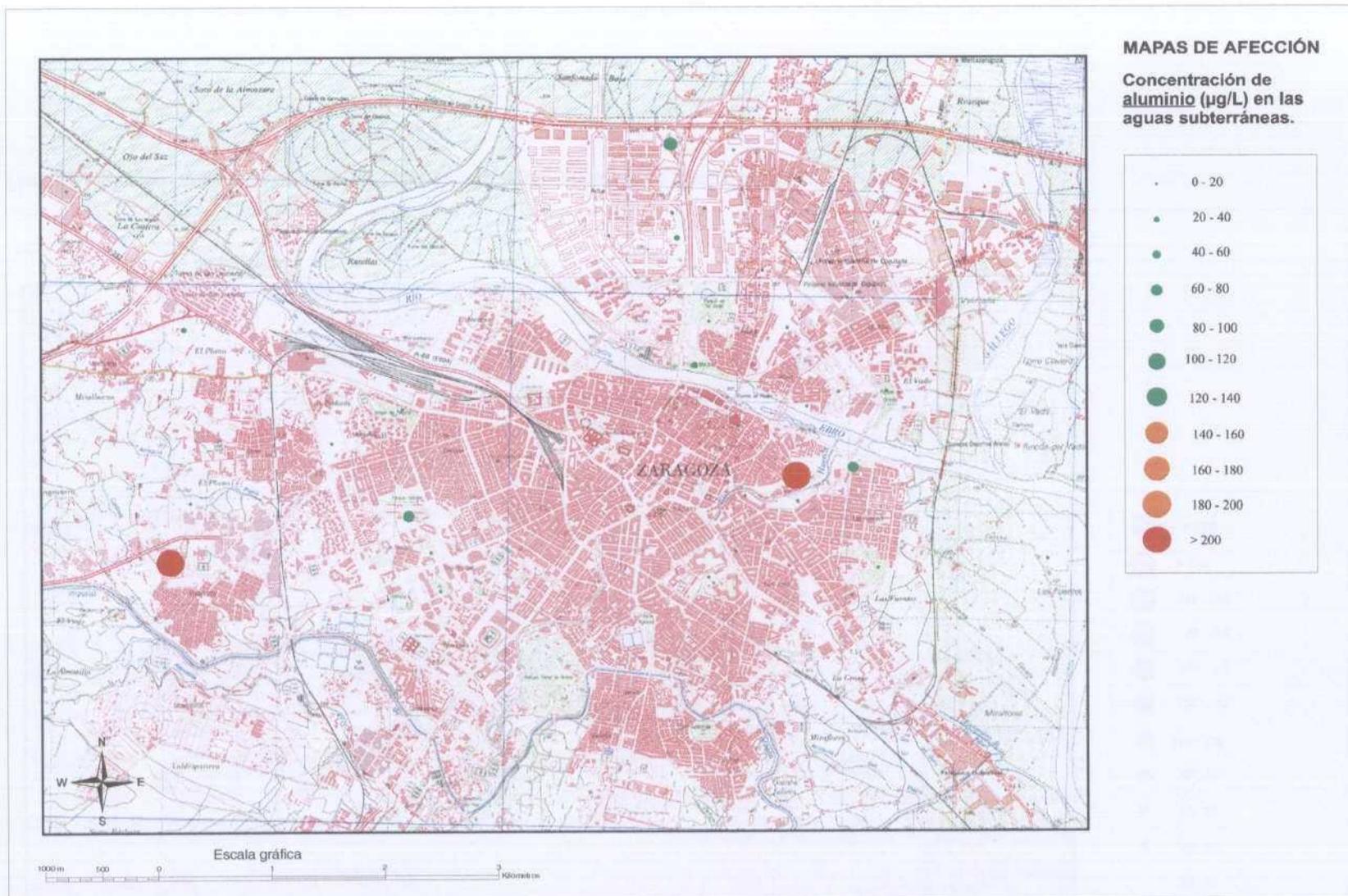
Plano 20.- Mapa de contenido de cadmio ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



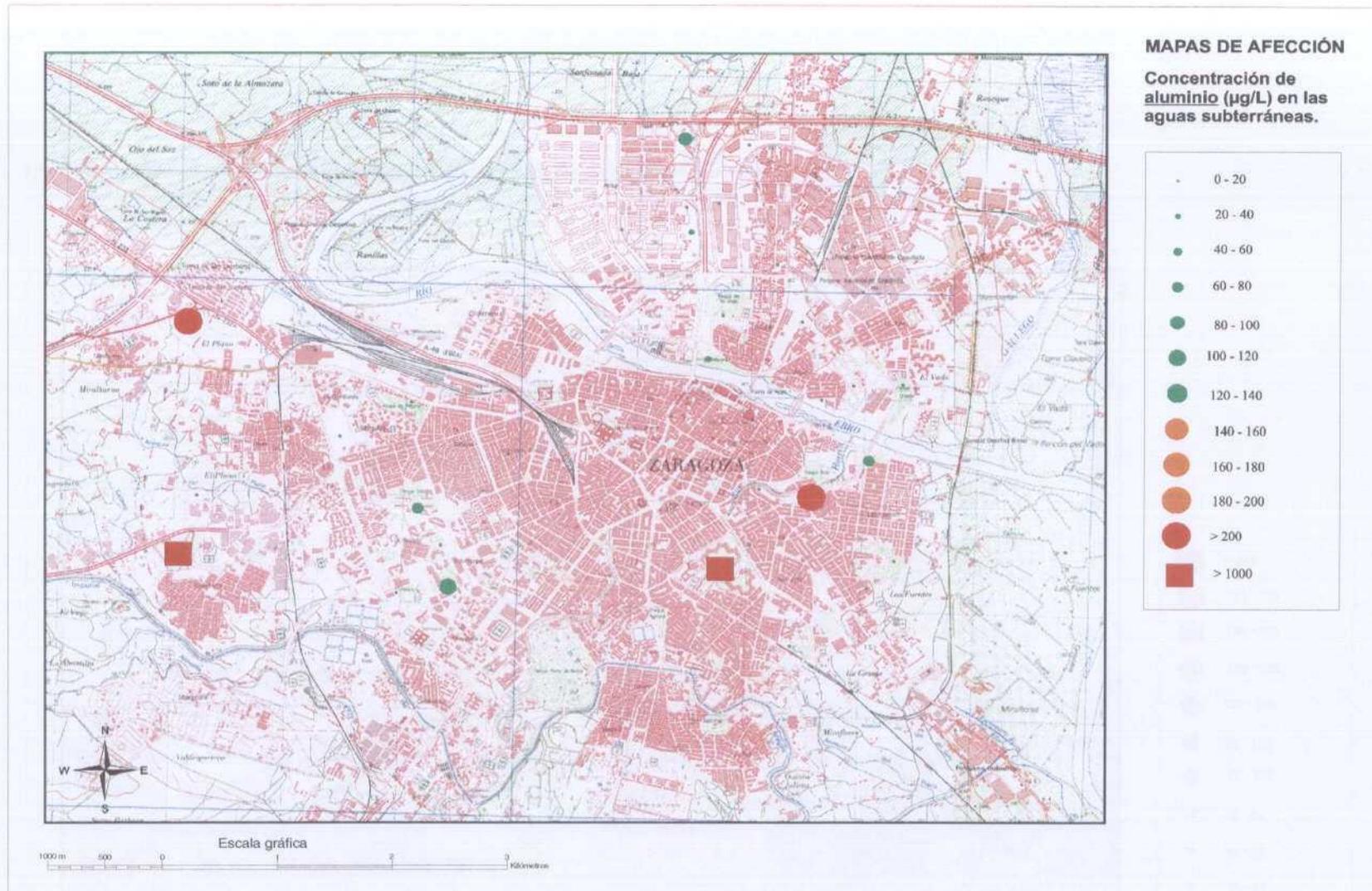
Plano 21.- Mapa de contenido de zinc ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



Plano 22.- Mapa de contenido de zinc ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (marzo 2001).



Plano 23.- Mapa de contenido de aluminio ($\mu\text{g/L}$) en las aguas subterráneas (octubre 2000).



Plano 24.- Mapa de contenido de aluminio (µg/L) en las aguas subterráneas (marzo 2001).

7.2 Calidad del agua subterránea en función de su uso

Las aguas subterráneas en este contexto geológico adquieren una notable mineralización no sólo por los materiales que entran en contacto con el flujo subterráneo sino también por los aportes superficiales de cuencas adyacentes que terminan por infiltrarse en este acuífero y por la elevada vulnerabilidad a focos potenciales de contaminación, circunstancias que condicionan una calidad generalmente deficiente para ser utilizada en un territorio con gran demanda de recursos hídricos en todos los sectores de producción.

Por lo tanto, y como ya hemos visto anteriormente, el resultado es un agua con un elevado grado de mineralización que fácilmente supera los 1.000 mg/L. La conductividad sobrepasa frecuentemente los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la dureza media los 75 °F. El ión sulfato es el principal responsable de la mineralización seguido del cloruro, bicarbonato, sodio, calcio y magnesio. Se observan además elevados contenidos en nitratos (40 – 70 mg/L) como consecuencia de la infiltración y lavado de los abonos nitrogenados con las aguas de regadío.

7.2.1 Consumo

Para determinar la calidad del agua para consumo humano, se ha tenido en cuenta la legislación actual definida por el Real Decreto 140/2003 que establece los criterios sanitarios. Algunos de los parámetros indicadores definidos son los que a continuación se recogen en la Tabla 17.

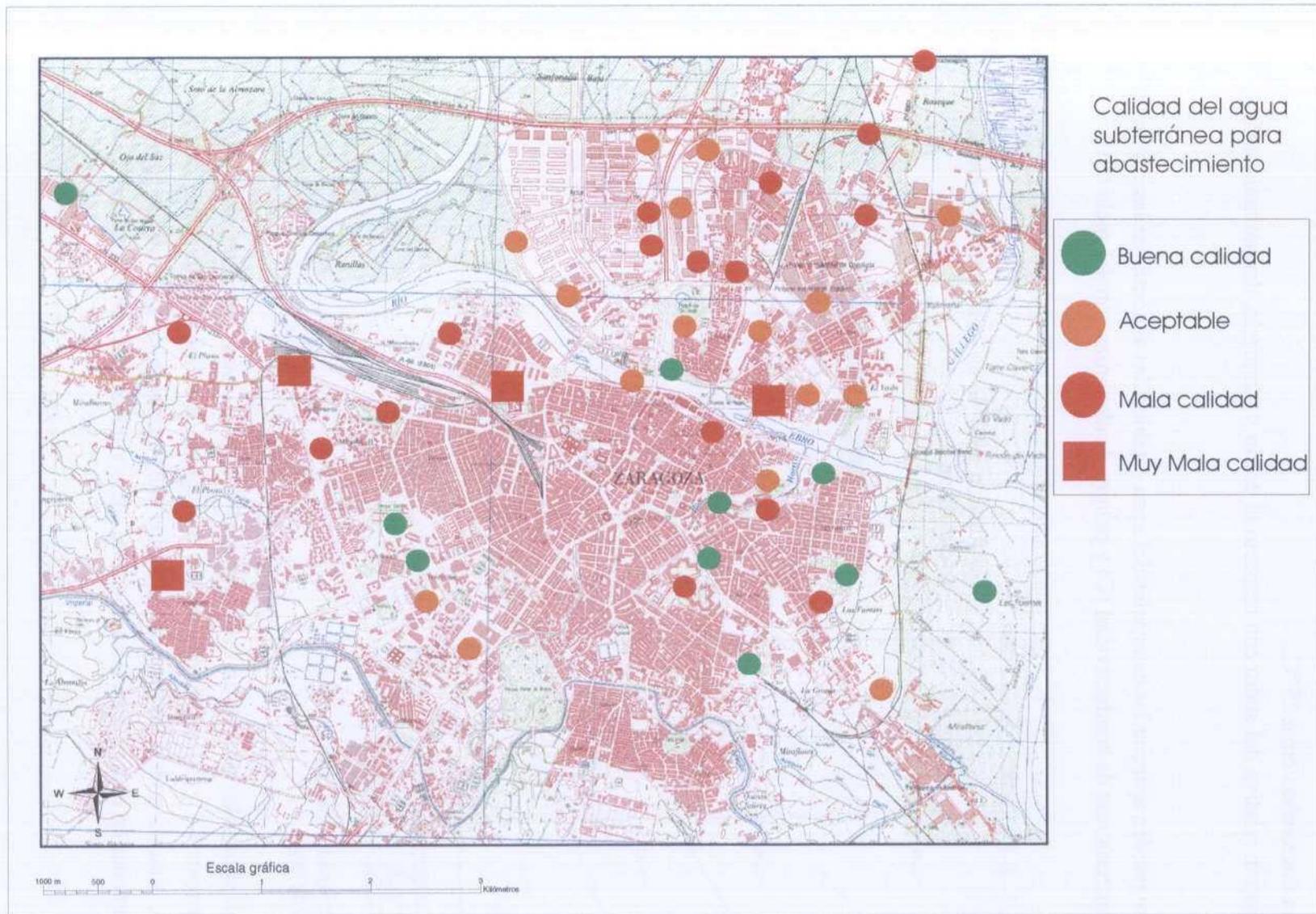
Tabla 17.- Parámetros indicadores de calidad de agua de consumo humano

| Parámetro | R.D 140/2003 Valor paramétrico | *R.T.S (1138/1990) | | †Valor máximo | |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|---|
| | | N.G | C.M.A | 1 | 2 |
| Amonio | 0.50 mg/L | 0.05 mg/L | 0.5 mg/L | - | - |
| Boro | 1.0 mg/L | 1000 $\mu\text{g}/\text{L}$ | - | 0.41 mg/L | 0.2 mg/L |
| Cloruros | 250 mg/L | 25 mg/L | - | 632 mg/L | 530 mg/L |
| Cianuros | 50 $\mu\text{g}/\text{L}$ | - | 50 $\mu\text{g}/\text{L}$ | - | - |
| Conductividad | 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C | 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | - | 5200$\mu\text{S}/\text{cm}$ | 4970$\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Hierro | 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ | 50 $\mu\text{g}/\text{L}$ | 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ | 5.8 mg/L | - |
| pH | 6.5-9.5 | 6.5 | 8.5 | 8 | 8.4 |
| Sodio | 200 mg/L | 20 mg/L | 150 mg/L | 377 mg/L | 384 mg/L |
| Sulfato | 250 mg/L | 25 mg/L | 250 mg/L | 1760 mg/L | 1560 mg/L |
| Nitratos | 50 mg/L | 25 mg/L | 50 mg/L | 96 mg/L | 124 mg/L |
| Nitritos | 0.5-0.1 mg/L | - | 0.1 mg/L | - | - |
| Flúor | - | - | 1500-700 $\mu\text{g}/\text{L}$ | - | - |
| Calcio | - | 100 mg/L | - | 788 mg/L | 614 mg/L |
| Magnesio | - | 30 mg/L | 50 mg/L | 75 mg/L | 75 mg/L |
| Potasio | - | 10 mg/L | 12 mg/L | 31 mg/L | 24 mg/L |
| Residuo seco | - | - | 1500 mg/L | - | 2783 |
| Sodio | 200 mg/L | 20 mg/L | 150mg/L | 377 mg/L | 384 mg/L |

* R.T.S (1138/1990): Reglamentación técnica Sanitaria- N.G = nivel guía, C.M.A = concentración máxima admisible; †Valor máximo 1= 1ª campaña, 2= 2ª campaña.

En el plano 25 se clasifican las aguas analizadas en base a su calidad para abastecimiento humano según el siguiente criterio (hay que tener en cuenta que no se han realizado determinaciones microbiológicas por lo que solo se interpretan los análisis desde un punto de vista físico-químico):

- 1) *Aguas de buena calidad*: aquellas cuyos parámetros químicos e indicadores no sobrepasen ninguno de los límites establecidos como valores paramétricos.
- 2) *Aguas de calidad aceptable*: aquellas en las que alguno de sus parámetros físico-químicos o indicadores sobrepasan los valores paramétricos siempre y cuando no sean productos tóxicos.
- 3) *Aguas de mala calidad*: aquellas en las que se sobrepasan además de los valores paramétricos de los parámetros indicadores, también lo hacen alguno de los parámetros químicos.
- 4) *Aguas de muy mala calidad*: aquellas en las que se sobrepasan los valores paramétricos de los indicadores y parámetros químicos muy peligrosos para la salud humana en caso de ingestión.



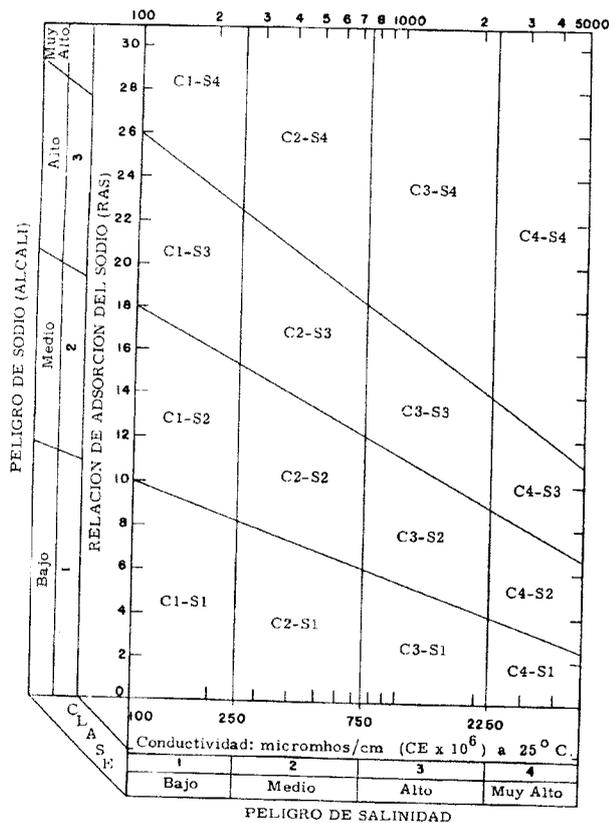
Plano 25.- Mapa de calidad del agua subterránea para abastecimiento.

7.2.2 Riego

Para evaluar la calidad del agua para riego, se han empleado las normas Riverside. Dicha clasificación se establece en función de las siguientes características:

- La concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica expresada en micromhos/cm a 25 °C.
- La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada índice SAR.

En la Figura 8 se pueden apreciar las categorías del agua establecidas al combinar las distintas clases de las características de conductividad (C) y peligro de alcalinización del suelo (S).



En función sólo de su conductividad eléctrica se clasifican en:

| CE (mmhos/cm) | Calidad del agua |
|---------------|-------------------------|
| 0 a 1 | Excelente |
| 1 a 3 | Buena /marginal |
| Más de 3 | Marginal /poco adecuada |

Figura 8.-Norma de Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de riego

Desde el punto de vista de la conductividad eléctrica, éstas aguas se clasificarían dentro de los campos C3 y C4 mayoritariamente. Son aguas de salinidad alta a muy alta no apta para riego, aunque podría emplearse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.

| Tipo | Calidad y norma de uso del agua |
|------|---|
| C1 | Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad. |
| C2 | Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad. |
| C3 | Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad. |
| C4 | Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. |
| S1 | Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio. |
| S2 | Agua con contenido medio de sodio, y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario. |
| S3 | Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego. |
| S4 | Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas. |

Esta clasificación establece los siguientes supuestos:

1. Que las precipitaciones no eliminan sales.
2. Que las sales extraídas por las plantas son unas cantidades insignificantes.
3. Que no se producen precipitados de sales cálcicas ni magnésicas.
4. Que a medida que se concentra el agua de riego en el suelo, su composición relativa permanece constante, al igual que la proporción de Na^+ respecto al Ca^{2+} y Mg^{2+} . Sin embargo, sí tiene en cuenta que al aumentar la concentración del agua de riego aumenta el riesgo de alcalinización.
5. No consideran el efecto floculante de los demás iones presentes en el agua de riego.

Desde el punto de vista del riesgo de sodificación predominan las clases S1 y S2 caracterizadas por presentar un contenido de bajo a medio en sodio, aptas para el riego, aunque con un cierto peligro de acumulación de éste en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Además deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, aplicando correcciones en caso necesario.

En la Figura 9 se representa la clasificación de las aguas analizadas desde el punto de vista de su empleo en riego. En el Plano 26 se muestra la distribución espacial de la calidad.

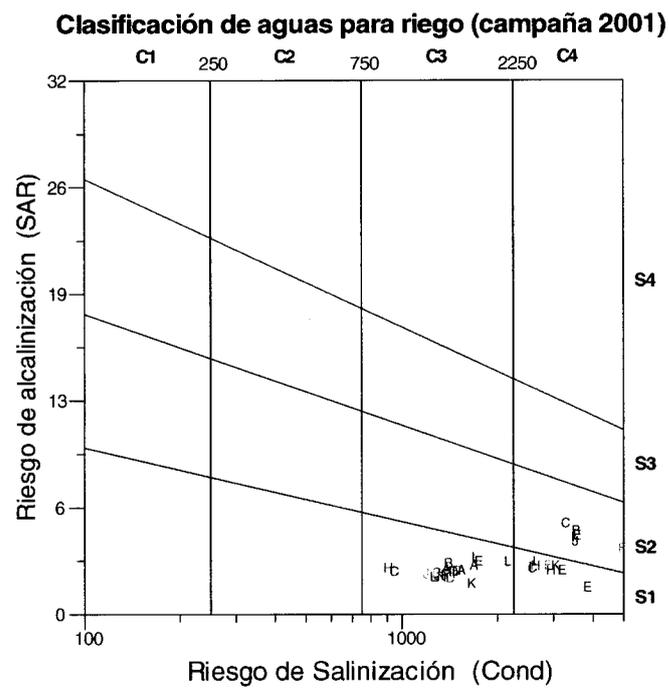
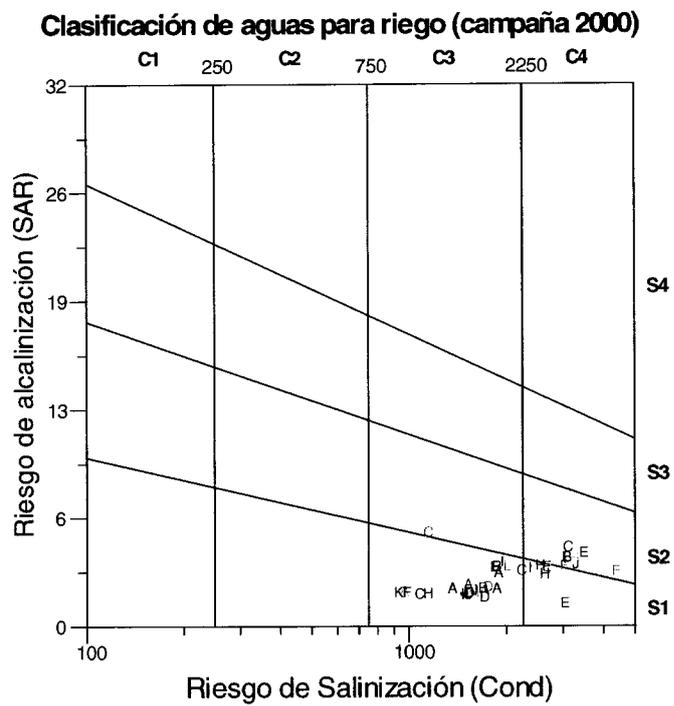
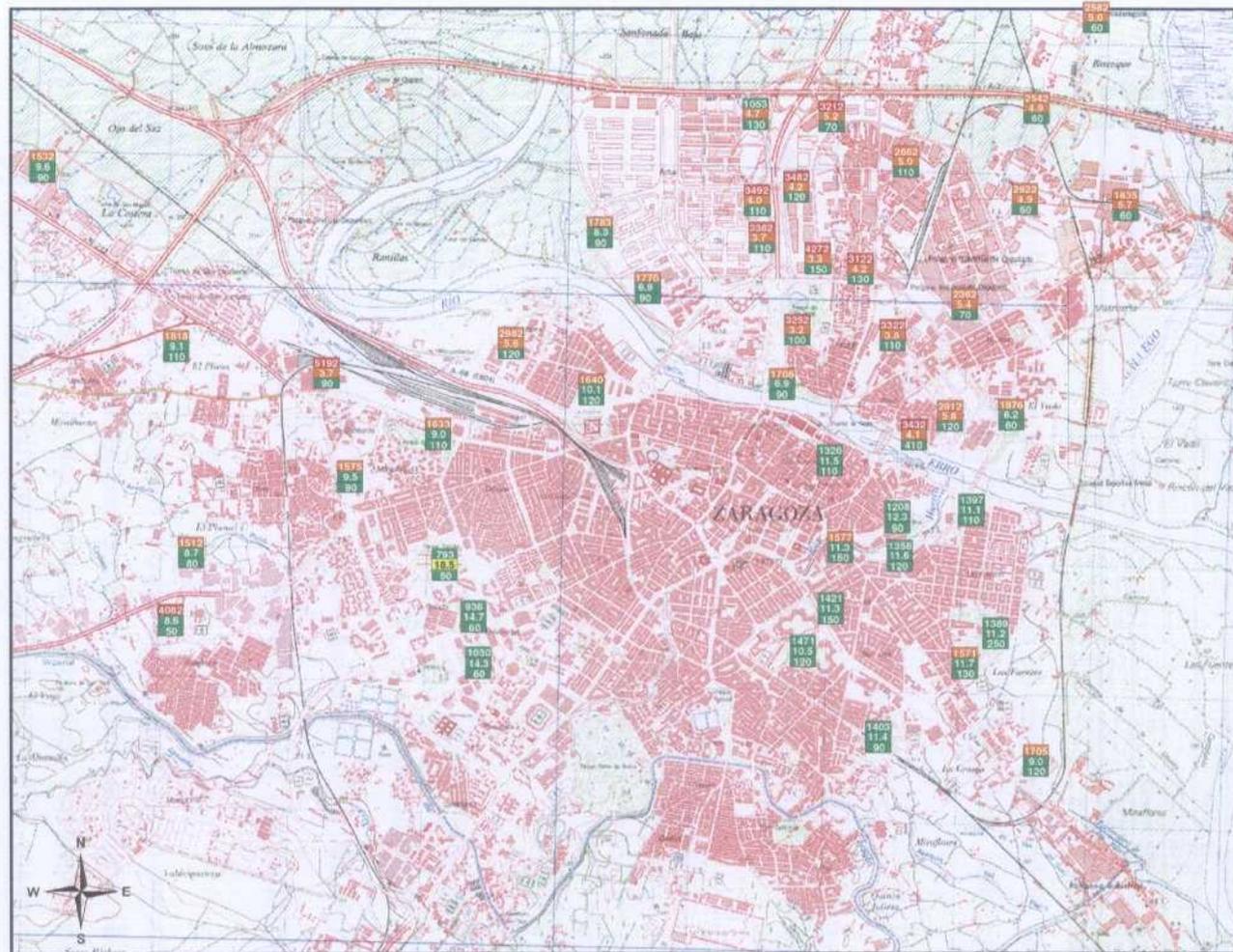


Figura 9.- Clasificación de las aguas para riego según 1ª (octubre 2000) y 2ª(marzo 2001) campaña.



| |
|------------------------------------|
| Salinidad (C.E. $\mu\text{S/cm}$) |
| Alcalinización(Scott) |
| Boro ($\mu\text{g/L}$) |

- Salinidad - Riesgo salin.**
- 750-1.500 C2 Medio
 - 1.500 - 3.000 C3 Alto
 - > 3.000 C4 Muy alto
- Alcalinización - Calidad**
- > 18 - Buena
 - 18-6 - Tolerable
 - 6 - 1,2 - Mediocre
 - < 1,2 - Mala
- Boro ($\mu\text{g/L}$) - Toxicidad**
- < 700 Baja
 - 700 - 1.000 Media
 - > 1000 Alta



Plano 26.- Mapa de calidad de las aguas para riego en función de la salinidad, alcalinización y toxicidad en función de la concentración de boro.

En la tabla 18 y 19 se muestra el criterio de clasificación de Scott (índice alcalimétrico) que relaciona el posible exceso de sodio respecto al cloruro y sulfato con el álcali nocivo para la planta. Para su cálculo deben diferenciarse tres casos, que aparecen en la Tabla 18.

Tabla 18.- Cálculo de índice de Scott

| meq/L | mg/L |
|--|--|
| 1 ^{er} caso: $Cl^- \geq Na^+$ | $K_1 = 2040/Cl$ |
| 2 ^o caso: $Cl^- < Na^+ \leq (Cl^- + SO_4^{2-})$ | $K_2 = 6.620 / (2,6 Cl + Na)$ |
| 3 ^{er} caso: $Na^+ > (Cl^- + SO_4^{2-})$ | $K_3 = 662 / (Na - 0,32Cl - 0,43SO_4)$ |

Tabla 19.- Calidad del agua según los valores del índice de Scott

| Calidad del agua | Valores del Índice de Scott |
|------------------|-----------------------------|
| Buena | > 18 |
| Tolerable | 18-6 |
| Mediocre | 6-1,2 |
| Mala | < 2 |

El contenido en boro del agua de riego también determina su calidad (Tabla 20), pero en este caso hay que considerar la tolerancia del cultivo a este microelemento.

Tabla 20.- Calidad del agua de riego

| Clase respecto al boro | Cultivos sensibles ppm | Cultivos semitolerantes ppm | Cultivos tolerantes ppm |
|------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 | < 0,33 | < 0,67 | > 1,00 |
| 2 | 0,33 a 0,67 | 0,67 a 1,33 | 1,00 a 2,00 |
| 3 | 0,67 a 1,00 | 1,33 a 2,00 | 2,00 a 3,00 |
| 4 | 1,00 a 1,25 | 2,00 a 2,50 | 3,00 a 3,75 |
| 5 | > 1,25 | > 2,50 | > 3,75 |

Las clases consideradas han sido:

- < 700 toxicidad baja
- 700-1000 $\mu\text{g/L}$ toxicidad media
- > 1000 $\mu\text{g/L}$ toxicidad alta

Según las normas Scott las aguas del aluvial captadas en la margen derecha del Ebro presentan un nivel de alcalinidad tolerable mientras que las de la margen izquierda muestran una calidad mediocre haciendo necesaria la construcción de drenajes artificiales en suelos insuficientemente drenados. El boro no supera en ninguno de los casos el límite exigido.

7.2.3 Industria

La diversidad de usos que el agua tiene en la industria supone asimismo unas necesidades muy diferentes de calidad para cada uno de ellos. Pero de manera general, se han tenido en cuenta los siguientes requisitos en cuanto a la utilización del agua para algunas industrias (Tabla 21).

Tabla 21- Valores aconsejables para distintos usos industriales

| Característica | Centrales eléctricas | Textil | Pulpa y Papel | Procesos químicos | Petróleo | Alimentación | Bebidas suaves | Cemento |
|------------------------|----------------------|------------|---------------|-------------------|-----------|--------------|----------------|----------|
| Dureza | 0-20* | 25 | 100 | 250-900 | 350 | 250 | δ | δ |
| pH, unidades | 8-10* | 2.5-10.5 # | 6-10 | 6.2-8.7 | 6-9 | 6.5-8.5 | δ | 7 # |
| Calcio, mg/L | 0 | - | 20 | 60-100 | 75 | 100 | 100 | - |
| Cl, mg/L | Sin prob. | - | 200-1000 | 500 | 300 | 250 | 500 | - |
| Manganeso | 0.01-0.3 | 0.01-0.05 | 0.05-0.1 | 0.1-0.2 | - | 0.2 | 0.05 | 250 |
| Hierro, mg/L | 0.01-1* | 0.1-0.3 | 0.1-0.3 | 0.1-0.3 | 1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 |
| Color, unidad Alcalino | Sin prob. | 5 | 10-30 | 20 | Sin prob. | 5 | 10 | 25 |
| Sólidos en suspensión | 40-140 | - | - | 125-200 | - | 250 | 85 | Sin prob |
| | 0-10 | 5 | 10 | 5-30 | 10 | 10 | 0 | 400 |
| | | | | | | | | 500 |

Fuente: Santaniello, Robert M.

* En función de la presión de la caldera

Dependiendo del funcionamiento (tamaño, blanqueo y limpieza)

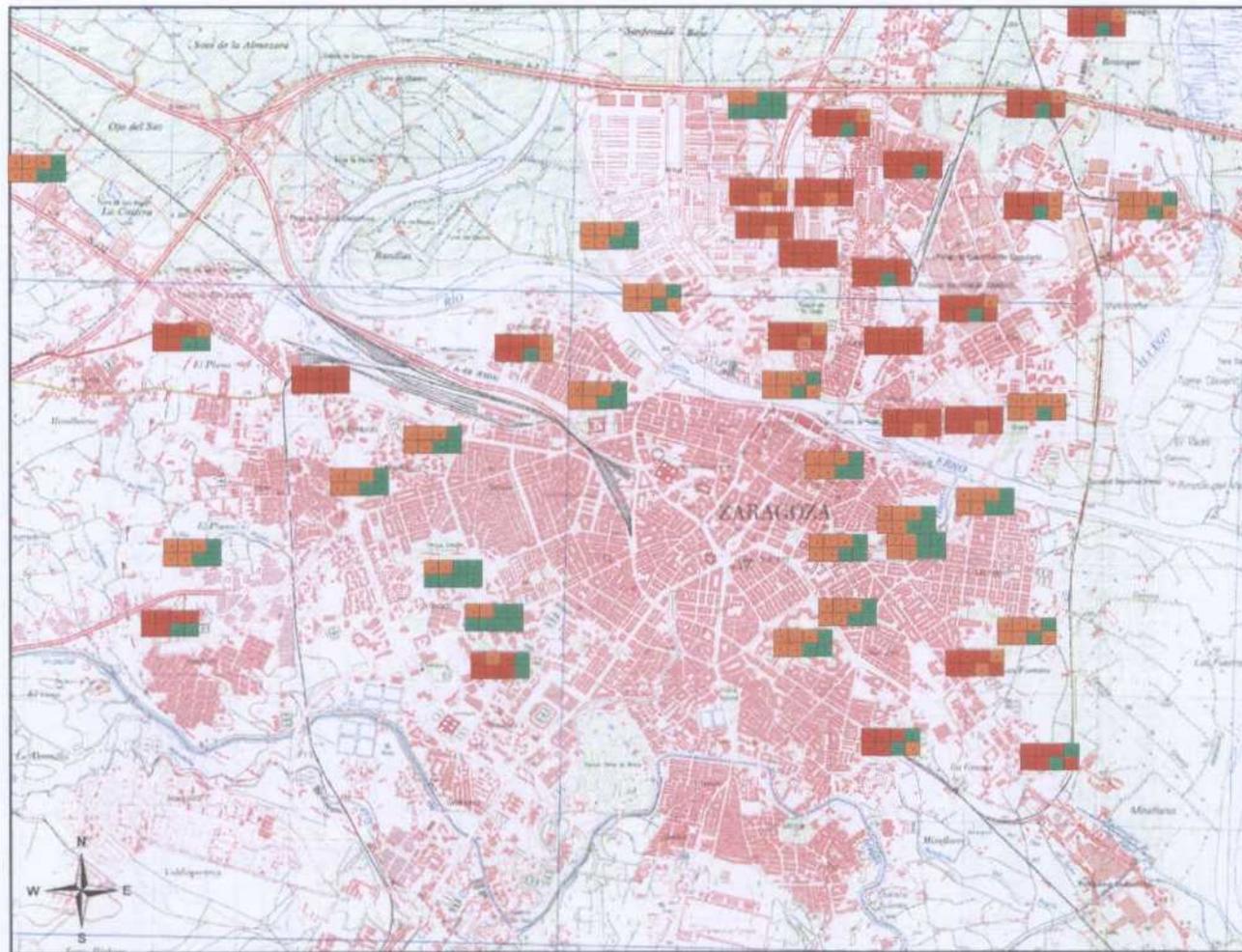
δ Controlado por tratamiento de otros componentes

Para el uso en procesos industriales hay que tener en cuenta principalmente la agresividad y el poder incrustante del agua. La agresividad se debe a su conductividad, contenido en oxígeno y aniones capaces de formar con el metal óxidos no protectores. Caso de ser químicamente pura y desgasificada cesa la agresividad del agua y es adecuada para calderas, aunque su elevado poder de dilución puede provocar problemas adicionales.

El poder incrustante del agua se debe a la presencia de algunos iones como los del calcio, magnesio y hierro. Esto puede ocasionar la formación de precipitados e incrustaciones en depósitos y tuberías, inconvenientes en operaciones de lavado con detergentes y en operaciones de electroplateado. También son conocidos los efectos que los bicarbonatos disueltos en el agua pueden tener al variar la temperatura y acidez, con formación de depósitos de CO_3Ca . El contenido en sulfatos podría afectar por corrosión a los depósitos y conducciones de cemento.

En definitiva, se trata de un agua de calidad química poco adecuada, tanto para usos domésticos como para ciertos procesos industriales (ver Plano 27), aunque en ausencia de otras fuentes de abastecimiento podrían ser utilizadas para los primeros si cumplen las condiciones microbiológicas exigidas por la legislación actual, y para los segundos si se ve sometida a procesos de ablandamiento.

La concentración industrial y de empresas de servicios incluidas en el término municipal de Zaragoza, genera una importante demanda de recursos hidráulicos para usos distintos a los puramente domésticos. Esta demanda, combinada con unas características geológicas que favorecen la obtención de recursos subterráneos con obras poco costosas (20-30 m. de perforación), determina la proliferación de este tipo de captaciones para satisfacer la demanda industrial bien en circuitos de refrigeración, bien en el propio proceso industrial aumentando en este caso el volumen vertido a las redes de saneamiento por encima de los cálculos basados con redes de suministro municipal.

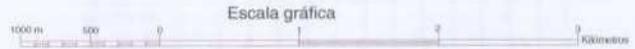


| | | | |
|---|---|---|---|
| E | T | P | Q |
| F | A | B | C |

- E- ELECTRICA
- T- TEXTIL
- P- PULP Y PAPEL
- Q- QUIMICA
- F- FISIQUICO
- A- ALIMENTACION
- B- BEBIDA
- C- CEMENTO

- BUENA
- TOLERABLE
- MALA

Nota: Los valores de dureza, calcio, cloruros, manganeso, hierro y alcalinidad superan los límites máximos establecidos por las diferentes industrias. En general se ha de tratar el agua antes de emplearla.



Plano 27.- Mapa de calidad de las aguas en función de su uso industrial.

7.2.4 Impacto sobre el suelo

Para caracterizar el impacto sobre el suelo se han recogido muestras en 40 emplazamientos, algunos de los cuales coinciden con puntos de control de agua subterránea. El Plano 28 muestra la ubicaciones de los puntos que se localizan principalmente en zonas verdes y lugares industriales.

Los suelos analizados (Anexo 4), presentan pH alcalinos con valores variables entre 7.5 y 8.5. El contenido en materia orgánica es alto, superándose en la mayoría de los casos el 3% y alcanzándose puntualmente valores de hasta el 12%. Estos suelos presentan, en la mayoría de los casos, una proporción de partículas de <2 mm superior al 80 % dentro de las texturas arcillo-limosas, la proporción de arcilla oscila entre el 25 y el 45 % y la de limo alrededor del 45 %.

El análisis por DRX muestra que la mayoría de las muestras de presentan como minerales principales cuarzo y calcita. Los minerales accesorios o traza son variados, pero destacan principalmente: mica, dolomita, clorita, microclina, yeso y albita. En una de las muestras (Punto 31 correspondiente a la Fundación Rico-Echevarría) aparece la magnetita y el hematíes como caso aislado.

Para comparar los valores determinados se ha empleado la legislación holandesa, pues aún no se ha llegado a una unificación de criterios a nivel europeo. En la Tabla 22 se presentan los valores de referencia e intervención para suelo y agua.

Tabla 22.- Valores de referencia e intervención para agua y suelo

| Compuesto | Suelo (*) (en mg/kg de materia seca) | | | Agua subterránea (µg/L) | |
|----------------|---|-----------------------|------------------|----------------------------|-----------------------|
| | Valor de referencia | Valor de intervención | Valor máximo (+) | Valor de referencia | Valor de intervención |
| Metales | | | | | |
| Cromo | 100 | 380 | 960 | 1 | 30 |
| Cobalto | 20 | 240 | 35 | 20 | 100 |
| Níquel | 35 | 210 | 510 | 15 | 75 |
| Cobre | 36 | 190 | 2170 | 15 | 75 |
| Cinc | 140 | 720 | 5840 | 65 | 800 |
| Arsénico | 29 | 55 | 30 | 10 | 60 |
| Molibdeno | 10 | 200 | 108 | 5 | 625 |
| Cadmio | 0.8 | 12 | 12 | 0.4 | 0.3 |
| Bario | 200 | 625 | 755 | 50 | 75 |
| Mercurio | 0.3 | 10 | - | 0.05 | 0.3 |
| Plomo | 85 | 530 | 7930 | 15 | 75 |

(*) Suelos estándar (10 % materia orgánica, 25 % arcilla).

(+) Valor máximo de los parámetros analizados en suelos de la ciudad de Zaragoza.

Fuente: ANEXO XIV- Criterios holandeses de referencia para evaluar la contaminación del suelo y del agua subterránea. Prontuario de Gestión ambiental (1996)

Se observan valores muy superiores a los de intervención en los casos del Plomo, Zinc, Cobre, Cromo, Bario y Niquel. Los valores más altos en la mayoría de los elementos analizados (caso de Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Sb y Zn) corresponden al punto 31, perteneciente a la Fundición Rico-Echevarría. Esta empresa se dedica a la fabricación de aceros en hornos eléctricos y productos laminados en caliente. También se han observado valores anormalmente elevados en el punto 39 denominado Parque Primo de Rivera, para el caso del Pb y Sb. En este punto de muestreo, al igual que en otros tomados en parques de Zaragoza, se observa un elevado contenido en P (llegándose a alcanzar 4704 µg/g), debido principalmente al uso de fertilizantes fosfatados. Cabe destacar el hecho también de que los valores más altos de Mo y Zn se localizan en el punto 30 perteneciente a la Lavandería "La Higiénica". En este punto también se encuentran valores altos de P debido quizás al uso de detergentes fosfatados.

También se ha llevado a cabo una comparación de los valores obtenidos con la legislación provisional o propuesta de actuación en materia de suelos de 3 Comunidades Autónomas españolas. En ellas, se hace una clasificación atendiendo al uso del suelo. En la Tabla 23 se muestran los valores de referencia para Galicia, País Vasco y Cataluña.

Tabla 23.- Valores de referencia para suelos según distintas fuentes

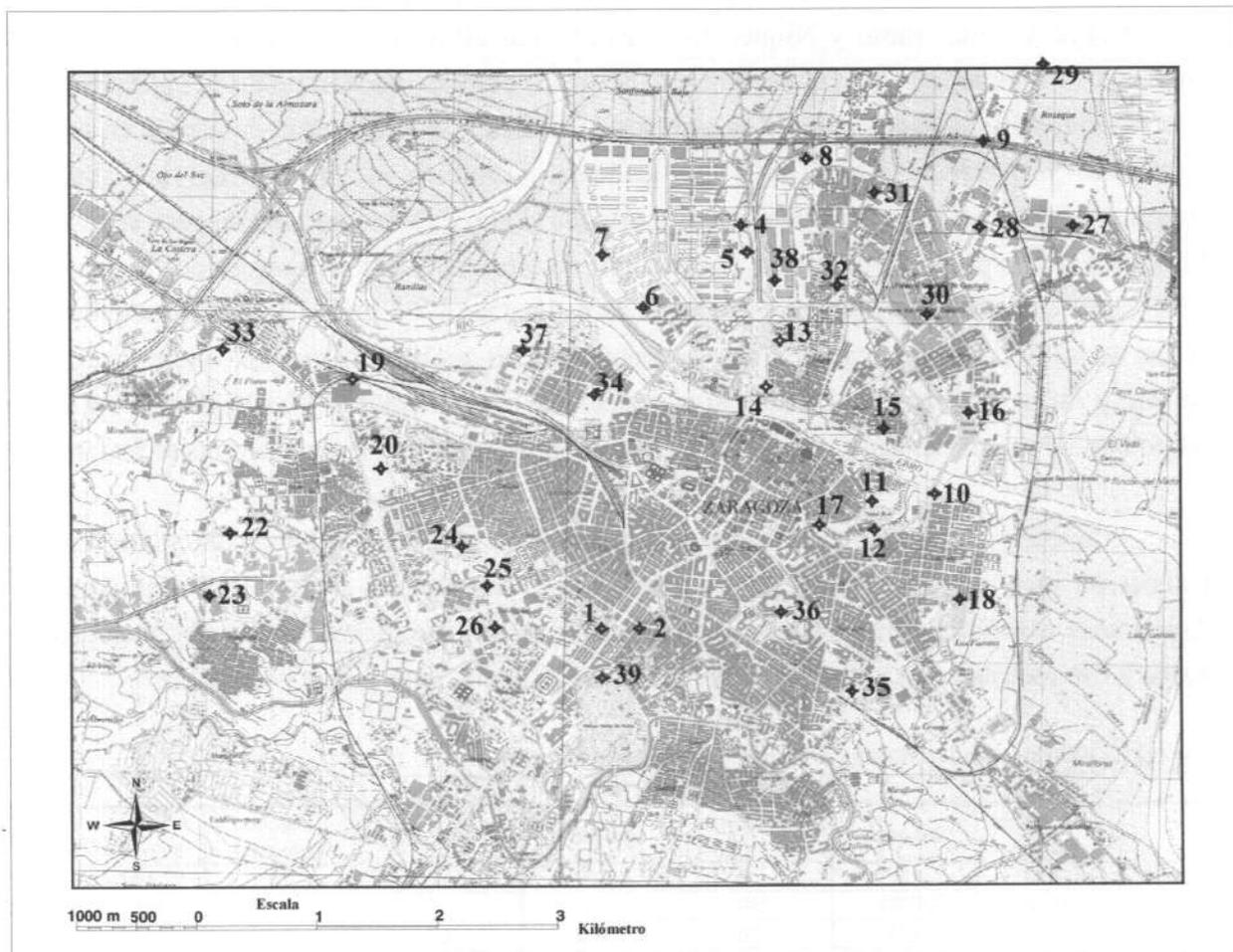
| | GALICIA | | PAIS VASCO | | CATALUÑA | | |
|----|--------------------|-----------|--------------------|-----------|---------------|-------------------|----------------|
| | Residencial Parque | Industria | Residencial Parque | Industria | V. Referencia | Uso no industrial | Uso industrial |
| As | 55 | 180 | 30 | 200 | 5 | 30 | 140 |
| Ba | 1800 | 5750 | 2800 | (1) | - | 525 | 3600 |
| Cd | 40 | 125 | 50 | 100 | 1.5 | 3.5 | 70 |
| Co | 450 | 1750 | (3) | (3) | 10 | 85 | 200 |
| Cu | >10000 | >10000 | (2) | (1) | 55 | 270 | 1000 |
| Cr | 525 | 1630 | 700 | 1300 | - | 200/0.03 * | 700/0.1* |
| Hg | 40 | 120 | 60 | 100 | 1.1 | 10 | 25 |
| Mo | 175 | 550 | 300 | (1) | 4.4 | 90 | 700 |
| Ni | 175 | 1610 | 700 | 1300 | 49 | 250 | 700 |
| Pb | 370 | 1140 | 500 | 1000 | 70 | 300 | 1000 |
| Zn | >10000 | >10000 | (1) | 150 | 178 | 450 | 3000 |

(1) Se han considerado no consistente la derivación de un valor basado en los efectos sobre la salud para este uso (contaminante no prioritario para la salud humana). (2) El valor derivado sobrepasa la decena de miles de ppm (mg/kg suelo). (3) No se ha derivado valor por ausencia de datos o ausencia de evidencias de efectos.

* Se diferencian sus estados iónicos Cr (III)/Cr (VI)

Fuente: Galicia- "Actualización del Inventario de Suelos Contaminados, Jerarquización y Desarrollo de una Legislación para la Protección del Suelo en Galicia" (1996); País Vasco- "Investigación de la contaminación del suelo". IHOBE (Sociedad Pública Gestión Ambiental) (1994); Cataluña- "Guía de evaluación de la calidad del suelo: Criterios provisionales de calidad del suelo en Cataluña" (1997).

Al tratarse de valores adaptados a cada tipo de situación considerada (uso industrial o no), se observan diferencias menos significativas en cuanto a los valores máximos, encontrándose en la mayoría de los casos por debajo de los límites establecidos.



Plano 28.- Situación de los puntos de muestreo de suelo.

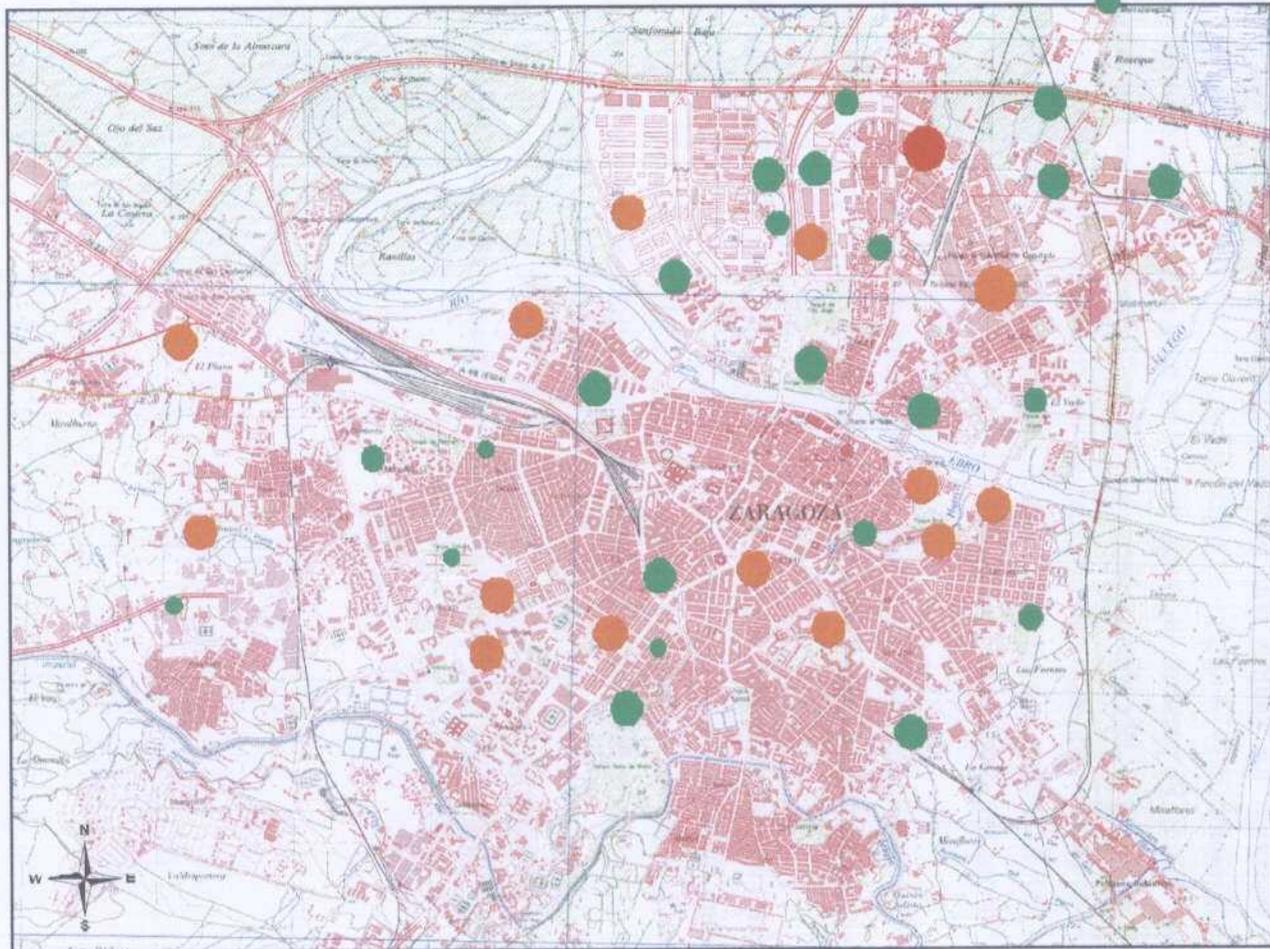
Comparando los valores obtenidos para suelos y aguas con lo recogido en la legislación holandesa sólo se observa correlación en el contenido en Ni y Cd superándose en ambos casos con frecuencia el nivel de intervención, sin embargo para el resto de los elementos considerados no se ha encontrado esta correlación y los niveles de intervención no se superan nunca en aguas y en casos muy puntuales en agua. En el Anexo 4 se muestran los coeficientes de correlación calculados.

Por una parte, se han realizado mapas de afección correspondientes a los metales pesados más representativos en los suelos. Aquí se muestran los mapas correspondientes a la concentración de Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn. De este modo, se puede realizar un estudio espacial del comportamiento de los distintos elementos. Al igual que en el caso de los metales pesados en las aguas, en el caso de los suelos la margen izquierda del río Ebro es la que se encuentra más afectada. La distribución encontrada en los metales estudiados ha sido la siguiente:

- **Bario:** (Plano 29). Los valores de bario en suelo oscilan entre 100-760 $\mu\text{g/g}$. Los puntos que muestran una mayor concentración de este elemento corresponden a la Fundición (punto 31) y la Lavandería (punto 30).
- **Cromo:** (Plano 30). Este elemento presenta valores dentro del rango de 60-110 $\mu\text{g/g}$, encontrándose valores entorno a 150 en los puntos 2 (Sta. Teresa), 35 (La Granja) y 30 (La Lavandería). Aunque el valor de Cr más elevado se ha localizado en la Fundición (punto 31).
- **Cobre:** (Plano 31). La distribución del cobre es más o menos homogénea en la zona de estudio, localizándose valores elevados en los puntos 30 (304 $\mu\text{g/g}$) y 31 (2170 $\mu\text{g/g}$) respectivamente.
- **Manganeso:** (Plano 32). Este elemento presenta valores entre 100-350 $\mu\text{g/g}$ como pauta general. Sin embargo, los valores más elevados, al igual que en casos anteriores, se localizan en los puntos 30 (474 $\mu\text{g/g}$) y 31 (4030 $\mu\text{g/g}$).
- **Plomo:** (Plano 33). El Pb presenta un rango de valores muy amplio, alcanzándose valores de 7930 $\mu\text{g/g}$ en el punto 39 correspondiente al Parque "Primo de Rivera. Por otra parte, en el punto 31 se han determinado valores elevados que rondan los 2000 $\mu\text{g/g}$.
- **Zinc:** (Plano 34). Este elemento presenta valores elevadísimos en el punto 31 (5840 $\mu\text{g/g}$) y de manera menos importante en el punto 30 (461 $\mu\text{g/g}$).

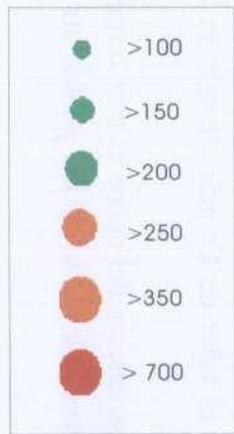
Se observa la presencia de tres grupos claramente diferenciados, observándose dentro de los elementos que conforman un grupo, una fuerte correlación.

- *Grupo 1*, estaría representado por: Ag, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn, relacionados con la actividad industrial.
- Grupo 2 formado por los siguientes elementos: Cd, Sc, Ti, Y, La, Mg, V, K y Na provenientes de la matriz del suelo y también de ciertas actividades industriales como la fabricación de pinturas, plásticos y papel.
- *Grupo 3*, únicamente representado por As, Pb y Sb. El Pb y Sb ambos de origen industrial, mientras que el As ha sido empleado en la fabricación de fitosanitarios.

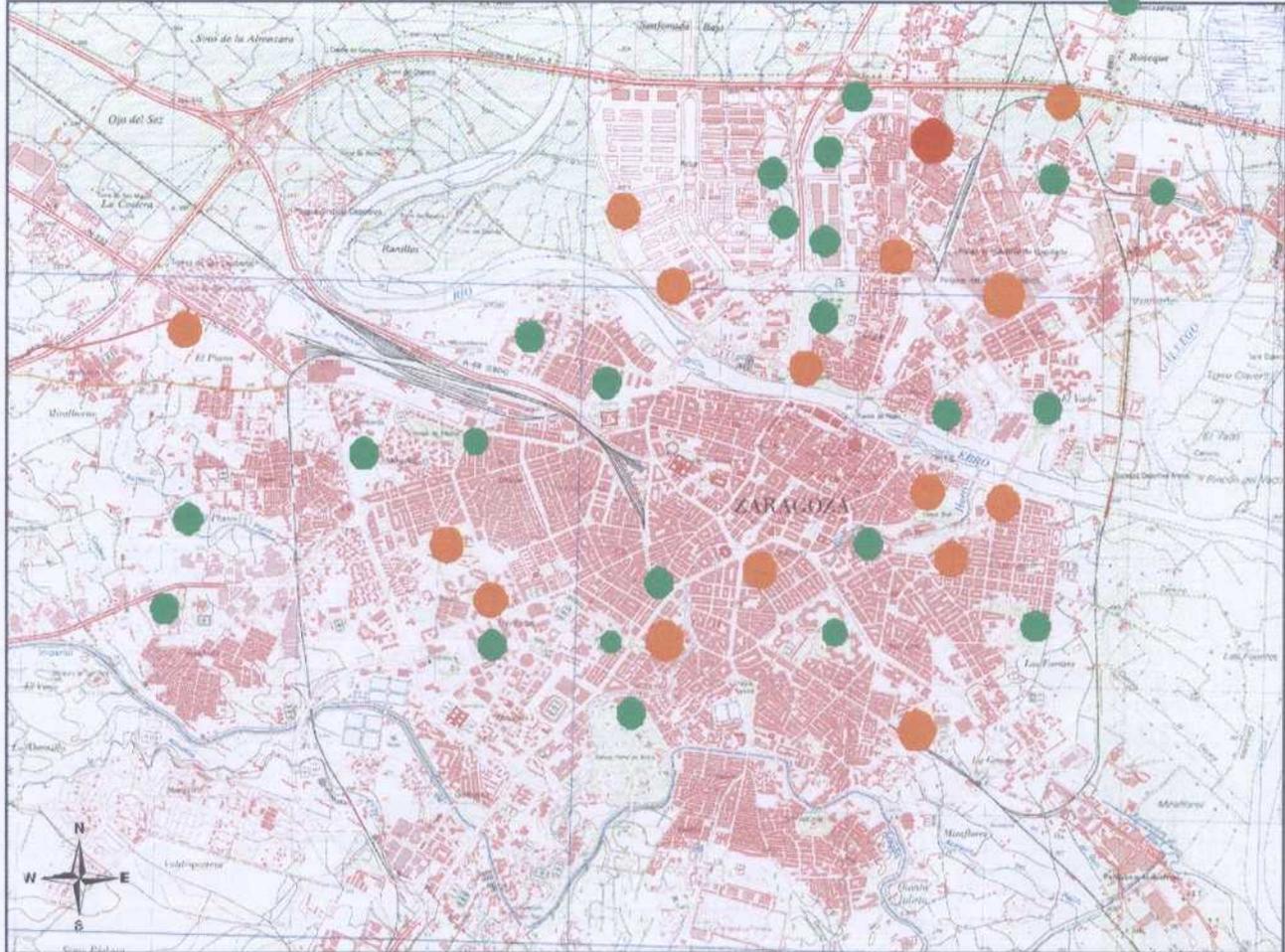


MAPA DE AFECCIÓN

Concentración de Bario ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

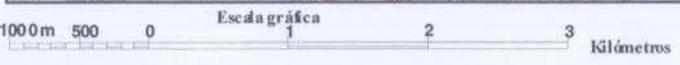
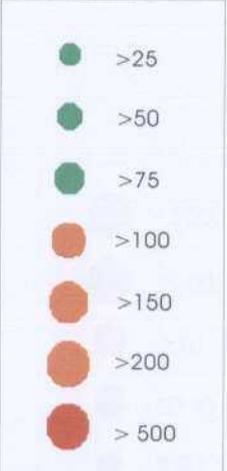


Plano 29.- Mapa de concentración de Bario ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

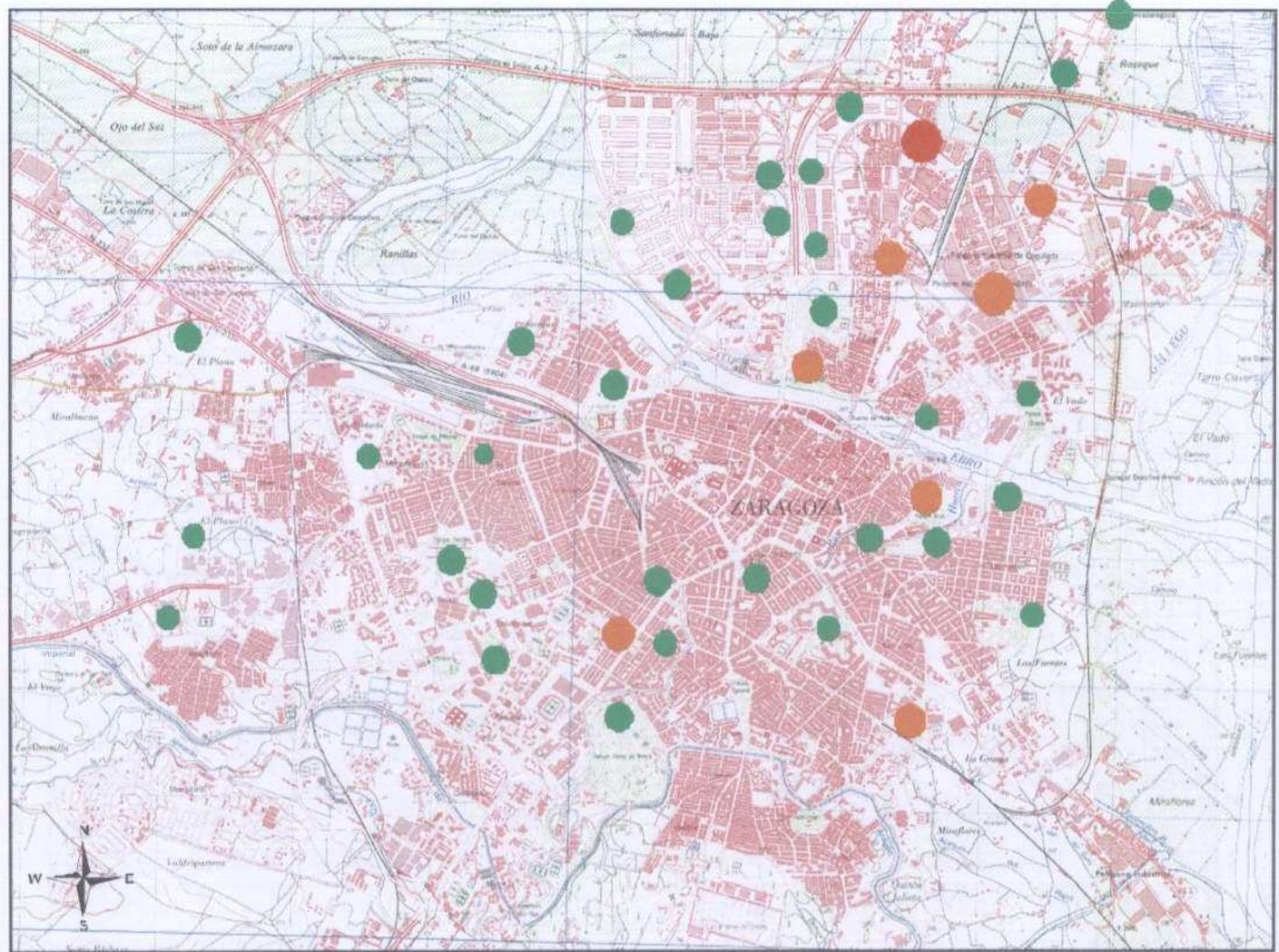


MAPA DE AFECCIÓN

Concentración de cromo ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

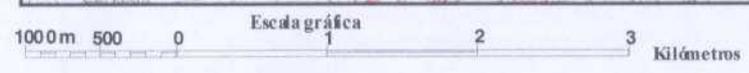
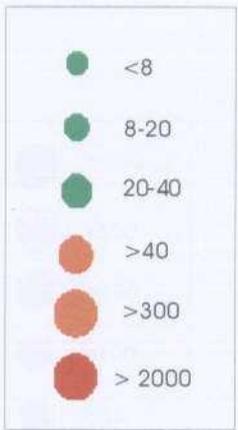


Plano 30.- Mapa de concentración de cromo ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

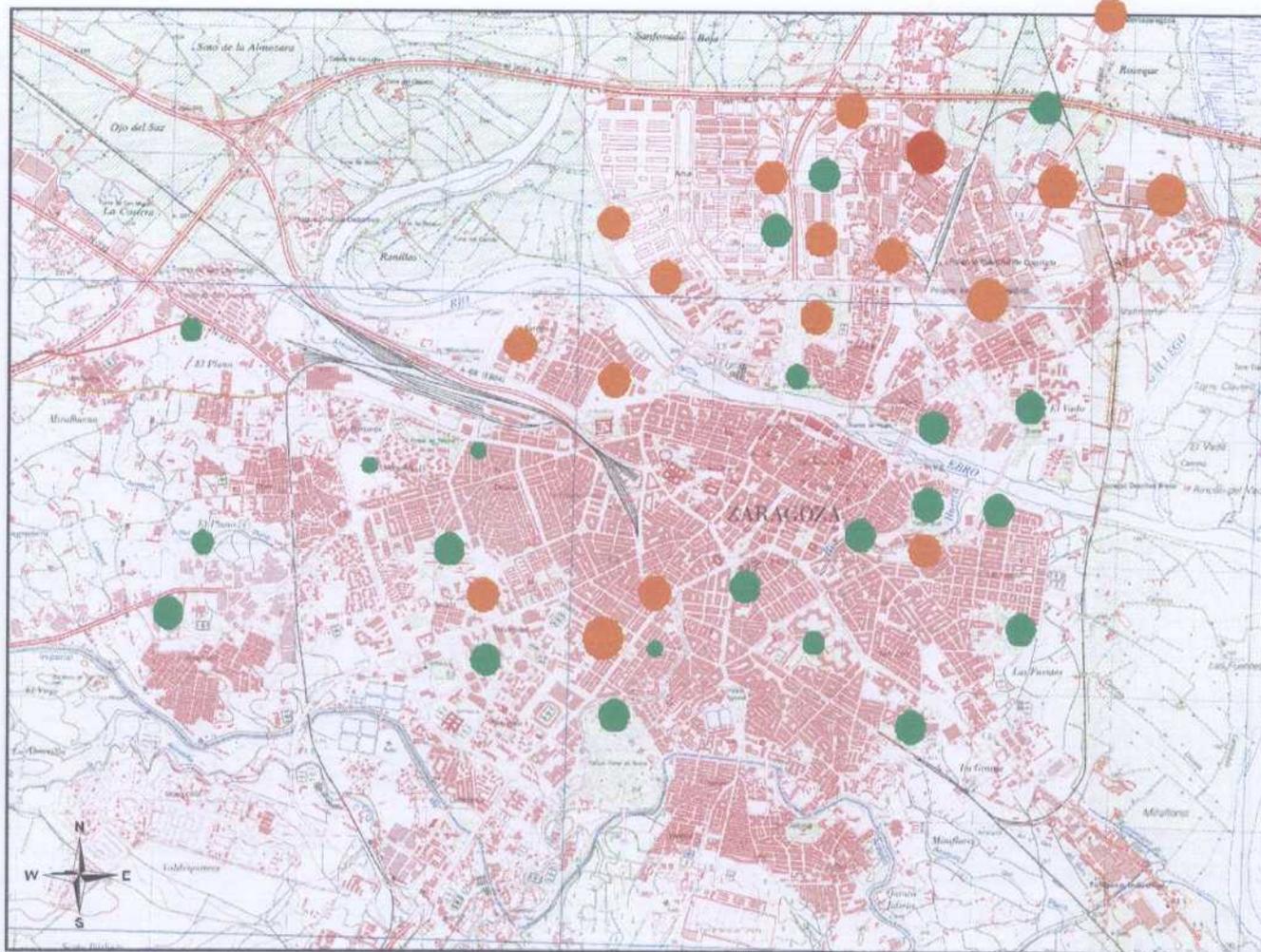


MAPA DE AFECCIÓN

Concentración de Cobre ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

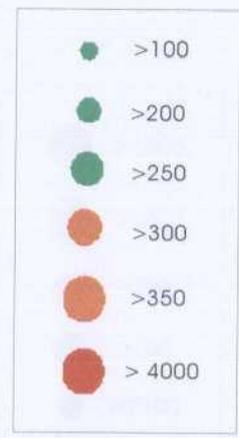


Plano 31.- Mapa de concentración de Cobre ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

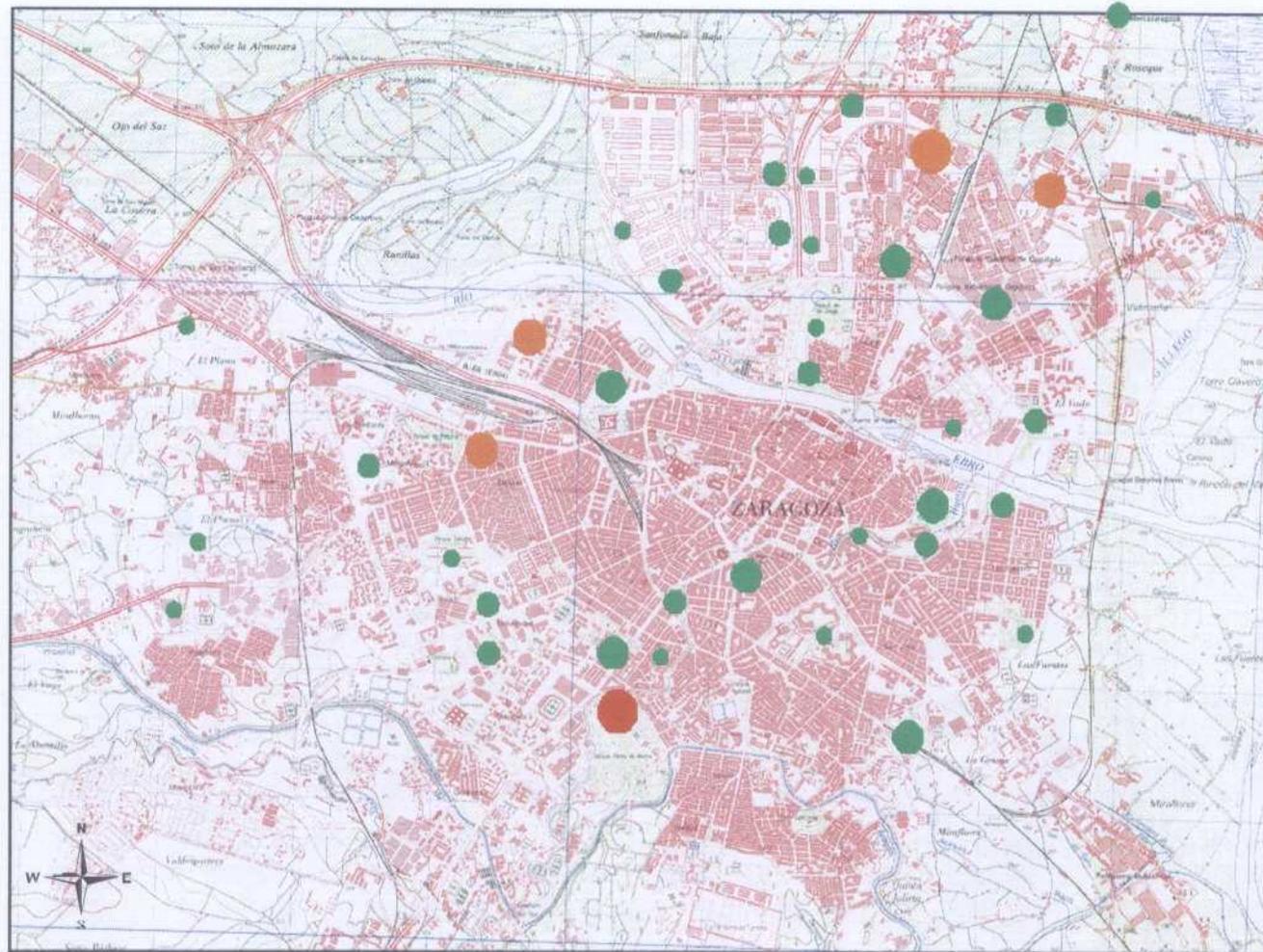


MAPA DE AFECCIÓN

Concentración de Manganese ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

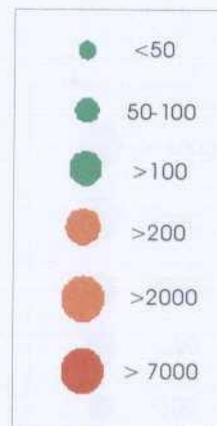


Plano 32.- Mapa de concentración de Manganese ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

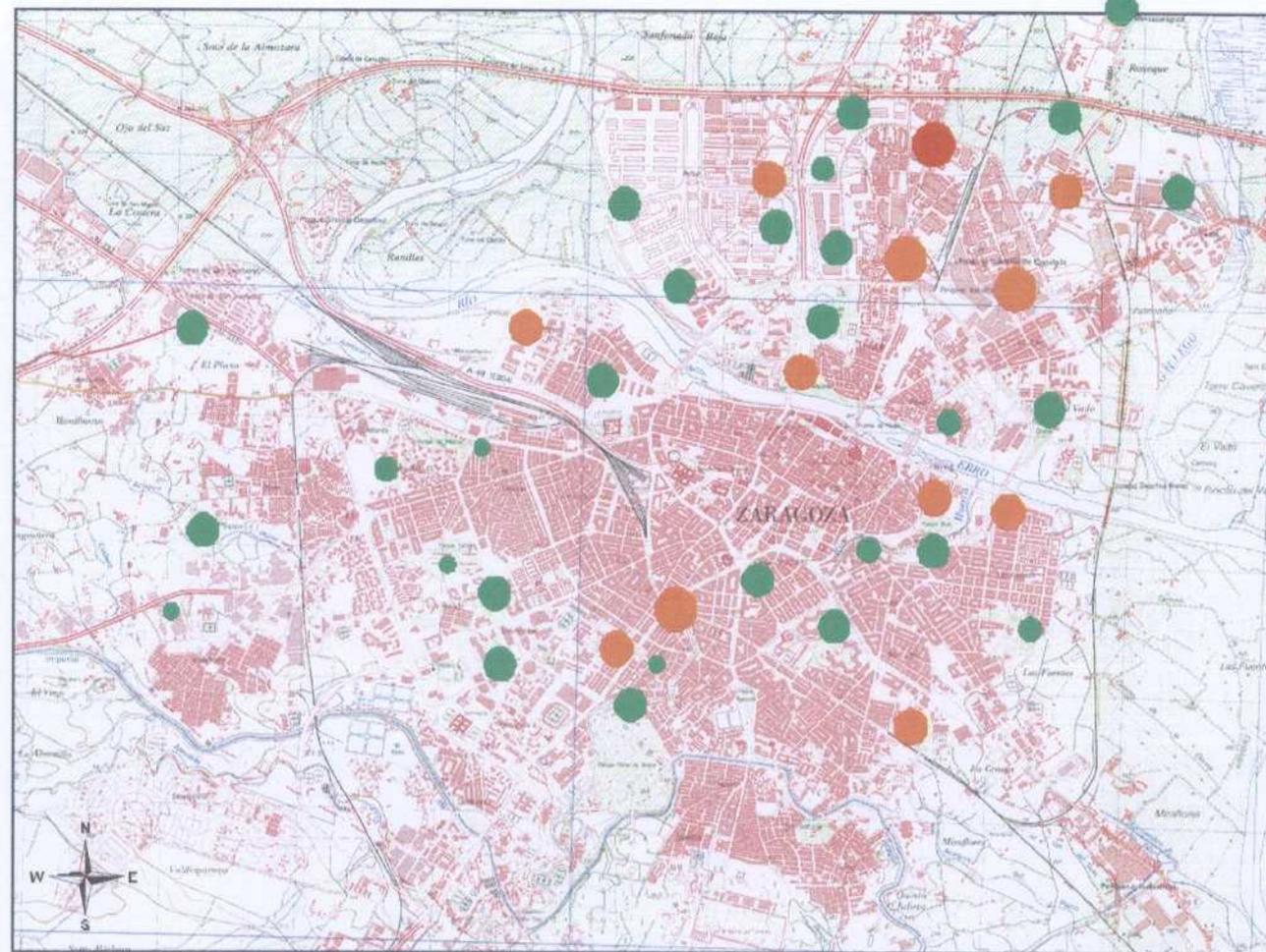


MAPA DE AFECCIÓN

Concentración de Plomo ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

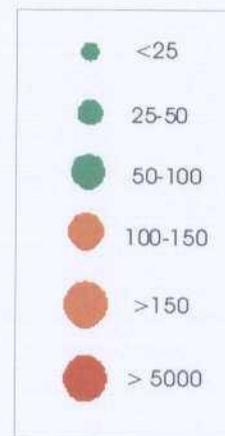


Plano 33.- Mapa de concentración de Plomo ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.



MAPA DE AFECCIÓN

Concentración de Zinc ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.



Plano 34.- Mapa de concentración de Zinc ($\mu\text{g/g}$) en el suelo.

Capítulo IV
CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La ciudad de Zaragoza se construyó en una terraza en la margen derecha del río Ebro elevada sobre el nivel de las aguas, queda así protegida de las grandes riadas, además el curso del río ofrecía una singular protección frente a posibles invasiones. El Ebro cumplía una serie de funciones vitales para la ciudad, regaba sus huertas, suministraba el agua potable, se utilizaba como medio de transporte e incluso interrumpía la actividad ciudadana con sus inundaciones.

El equilibrio entre margen derecha (ciudad) y margen izquierda (cultivos y meandros abandonados), sintonizaba con el curso divagante del río, hasta que en el siglo XX, el fuerte crecimiento de la ciudad, derivado del desarrollismo de estos años, ha producido una clara desconexión entre río-ciudad, como consecuencia de las actuaciones urbanísticas, en las que se primaban las acciones cuantitativas sobre las cualitativas, históricas y ambientales. (J. Cruz Murillo Arruego)

Ello ha llevado a un importante desarrollo del empleo de las aguas subterráneas para abastecimiento industrial y de urbanizaciones dispersas. Se observa que la interacción de la urbe con el medio hídrico es intensa y las malas políticas de gestión de este recurso pueden producir un significativo impacto sobre las mismas. La evolución de la urbanización, en cualquier ciudad, genera problemas respecto la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas con las implicaciones tanto sociales como económicas que esto comporta.

Los usos del agua subterránea están ligados a su calidad actual y posible evolución, el desarrollo de las concentraciones urbanas e industriales ha incidido de manera negativa en los recursos hidráulicos, ya que los vertidos han venido degradado su calidad y agotado la capacidad de autodepuración de los cuerpos receptores. Así pues, las actividades humanas vienen ejerciendo un significativo impacto sobre los recursos hídricos particularmente vulnerables a la contaminación industrial, lo que provoca la degradación de la calidad del agua, la desaparición de hábitats, etc.... <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/Gestion%20calidad%20aguas.htm>

Otro aspecto muy importante a considerar es la modificación de los usos del suelo, ya que con objeto de satisfacer las demandas (mayor extensión de cultivos, usos industriales, etc...), se altera tanto el suelo como el propio recurso hídrico y se producen de este modo modificaciones tanto en la hidrodinámica como en la hidroquímica del acuífero. Así pues, podemos decir que el estado actual del agua subterránea de una cierta área urbana es en gran manera el resultado acumulado de las actividades que se han realizado en el pasado en el mismo (Custodio, E. 2004).

En las ciudades o grandes urbes la hidrogeología urbana tiene un especial relieve, no sólo ante los problemas de abastecimiento de agua potable, sino por problemas asociados de contaminación persistente de suelos, subsidencia y colapso del terreno, interacción con edificaciones, obras viales y dispositivos urbanos varios, y no en pocas ocasiones inestabilización de laderas y encharcamientos persistentes.

Es importante destacar que los acuíferos urbanos y periurbanos gestionados racionalmente en un marco legislativo territorial adecuado, se convierten en reservorios de agua de gran relevancia en situaciones en la que los depósitos de regulación y emergencia son difíciles de ubicar y caros de construir.

El agua subterránea urbana puede emplearse en sectores o actividades que no requieren una elevada calidad como pueden ser determinados servicios municipales (riego de jardines y vegetación urbana, agua secundaria para servicios etc...), usos industriales (limpieza de vehículos, climatización de edificios, etc...). Un área interesante que está en desarrollo es la combinación de acuíferos urbanos con la reutilización de agua usada tratada.

El empleo de las aguas subterráneas, principalmente para abastecimiento industrial y de urbanizaciones dispersas, es frecuente en la ciudad de Zaragoza; dada la extensión que presentan las terrazas fluviales y el carácter granular es frecuente el reciclaje de las aguas, sobre todo las de riego. No obstante, la ciudad de Zaragoza pese a localizarse sobre un acuífero aluvial libre con un nivel freático relativamente alto, que le hace especialmente vulnerable a los agentes contaminantes externos, presenta un impacto relativamente bajo para las actividades potencialmente contaminantes.

El contexto geológico (materiales evaporíticos del sustrato) condiciona la mala calidad de las aguas subterráneas, reflejada en un aumento de la mineralización, dureza, sulfatos, calcio, etc...

Los principales problemas encontrados en el sistema de saneamiento son los referidos a la contaminación directa por fugas (debido a la antigüedad y al tipo de materiales que constituyen la red).

La caracterización del factor riesgo debido a la actividad agrícola se ha realizado evaluando los compuestos químicos empleados en los tratamientos para combatir las enfermedades y plagas que afectan a los cultivos, del empleo de herbicidas y de la aplicación de abonos. Las principales causas de contaminación de las aguas subterráneas son debidas a la aplicación incorrecta de fertilizantes y en la reutilización de los excedentes de riego en parques y jardines.

La contaminación de las aguas subterráneas debido a actividades industriales se caracteriza por la gran variedad de sustancias químicas que este sector maneja y produce, las cuales son susceptibles de convertirse en contaminantes para las aguas subterráneas, además de ser también significativo su marcado carácter local o puntual. En la ciudad de Zaragoza se han encontrado puntualmente valores elevados de metales pesados, principalmente Se, Hg, Mn, Zn, Al, Ni, Cr y Cd.

La contaminación de suelos en la ciudad de Zaragoza, queda restringida a la margen izquierda del río Ebro, donde existe una mayor concentración industrial. Se han observado valores puntualmente elevados de Plomo, Zinc, Cobre, Cromo, Bario y Níquel. A pesar de ello, la mayoría de los valores determinados para los metales pesados se encuentran por debajo de los límites admisibles de la legislación vigente, sin embargo, no hay que olvidar que la acumulación excesiva de metales pesados pueden detectarse con el paso del tiempo, aunque haya cesado el origen de la contaminación.

La asociación de metales encontrada (Cu, Zn, Se, Mn, etc...), parece indicar un origen industrial y una fuerte influencia del agua de los ríos. La adición de compost y fertilizantes ha de ser investigada como otro posible foco contaminante. No obstante, existe la posibilidad de que parte de los elementos detectados procedan de las filtraciones y pérdidas de los colectores de vertido de polígonos industriales del extrarradio o de otros potenciales focos externos al casco urbano que tras incorporarse al flujo subterráneo, son captados posteriormente en los puntos de muestreo, lejos de su lugar de origen.

Por todo ello, se ve que es necesario un estudio más detallado, ya que la ciudad de Zaragoza debe ser considerada como "zona de alto riesgo de contaminación".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

El Anexo 5 contiene una base de datos bibliográfica sobre hidrogeología urbana, en este apartado se muestran únicamente las referencias citadas.

- Anuario Comercial de España “La Caixa” (1998).
- Ayuntamiento de Zaragoza - Área de Acción social y Salud Pública. (1996). Inventario de consumos de agua ajenos a la red de abastecimiento del término Municipal de Zaragoza. Pp.43.
- Ayuntamiento de Zaragoza. Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza. (mayo 1999). Memoria informativa.
- Bielza, V. y Martínez Gil, J. Et al. (1993). “Contaminación del manto freático del Corredor del Ebro”. Fundación Nueva Empresa. Zaragoza.
- Cámara de comercio de Zaragoza (2000). Actividad Industrial.
- Carrera Ramírez, J. (1997). “Observación y medida de las recarga (descarga) a partir de aguas superficiales y conducciones, transferencias y fugas. Recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica”. AIH-GE. Las Palmas de Gran Canaria.
- Consellería de Industria (1996). Niveles de referencia para evaluar la calidad del suelo en la Comunidad Autónoma de Galicia.
- Custodio, E y Llamas, M.R. (1996). Hidrogeología subterránea, 2ª edición. Ed. Omega, Tomo I. Pp 1157.
- Custodio, E. (1997). “Groundwater quantity and quality changes related to land and water management around urban areas: Bessing and misfrotunes”. En: Groundwater in the Urban Areas: Problems, Processes and Management,. P.J Chilton (ed.), XXVII Congress of the International Association of Hydrogeologist (IAH). Nottingham, 21-27 September 1997, pp.11-22
- Custodio, E. (2004). “Hidrogeología urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica”. Boletín Geológico y Minero, 115, Núm. Especial: 283-288.
- Decreto 833/75 de desarrollo de la Ley 38/72, de protección del ambiente atmosférico. “Catálogo de actividades potencialmente contaminantes de la atmósfera”. Grupos A y B.
- De Miguel; E., Ordoñez, A. and Charlesworth, S.(2001). “Geoquímica urbana: una revisión”. IIIº Congreso Ibérico de Geoquímica. VIIIº Congreso de Geoquímica de España. Zaragoza . M. Lago; E. Arranz y C. Galé (Eds.).
- EPA (Environmental Protection Agency) (1998). National Recommended Water Quality Criteria; Notice; Republication. Federal Register 237 (63): 68454-68464.
- Fetter, C.W. (1993). “Contaminant Hydrogeology”. Pp 458.

- Generalitat de Catalunya- Departament de Medi Ambient. Junta de Residus (1997). Guía de evaluación de la calidad del suelo: Criterios provisionales de calidad del suelo en Cataluña.
- Kazi, F and Jalal, J. and Asce, M. (1997). "Water Quality Impacts of Urbanization- A Methodology". Journal of the environmental engineering division. Pp 49-57.
- Gerritse R.G., Barber C, Adeney J.A (1990). "The impact of residential urban areas on groundwater quality, Swan Coastal Plain, Western Australia". Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation, Division Water Resource Series, Canberra, A.C.T., CSIRO Water Resources Series, 3, 27 p. in: English.
- I.G.M.E (1982). "Investigación hidrogeológica de la Cuenca del Ebro". Madrid. 82 Pp.
- I.G.M.E (1983). "Programa nacional de Gestión y Contaminación de Acuíferos: calidad natural de las aguas subterráneas en la Cuenca del Ebro". Madrid.
- I.G.M.E (2003). "El agua y la ciudad sostenible: Hidrogeología urbana". Serie: Hidrogeología y Aguas subterráneas nº 11. Textos del simposio, conferencias, ponencias y comunicaciones. Barcelona 23-25 de octubre de 2003.
- IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental). Propuesta de manual práctico para la Investigación de la contaminación del suelo en el País Vasco.
- Illecas, J.A.; Llamas, J.; Higuera, P.; y del Barrio, S. (1996). "Caracterización geoquímica de partículas sedimentarias en una población urbana e industrial: el caso de Puertollano (Ciudad Real).
- INYPSA (Informes y Proyectos S.A). (1985). Inventario de Residuos y localización de un vertedero controlado en las proximidades de Zaragoza.
- INM (Instituto Nacional de Meteorología). Datos de la estación meteorológica de Zaragoza Aeropuerto (nº 9434).
- Instituto Nacional de Estadística- I.N.E (1997). Encuesta de población activa (EPA), 3º trimestre 1997 provincia de Zaragoza.
- Instituto Nacional de Estadística- I.N.E (2003). Población de la provincia de Zaragoza.
- Jalal K.F (1977). " Water Quality Impacts of Urbanization - A Methodology". Journal of the Environmental Engineering Division, 103(EE1). Pp. 49-57 (ISSN:) American Society of Civil Engineers, Environmental Engineering in English
- Jiménez de Grado, M.; De Miguel García, E.; F. Llamas Borrajo, J.; et al. (1997). "Caracterización de las fuentes antrópicas de elementos traza en suelos urbanos".
- Jiménez de Grado, M.; De Miguel, E.; Llamas, J. F., et al. (1997). "Elementos trazadores de procesos urbanos: el caso de la plata". Geogaceta, 21. Pp 147-150.

- Kelly, J. and Thornton I. (1996). "Urban Geochemistry: A study of the influence of antropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain". Applied Geochemistry. Vol. 11. Pp 363-370.
- Lerner DN, (1990). "Recharge due to urbanization". Groundwater Recharge. E. Issar & J. Simmers (eds.).IAH, International Contributions to Hydrogeology, Heise, 8: 210-214.
- Llamas, J. F; Chacón, E. y De Miguel, E., (1991). "Metales pesados en la atmósfera de Madrid". Boletín Geológico y Minero. Ingeniería medioambiental. Vol.102-1. Pp 135-147.
- Llamas, J. F. y Fernández-Arrojo, C. (2001). "Medioambiente, Geoquímica y la vida en la ciudad". IIIº Congreso Ibérico de Geoquímica. VIIIº Congreso de Geoquímica de España. Zaragoza. M. Lago, E. Arranz y C. Galé (eds.).
- McArthur, J.M. ; Ravenscroft, P. ; Safiulla, S. and Thirlwall, M.F (2001). "Arsenic in groundwater: Testing pollution mechanisms for sedimentary aquifers in Bangladesh". Water Resources Research. Vol 37, nº1, 109-117.
- MOPU (1988). « Residuos tóxicos y peligrosos ». Unidades temáticas ambientales. Dirección General de Medio Ambiente del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- N.C. Woo & M.J. Choi (2001). "Arsenic and metal contamination of water resources from mining wastes in Korea". Environmental Geology, 40 (3): 305- 311.
- OJEC (Oficial Journal of the European Communities) (1998). Council Directive 98/83/EEC of 3 November 1998, concernig water quality for human consupcion, OJEC of 5 December 1998; Pp. 32-54.
- Parés, Pou y Terrades (1985). "Ecología d'una ciutat: Barcelona. Colecció descobrir el merdi urbá. V.2. Ajuntament de Barcelona.
- Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza (mayo 1999). Memoria informativa. Texto Refundido. Aprobado definitivamente 13/12/02 (BOA 3/01/03).
- Prontuario de Gestión Medioambiental (EOI), (1996).. ANEXO XIV. Criterios de referencia holandeses para evaluar la contaminación del suelo y del agua subterránea. Pp 743-747.
- Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por la que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE nº45 febrero 2003.
- Temprano González, J., Cervigni, M.G., Suárez López J., Tejero Monzón, J.A.(1996). "Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen". Revista de Obras Públicas nº 3.352.
- Titter, Charles J. and Rinefield, Susan M. (1980). "Natural Background and Pollution Levels of some Heavy Metals in Soils from the Area of Dayton, Ohio". Environmental Geology. Vol 5. nº 2. Pp 73-78.

- Sánchez-Vila, X.; Vázquez-Suñé, E. ; Carrera, J. (1999). "La hidrogeología urbana: gestión de los recursos de aguas subterráneas en las ciudades". Pp: 84-96.
- Sánchez-Vila, X.; Vázquez-Suñé, E. ; Carrera, J. (2004). "Hidrogeología urbana: algunos efectos específicos".
- Santaniello, Robert M. "Patrones y criterios de calidad del agua, para los líquidos residuales industriales". Pp.69-93.
- Smedley, P.L. and Kinniburgh, D.L. (2002). "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters". Applied Geochemistry. 17, 517-568.
- S.G.O.P (1976). "Estudio hidrogeológico de las terrazas de los ríos Ebro y Gállego. Zona de influencia de Zaragoza". Ministerio de Obras Públicas.
- S.G.O.P (1990). "Estudio de los recursos hidráulicos subterráneos de los acuíferos relacionados con la provincia de Zaragoza. Unidad hidrogeológica nº 27. Aluvial del Ebro (Tramo Cortes-Gelsa)". Confederación Hidrográfica del Ebro. 300 pp. y planos.
- Universidad de Zaragoza (1993). "Estudio del corredor industrial aguas debajo de la ciudad de Zaragoza".
- Vázquez-Suñé, E.; Sánchez-Vila, X.; Carrera, J. and Marizza, M. ; Arandes, R.; Gutiérrez (1997). "Rising groundwater levels in Barcelona: Evolution and effects on urban structures". John Chilton et al.(Eds). Proceedings of the XXVII IAH Congress on Groundwater in the Urban Environment. Nottingham.
- Vázquez-Suñé E., Sánchez-Vila, X y Carrera, J. "Gestión de las aguas subterráneas en zonas urbanas. Conceptualización y modelización: aplicación a Barcelona (España)".
- Welch, A.H.; Westjohn, D.B.; Helsel, D.R. and Wanty, R.B. (2000). "Arsenic in Ground Water of the United States: Occurrence and Geochemistry". Ground Water. Vol 38, nº4, 589-604.
- Williams, M. (2000). "Arsenic in minewaters: an empirical database for the tropics". Geoscience and Development. 6, 9-12.

ANEXOS

ANEXO 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DE AGUAS

ANEXO 1*Tabla 1. Resultados analíticos de aguas de la 1ª campaña de campo (octubre 2000)*

| Punto | pH | Conductividad (us) | Tª (°C) | Alcalinidad (ppm) | Fecha |
|--------------|-----------|---------------------------|----------------|--------------------------|--------------|
| 0 | | | | | 2/11/00 |
| 1 | 6,9 | 1.905 | 15,4 | 281 | 25/10/00 |
| 2 | 6,85 | 1.876 | 16,5 | 273 | 25/10/00 |
| 3 | 7,63 | 1.155 | 16,1 | 386 | 27/10/00 |
| 4 | 6,74 | 3.110 | 16,7 | 292 | 26/10/00 |
| 5 | 6,89 | 3.100 | 16,2 | 257 | 25/10/00 |
| 6 | 6,82 | 3.490 | 17 | 290 | 25/10/00 |
| 7 | 7 | 3.120 | 14,4 | | 31/10/00 |
| 8 | 7,15 | 1.854 | 16,8 | | 31/10/00 |
| 9 | 6,86 | 2.690 | 16,9 | 257 | 25/10/00 |
| 10 | 6,99 | 3.300 | 15,9 | | 2/10/00 |
| 11 | 6,94 | 3.300 | 16 | | 2/11/00 |
| 12 | 7,02 | 3,03 | 17,6 | | 31/10/00 |
| 13 | 7,09 | 2,62 | 16,8 | 272 | 26/10/00 |
| 14 | 6,86 | 2.240 | 16 | 238 | 26/10/00 |
| 15 | 7,15 | 2.430 | 16,4 | 235 | 25/10/00 |
| 16 | 6,96 | 2.540 | 16,7 | | 26/10/00 |
| 17 | 7 | 2.700 | 17,6 | | 2/11/00 |
| 18 | 7,32 | 3.050 | 17 | | 31/10/00 |
| 19 | 7,21 | 3.100 | 17,2 | | 31/10/00 |
| 20 | 7,07 | 2.030 | 15,8 | | 31/10/00 |
| 21 | 7,05 | 1.997 | 17,6 | 218 | 26/10/00 |
| 22 | 7,35 | 1.507 | 15,6 | | 31/10/00 |
| 23 | 7,47 | 935 | 15,6 | 150 | 31/10/00 |
| 24 | 7,47 | 1.479 | 16,7 | | 31/10/00 |
| 25 | 7,3 | 994 | 17 | 184 | 31/10/00 |
| 26 | 6,93 | 1.706 | 17,9 | | 3/11/00 |
| 27 | 7,13 | 1.879 | 17,4 | | 2/11/00 |
| 28 | 7,01 | 1.502 | 16,6 | 233 | 30/10/00 |
| 29 | 7,02 | 1.532 | 18,3 | | 3/11/00 |
| 30 | 7,43 | 1.600 | 16,1 | 239 | 30/10/00 |
| 31 | 7,27 | 1,373 | 17 | 173 | 27/10/00 |
| 32 | 7,38 | 1.600 | 16,1 | 239 | 30/10/00 |
| 33 | 7,05 | 1.750 | 17 | 220 | 30/10/00 |
| 34 | 6,87 | 2.620 | 16,4 | 462 | 30/10/00 |
| 35 | 7,01 | 4.400 | 16,4 | | 3/11/00 |
| 36 | 7,05 | 1.729 | 17,7 | | 2/11/00 |
| 37 | 7,29 | 1.878 | 16,6 | 292 | 30/10/00 |
| 38 | 7,01 | 1.747 | 16,1 | 270 | 31/10/00 |
| 39 | 7,12 | 1.703 | 16,3 | 274 | 30/10/00 |
| 40 | 7,42 | 1.538 | 15,4 | 182 | 30/10/00 |
| 41 | 7,35 | 3.050 | 16,4 | 247 | 30/10/00 |
| 42 | 7,8 | 1.140 | 16 | 145 | 30/10/00 |
| 43 | 7,44 | 974 | 15,6 | 159 | 30/10/00 |
| 44 | 7,51 | 1.083 | 15,7 | 176 | 30/10/00 |
| 45 | 7,78 | 1.534 | 16,5 | 258 | 27/10/00 |

Tabla 2. Resultados analíticos de componentes mayoritarios en las aguas de la 1ª campaña de campo (octubre 2000)

| Punto | D.Q.O | Cl | SO4 | HCO3 | NO3 | Na | Mg | Ca | K | pH | µs/cm 20 °C | B | Fe |
|-------|-------|-----|------|------|-----|-----|----|-----|----|-----|-------------|------|-----|
| 1 | 1,1 | 245 | 424 | 448 | 44 | 198 | 40 | 232 | 6 | 7,5 | 1783 | 0,09 | 0 |
| 2 | 1,2 | 296 | 400 | 432 | 34 | 216 | 32 | 230 | 4 | 7,5 | 1770 | 0,09 | 0 |
| 3 | 2,5 | 150 | 5 | 552 | 4 | 191 | 20 | 58 | 31 | 8 | 1053 | 0,13 | 5,8 |
| 4 | 1 | 516 | 868 | 488 | 32 | 329 | 58 | 424 | 5 | 7,4 | 3492 | 0,11 | 0,1 |
| 5 | 1,3 | 552 | 940 | 438 | 29 | 335 | 54 | 428 | 5 | 7,4 | 3382 | 0,11 | 0 |
| 6 | 0,8 | 616 | 1100 | 420 | 43 | 377 | 64 | 468 | 10 | 7,1 | 4272 | 0,15 | 1,9 |
| 7 | 1,3 | 632 | 748 | 415 | 36 | 361 | 44 | 380 | 5 | 7,8 | 3252 | 0,1 | 0,2 |
| 8 | 1,4 | 296 | 420 | 293 | 30 | 209 | 32 | 218 | 9 | 7,3 | 1706 | 0,09 | 2,8 |
| 9 | 1,1 | 396 | 776 | 450 | 32 | 281 | 47 | 412 | 4 | 7,1 | 3212 | 0,07 | 0 |
| 10 | 1 | 484 | 840 | 434 | 24 | 322 | 53 | 400 | 5 | 7,7 | 3482 | 0,12 | 0,2 |
| 11 | 1,3 | 484 | 864 | 478 | 41 | 304 | 55 | 424 | 6 | 7,4 | 3122 | 0,13 | 1,3 |
| 12 | 1,2 | 544 | 768 | 450 | 42 | 347 | 48 | 396 | 12 | 7,6 | 3322 | 0,11 | 1 |
| 13 | 1,2 | 408 | 568 | 454 | 54 | 279 | 52 | 336 | 5 | 7,7 | 2662 | 0,11 | 0,5 |
| 14 | 0,9 | 404 | 504 | 426 | 54 | 237 | 46 | 312 | 4 | 7,5 | 2582 | 0,06 | 0 |
| 15 | 1,2 | 420 | 572 | 290 | 72 | 252 | 56 | 315 | 3 | 7,7 | 2542 | 0,06 | 0,4 |
| 16 | 1,1 | 420 | 584 | 285 | 68 | 259 | 54 | 307 | 3 | 7,4 | 2922 | 0,06 | 0,1 |
| 17 | 1,1 | 380 | 460 | 438 | 56 | 241 | 45 | 304 | 4 | 7,5 | 2362 | 0,07 | 0 |
| 18 | 1,7 | 500 | 1000 | 480 | 68 | 303 | 54 | 468 | 18 | 7,7 | 3432 | 0,41 | 1 |
| 19 | 1,4 | 314 | 708 | 486 | 40 | 321 | 45 | 326 | 9 | 7,6 | 2912 | 0,12 | 0,9 |
| 20 | 1 | 328 | 444 | 406 | 35 | 221 | 39 | 232 | 4 | 7,3 | 1876 | 0,06 | 0 |
| 21 | 1,4 | 356 | 432 | 259 | 10 | 232 | 41 | 216 | 5 | 7,9 | 1835 | 0,06 | 0,1 |
| 22 | 1,1 | 183 | 388 | 254 | 32 | 114 | 30 | 214 | 11 | 7,8 | 1397 | 0,11 | 1 |
| 23 | 3,2 | 166 | 240 | 250 | 28 | 105 | 26 | 163 | 9 | 7,5 | 1208 | 0,09 | 1,1 |
| 24 | 0,5 | 176 | 305 | 260 | 29 | 117 | 28 | 188 | 9 | 7,5 | 1356 | 0,09 | 0,5 |
| 25 | 1,2 | 182 | 300 | 285 | 45 | 116 | 29 | 201 | 10 | 7,6 | 1389 | 0,12 | 0,4 |
| 26 | 1 | 175 | 444 | 384 | 62 | 114 | 41 | 260 | 13 | 7,7 | 1571 | 0,25 | 0,2 |
| 27 | 1 | 227 | 408 | 380 | 64 | 141 | 38 | 236 | 7 | 7,6 | 1705 | 0,13 | 0 |
| 28 | 1 | 179 | 302 | 322 | 55 | 113 | 32 | 215 | 6 | 7,6 | 1403 | 0,12 | 0 |
| 29 | 1 | 181 | 352 | 334 | 36 | 119 | 30 | 218 | 8 | 7,4 | 1421 | 0,09 | 0 |
| 30 | 1,5 | 226 | 376 | 336 | 42 | 131 | 34 | 224 | 11 | 7,8 | 1577 | 0,15 | 0,3 |
| 31 | 1,1 | 178 | 280 | 213 | 37 | 118 | 26 | 165 | 12 | 7,5 | 1320 | 0,1 | 2,6 |
| 32 | 1,5 | 195 | 372 | 344 | 42 | 120 | 32 | 225 | 7 | 7,9 | 1471 | 0,11 | 0 |
| 33 | 1 | 202 | 468 | 251 | 96 | 129 | 35 | 236 | 18 | 7,4 | 1640 | 0,12 | 0 |
| 34 | 1,3 | 364 | 736 | 424 | 60 | 245 | 47 | 404 | 5 | 7,6 | 2982 | 0,12 | 0 |
| 35 | 0,6 | 552 | 1760 | 422 | 40 | 353 | 75 | 788 | 5 | 7,3 | 5192 | 0,12 | 0,3 |
| 36 | 1,5 | 212 | 344 | 386 | 41 | 131 | 32 | 230 | 7 | 7,3 | 1532 | 0,09 | 0 |
| 37 | 1,4 | 224 | 456 | 432 | 76 | 141 | 40 | 308 | 5 | 7,5 | 1818 | 0,09 | 0,5 |
| 38 | 1 | 226 | 380 | 370 | 62 | 142 | 36 | 228 | 5 | 7,4 | 1633 | 0,11 | 0,3 |
| 39 | 1,1 | 214 | 328 | 412 | 80 | 139 | 34 | 232 | 5 | 7,3 | 1575 | 0,11 | 0,3 |
| 40 | 1,2 | 235 | 332 | 216 | 56 | 143 | 39 | 187 | 5 | 7,6 | 1512 | 0,09 | 0 |
| 41 | 1 | 238 | 1590 | 267 | 47 | 142 | 52 | 730 | 4 | 7,6 | 4082 | 0,08 | 0,8 |
| 42 | 1,7 | 110 | 139 | 180 | 15 | 79 | 11 | 105 | 4 | 7,8 | 793 | 0,05 | 0,2 |
| 43 | 1 | 139 | 169 | 198 | 16 | 93 | 19 | 116 | 3 | 7,9 | 936 | 0,06 | 0,2 |
| 44 | 1 | 143 | 202 | 220 | 18 | 92 | 22 | 138 | 3 | 8 | 1030 | 0,06 | 0 |
| 45 | 1,3 | 177 | 412 | 190 | 26 | 115 | 32 | 226 | 7 | 8 | 1438 | 0,08 | 0 |

Tabla 3. Resultados analíticos de componentes mayoritarios en las aguas de la 2ª campaña de campo (marzo 2001)

| Punto | DQO | Cl | SO4 | HCO3 | CO3 | NO3 | Na | Mg | Ca | K | pH | Cond. | R.S. 180° | B | Br |
|-------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|-------|-----------|-------|-------|
| 0 | 1,7 | 73 | 136 | 101 | 0 | 15 | 42 | 12 | 71 | 2 | 7,7 | 587 | 402 | 0,034 | 0,024 |
| 1 | 1,8 | 262 | 516 | 141 | 0 | 50 | 167 | 43 | 180 | 7 | 7,5 | 1700 | 1214 | 0,108 | 0,198 |
| 2 | 1,3 | 213 | 388 | 147 | 0 | 38 | 152 | 31 | 138 | 4 | 7,5 | 1409 | 1046 | 0,082 | 0,138 |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2,2 | 512 | 940 | 277 | 0 | 32 | 349 | 56 | 344 | 5 | 7,6 | 3543 | 2489 | 0,099 | 0,165 |
| 5 | 1,7 | 528 | 1004 | 181 | 0 | 35 | 370 | 60 | 319 | 4 | 7,6 | 3563 | 2567 | 0,109 | 0,21 |
| 6 | 1,5 | 530 | 1020 | 187 | 0 | 43 | 359 | 63 | 336 | 6 | 7,6 | 3593 | 2509 | 0,123 | 0,332 |
| 7 | 1,8 | 502 | 890 | 186 | 0 | 42 | 374 | 48 | 281 | 6 | 7,6 | 3293 | 2324 | 0,114 | 0,164 |
| 8 | 1,3 | 290 | 488 | 149 | 0 | 40 | 179 | 36 | 185 | 8 | 7,8 | 1757 | 1252 | 0,1 | 0,15 |
| 9 | 1,5 | 372 | 1050 | 116 | 0 | 36 | 207 | 58 | 382 | 3 | 7,9 | 3223 | 2264 | 0,084 | 0,159 |
| 10 | 1,5 | 362 | 890 | 230 | 0 | 27 | 217 | 55 | 340 | 4 | 7,8 | 3073 | 2150 | 0,105 | 0,165 |
| 11 | 1,5 | 504 | 1080 | 121 | 0 | 35 | 333 | 62 | 348 | 6 | 7,9 | 3543 | 2514 | 0,148 | 0,204 |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 1,6 | 390 | 674 | 141 | 0 | 50 | 211 | 54 | 256 | 4 | 7,8 | 2683 | 1849 | 0,11 | 0,202 |
| 14 | 1,6 | 330 | 660 | 211 | 0 | 50 | 187 | 52 | 268 | 3 | 8 | 2583 | 1755 | 0,061 | 0,24 |
| 15 | 1,5 | 360 | 720 | 137 | 0 | 68 | 195 | 58 | 272 | 3 | 7,8 | 2603 | 1802 | 0,065 | 0,339 |
| 16 | 0,9 | 366 | 678 | 159 | 0 | 64 | 197 | 58 | 264 | 3 | 7,8 | 2623 | 1814 | 0,062 | 0,342 |
| 17 | 1,9 | 364 | 620 | 163 | 0 | 68 | 198 | 48 | 254 | 8 | 7,8 | 2493 | 1726 | 0,091 | 0,252 |
| 18 | 1,3 | 328 | 890 | 146 | 0 | 47 | 206 | 45 | 318 | 24 | 7,8 | 2903 | 2030 | 0,241 | 0,197 |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1,1 | 306 | 506 | 151 | 0 | 40 | 184 | 43 | 190 | 4 | 7,8 | 2183 | 1514 | 0,073 | 0,182 |
| 21 | 1,2 | 300 | 472 | 144 | 0 | 9 | 186 | 37 | 168 | 6 | 7,9 | 1723 | 1226 | 0,1 | 0,176 |
| 22 | 1,1 | 175 | 348 | 115 | 0 | 34 | 115 | 28 | 132 | 10 | 7,9 | 1203 | 865 | 0,1 | 0,123 |
| 23 | 1,2 | 218 | 728 | 272 | 7 | 124 | 134 | 42 | 336 | 13 | 8,4 | 1670 | 1213 | 0,112 | 0,161 |
| 24 | 1,4 | 182 | 374 | 220 | 7 | 43 | 120 | 31 | 173 | 10 | 8,4 | 1342 | 976 | 0,099 | 0,13 |
| 25 | 1,7 | 188 | 380 | 155 | 0 | 44 | 121 | 33 | 150 | 9 | 7,8 | 1378 | 974 | 0,115 | 0,187 |
| 26 | 2 | 186 | 406 | 186 | 0 | 54 | 119 | 36 | 170 | 9 | 7,9 | 1417 | 1027 | 0,165 | 0,174 |
| 27 | 1,8 | 229 | 462 | 158 | 0 | 72 | 149 | 40 | 177 | 7 | 7,8 | 1549 | 1122 | 0,134 | 0,213 |
| 28 | 2,1 | 177 | 370 | 140 | 0 | 50 | 114 | 33 | 143 | 6 | 7,8 | 1274 | 914 | 0,11 | 0,142 |
| 29 | 1 | 186 | 370 | 142 | 0 | 38 | 123 | 30 | 142 | 8 | 7,9 | 1288 | 939 | 0,094 | 0,158 |
| 30 | 1,7 | 175 | 378 | 168 | 0 | 42 | 119 | 30 | 150 | 9 | 7,9 | 1303 | 941 | 0,116 | 0,137 |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 1,6 | 193 | 382 | 130 | 0 | 37 | 124 | 32 | 140 | 7 | 7,8 | 1298 | 936 | 0,106 | 0,155 |
| 33 | 1,3 | 202 | 444 | 202 | 7 | 50 | 131 | 33 | 190 | 11 | 8,4 | 1487 | 1057 | 0,123 | 0,179 |
| 34 | 1,1 | 328 | 930 | 176 | 0 | 54 | 200 | 52 | 350 | 5 | 7,7 | 2943 | 2099 | 0,123 | 0,223 |
| 35 | 1,2 | 556 | 1830 | 141 | 0 | 37 | 384 | 75 | 614 | 5 | 7,7 | 4973 | 3576 | 0,053 | 0,255 |
| 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | 0,7 | 227 | 504 | 111 | 0 | 80 | 146 | 40 | 182 | 4 | 7,7 | 1551 | 1129 | 0,1 | 0,17 |
| 38 | 1,1 | 221 | 398 | 159 | 0 | 58 | 142 | 36 | 178 | 4 | 7,7 | 1449 | 1011 | 0,124 | 0,199 |
| 39 | 0,8 | 218 | 360 | 213 | 0 | 62 | 140 | 34 | 168 | 4 | 7,5 | 1496 | 1051 | 0,122 | 0,195 |
| 40 | 0,9 | 209 | 324 | 188 | 0 | 68 | 139 | 35 | 139 | 4 | 7,7 | 1391 | 998 | 0,101 | 0,164 |
| 41 | 1,2 | 225 | 1560 | 129 | 0 | 36 | 149 | 54 | 581 | 3 | 7,7 | 3863 | 2783 | 0,045 | 0,205 |
| 42 | 1,2 | 154 | 190 | 116 | 0 | 16 | 106 | 17 | 84 | 3 | 8 | 903 | 634 | 0,064 | 0,089 |
| 43 | 1 | 164 | 188 | 149 | 0 | 16 | 104 | 19 | 100 | 3 | 7,9 | 966 | 678 | 0,065 | 0,094 |
| 44 | 1,2 | 156 | 266 | 108 | 0 | 17 | 107 | 24 | 93 | 3 | 8 | 950 | 667 | 0,05 | 0,102 |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO 2
FOTOS PUNTOS DE CONTROL

ANEXO 2. Fotos de los puntos de la red de control urbana.



Punto n° 1

UTM: X-675250. Y-4615475

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **ACTUR**

Uso: riego



Punto n: 2

UTM: X-675650. Y-4615420

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Zona verde Actur**

Uso: riego



Punto n° 4

UTM: X-676375. Y-4615750

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Actur-área 13 norte**

Uso: riego



Punto n° 5

UTM: X-676475. Y-4615500

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Actur-área 13 sur**

Uso: riego



Punto n° 10

UTM: X-676700. Y-4615800

Naturaleza: pozo

Toponimia: **Piscinas de la CAI**

Uso: riego y baño



Punto n° 11

UTM: X-677200. Y-4615250

Naturaleza: pozo

Toponimia: P. B. Ebroviejo

Uso: riego y baño



Punto n° 13

UTM: X-677500. Y-4616125

Naturaleza: pozo

Toponimia: **Fundición Rico E.**

Uso: industria



Punto n° 14

UTM: X-678600. Y-4617000

Naturaleza: pozo

Toponimia: **Restaurante María
Gil Fustero**

Uso: riego y refrigeración



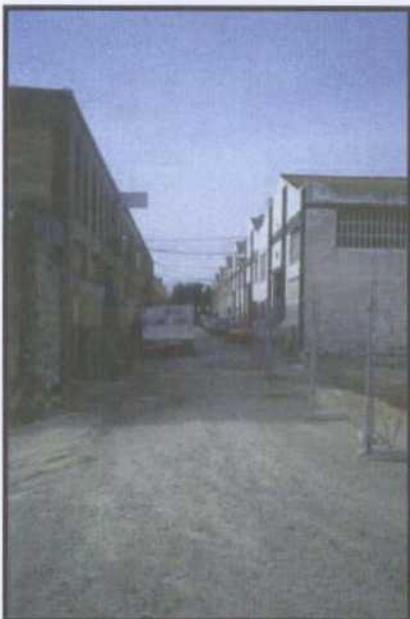
Punto n° 20

UTM: X-678300. Y-4614140

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque Oriente**

Uso: riego



Punto n° 21

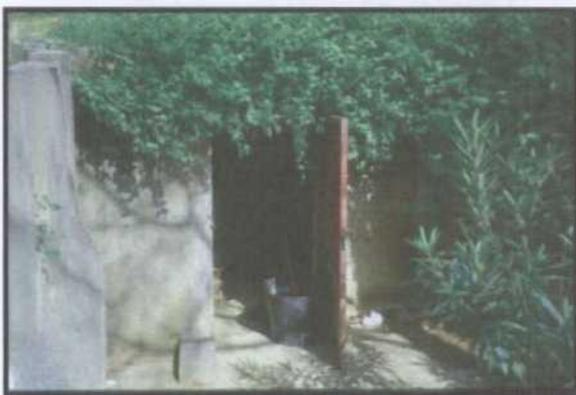
UTM: X-679140. Y-4615850

Naturaleza: pozo

Toponimia: **Cromados Cincados**

Torremocha

Uso: industria



Punto n° 22

UTM: X-678050. Y-4613380

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque Puente de la Unión**

Uso: riego



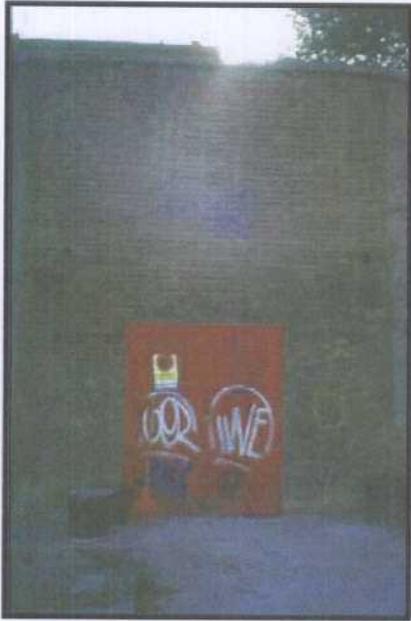
Punto n° 23

UTM: X-677500. Y-4613340

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque Bruil**

Uso: riego



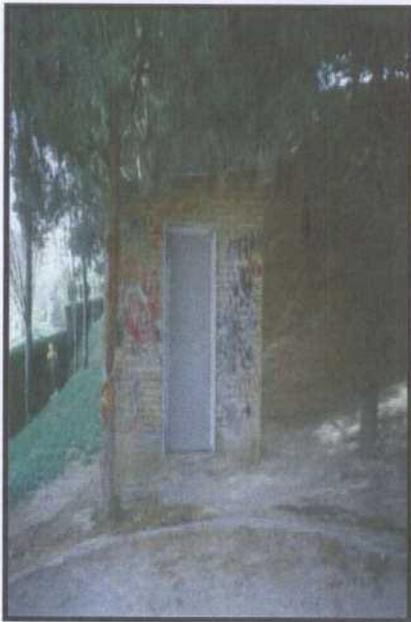
Punto n° 32

UTM: X-676770. Y-4612350

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque Miraflores**

Uso: riego



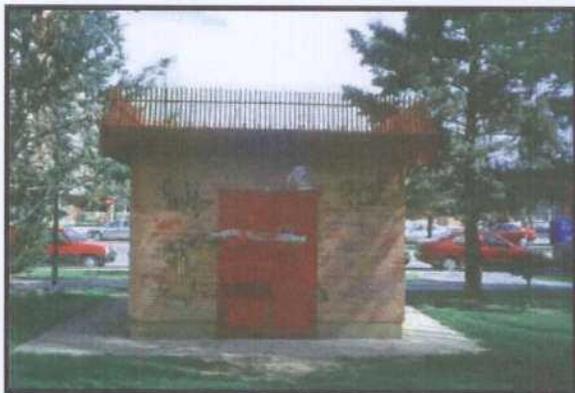
Punto n° 33

UTM: X-675200. Y-4614250

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque de la Aljafería**

Uso: riego



Punto n° 34

UTM: X-674600. Y-4614600

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Jardines de Lisboa y
Atenas - Puertas Sancho**

Uso: riego



Punto n° 40

UTM: X-672230. Y-4612900

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque Oliver**

Uso: riego



Punto n° 41

UTM: X-672050. Y-4612390

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque Al Campo**

Valdefierro

Uso: riego



Punto n° 42

UTM: X-674125. Y-4612875

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Parque Delicias**

Uso: riego



Punto n° 43

UTM: X-674300. Y-4612550

Naturaleza: sondeo

Toponimia: **Jardines de**

Avempace y Avicebron

Uso: riego

ANEXO 3
ANÁLISIS ELEMENTOS TRAZA EN AGUAS

ANEXO 3.

Tabla 1. Contenido de elementos traza (μ/L) en las aguas. Campaña octubre 2000

| Nº | Hg | Ag | Al | As | Ba | Be | Cd | Co | Cr | Cu | Mn | Mo | Ni | Pb | Sb | Se | Th | Tl | U | V | Zn |
|----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|-----|------|
| 1 | 0 | 0 | 10,4 | 2 | 23 | 0 | 1,2 | 0,77 | 3,3 | 43,8 | 4,9 | 1,4 | 4,5 | 2,7 | 0 | 5,5 | 0 | 0 | 0,99 | 0 | 71,4 |
| 2 | 0 | 0 | 5,6 | 2 | 23 | 0 | 0 | 0,75 | 3,7 | 47 | 4,9 | 1,2 | 4,5 | 0,89 | 0 | 5,9 | 0 | 0 | 0,92 | 0 | 67,2 |
| 3 | 0 | 0 | 94,1 | 1,7 | 62 | 0 | 0 | 0,71 | 8 | 45,7 | 90,4 | 0,9 | 34,4 | 1,9 | 0 | 1,3 | 0 | 0 | 0,23 | 0 | 16,2 |
| 4 | 0 | 0 | 7,1 | 4,8 | 8 | 0 | 0 | 1,6 | 2,5 | 56,2 | 6,6 | 2,1 | 4,6 | 0,97 | 0 | 17,4 | 0 | 0 | 2,6 | 0 | 115 |
| 5 | 0 | 0,12 | 34,5 | 6,2 | 10 | 0,91 | 0 | 2 | 3,9 | 60,3 | 7,1 | 2,1 | 4,6 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 3 | 0 | 95,9 |
| 6 | 0 | 0 | 270 | 7,6 | 49 | 0 | 0 | 2,4 | 16,3 | 75,9 | 44,9 | 2 | 22,1 | 1,4 | 0 | 28,4 | 0 | 0 | 3,3 | 0 | 39 |
| 7 | 0 | 0 | 16,6 | 2,7 | 33 | 0 | 0 | 0,8 | 3,9 | 96,6 | 7,9 | 1,3 | 5,1 | 3,1 | 0 | 9,3 | 0 | 0 | 0,96 | 0 | 140 |
| 8 | 0 | 0 | 10 | 2,8 | 20 | 0 | 0 | 0,85 | 13 | 50,9 | 37,8 | 1,5 | 13,6 | 2,8 | 0 | 5,7 | 0 | 0 | 1,2 | 0 | 22,5 |
| 9 | 0 | 0 | 5,7 | 4,9 | 18 | 0 | 0 | 1,8 | 15 | 77,7 | 8 | 2,2 | 9,5 | 0,83 | 0 | 17,6 | 0 | 0 | 3,6 | 2,7 | 106 |
| 10 | 0 | 0,11 | 6,6 | 5,6 | 10 | 0,74 | 0 | 1,9 | 3,8 | 56,5 | 9,8 | 2,2 | 4,8 | 0 | 0 | 21,2 | 0 | 0 | 3,1 | 0 | 56,1 |
| 11 | 0 | 0 | 11,9 | 4,8 | 42 | 0 | 0 | 1,8 | 8,2 | 83,7 | 19 | 1,7 | 13,8 | 1,6 | 0 | 17,3 | 0 | 0 | 3,8 | 2,8 | 69,5 |
| 12 | 0 | 0 | 8,6 | 2,7 | 45 | 0 | 0 | 0,79 | 6,6 | 58,7 | 15,5 | 2,1 | 6,7 | 1,1 | 0 | 8,2 | 0 | 0 | 0,88 | 0 | 39,4 |
| 13 | 0 | 0,1 | 5,9 | 4,6 | 19 | 0,53 | 0 | 1,6 | 11,5 | 56 | 16,5 | 2,7 | 8,8 | 7,2 | 0 | 17,1 | 0 | 0 | 2,5 | 0 | 545 |
| 14 | 0 | 0 | 4 | 2,7 | 47 | 0,75 | 0 | 0,82 | 9,3 | 61,7 | 7,1 | 1,3 | 5,6 | 0,86 | 0 | 9,8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 33,6 |
| 15 | 0 | 0 | 5,4 | 2,6 | 60 | 0 | 0 | 0,8 | 3,2 | 58,3 | 12,2 | 1,4 | 5,5 | 0,55 | 0 | 8 | 0 | 0 | 1,12 | 0 | 34,1 |
| 16 | 0 | 0 | 3,9 | 2,6 | 49 | 0,56 | 0 | 0,78 | 8,6 | 78,7 | 8 | 1,7 | 5,7 | 0,97 | 0 | 10,3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 50,8 |
| 17 | 0 | 0 | 19,9 | 2,5 | 31 | 0,58 | 0 | 0,8 | 4,4 | 62,4 | 9,4 | 1,6 | 7,2 | 2,2 | 0 | 8,7 | 0 | 0 | 0,87 | 0 | 116 |
| 18 | 5,89 | 0,17 | 19,6 | 6,2 | 18 | 0,88 | 0 | 2,5 | 5,6 | 78,8 | 106 | 4,4 | 6,9 | 0,76 | 1,2 | 21,4 | 0 | 0 | 1,6 | 0 | 34,1 |
| 19 | 0 | 0,11 | 10,9 | 4,8 | 12 | 0,57 | 0 | 1,7 | 4 | 54,9 | 18,3 | 1,9 | 6,1 | 1,6 | 0 | 17,2 | 0 | 0 | 1,6 | 0 | 36,1 |
| 20 | 0 | 0 | 4,2 | 2,5 | 60 | 0 | 0 | 0,8 | 9,5 | 52,8 | 6,1 | 1,2 | 5,6 | 1,6 | 0 | 6,7 | 0 | 0 | 1,1 | 3 | 17,9 |
| 21 | 0 | 0 | 19 | 2,5 | 51 | 0,81 | 0 | 0,83 | 3,8 | 56,1 | 13,9 | 1,2 | 7 | 1,8 | 0 | 8,4 | 0 | 0 | 0,83 | 0 | 113 |
| 22 | 4,67 | 0 | 78,3 | 2,2 | 25 | 0 | 0 | 0,78 | 3 | 30,1 | 14,2 | 4,4 | 7,3 | 2,1 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 0,97 | 0 | 33,4 |
| 23 | 0 | 0 | 262 | 3 | 51 | 0 | 0 | 1,1 | 9 | 34,3 | 56,6 | 2,3 | 12,8 | 11,2 | 1,2 | 2,5 | 0 | 0 | 1,2 | 2,8 | 3063 |
| 24 | 0 | 0 | 6,9 | 1,9 | 20 | 0 | 0 | 0,68 | 8,4 | 28,6 | 9,9 | 4 | 6,3 | 1,3 | 0 | 3,9 | 0 | 0 | 1 | 1,7 | 71 |
| 25 | 0 | 0 | 7,2 | 1,7 | 24 | 0 | 0 | 0,76 | 3,3 | 28,1 | 10,2 | 3,6 | 5,8 | 2,5 | 0 | 4,7 | 0 | 0 | 1,1 | 0 | 22,4 |
| 26 | 0,55 | 0 | 6,1 | 1,6 | 27 | 0,69 | 0 | 0,74 | 3,8 | 49,2 | 10,4 | 4,5 | 7,8 | 8,8 | 1,6 | 4,8 | 0 | 0 | 1,2 | 0 | 161 |
| 27 | 0 | 0 | 4,7 | 1,9 | 29 | 0 | 0 | 0,75 | 15,8 | 37,6 | 4,9 | 2,6 | 4,9 | 1,3 | 0,57 | 3,5 | 0 | 0 | 1,8 | 2,7 | 41,7 |
| 28 | 0 | 0 | 3,4 | 1,6 | 34 | 0 | 0,5 | 0,66 | 6,9 | 26,7 | 4,3 | 1,6 | 4,4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,9 | 3,2 | 37,5 |
| 29 | 0 | 0 | 4,8 | 1,9 | 20 | 0 | 0 | 0,79 | 10,1 | 54,7 | 6 | 4,2 | 5,2 | 1,3 | 0 | 4,4 | 0 | 0 | 1,2 | 2,8 | 52,7 |
| 30 | 0 | 0 | 8,3 | 2,4 | 54 | 0 | 0 | 0,78 | 4,8 | 34,2 | 10,3 | 2,3 | 5,8 | 0,56 | 0,66 | 5,2 | 0 | 0 | 0,65 | 0 | 26,6 |
| 31 | 0 | 0 | 12,9 | 2,2 | 54 | 0 | 0,68 | 0,81 | 12 | 34,5 | 15,4 | 7,7 | 1703 | 26 | 0 | 2,9 | 0 | 0 | 1,2 | 0 | 484 |
| 32 | 0 | 0 | 15,2 | 1,6 | 24 | 0 | 1,6 | 0,75 | 5,8 | 37,4 | 5,9 | 4 | 5,2 | 2,1 | 0 | 4,1 | 0 | 0 | 1,1 | 0 | 27 |
| 33 | 0 | 0 | 9,8 | 1,8 | 18 | 0,75 | 0 | 0,7 | 3,6 | 33 | 7 | 4,5 | 4,8 | 0 | 0 | 5,3 | 0 | 0 | 1,8 | 0 | 79,6 |
| 34 | 0,58 | 0,15 | 19,7 | 4,4 | 10 | 0,77 | 2,8 | 1,9 | 4,5 | 60,3 | 10 | 7,4 | 5 | 3,3 | 0 | 16,5 | 0 | 0 | 4,1 | 0 | 57,4 |
| 35 | 0 | 0,13 | 11,7 | 9,7 | 16 | 1,1 | 0 | 3,6 | 16 | 72,4 | 14,6 | 13,6 | 102 | 1,9 | 0,82 | 38,2 | 0 | 0 | 3,8 | 0 | 1950 |
| 36 | 0 | 0,16 | 9,3 | 2 | 69 | 0 | 0 | 0,67 | 20,7 | 54,1 | 6,7 | 1,6 | 12 | 3,8 | 0 | 2,9 | 0 | 0 | 2,5 | 1,7 | 195 |
| 37 | 0 | 0 | 29,5 | 2,1 | 29 | 0 | 0 | 0,81 | 6,5 | 40,1 | 18,2 | 3,4 | 6,2 | 1,1 | 0 | 4,2 | 0,26 | 0 | 3 | 0 | 25,2 |
| 38 | 0 | 0 | 4,5 | 1,8 | 27 | 0 | 0 | 0,69 | 7,9 | 41,1 | 9,6 | 1,8 | 5,3 | 0,98 | 0 | 3,3 | 0 | 0 | 3 | 1,9 | 32,9 |
| 39 | 0 | 0 | 5,6 | 1,9 | 25 | 0 | 0 | 0,68 | 7,7 | 35,7 | 8,1 | 2 | 5,3 | 1,2 | 0 | 3,2 | 0 | 0 | 3,3 | 2,1 | 26,1 |
| 40 | 5,18 | 0 | 4,8 | 1,9 | 19 | 0 | 0 | 0,56 | 6,2 | 46,7 | 5,2 | 3,1 | 4,4 | 1,4 | 0 | 4,1 | 0 | 0 | 4,3 | 1,6 | 163 |
| 41 | 0 | 0,1 | 214 | 6 | 25,4 | 0,81 | 0 | 3,8 | 15,6 | 47 | 27,1 | 21,5 | 24,7 | 1,2 | 1,4 | 20,2 | 0,23 | 0 | 4,3 | 1,9 | 123 |
| 42 | 0 | 0 | 77,4 | 1,4 | 38 | 0 | 0 | 0,52 | 6,5 | 21,3 | 12,4 | 1,2 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,55 | 3,7 | 32 |
| 43 | 0 | 0 | 5,3 | 1,6 | 11 | 0 | 0 | 0,53 | 3,4 | 26,3 | 6,9 | 6,4 | 4,5 | 0,82 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 1,5 | 0 | 78 |
| 44 | 0 | 0 | 3 | 1,4 | 19 | 0 | 0 | 0,5 | 6,6 | 19,5 | 5,3 | 3,5 | 3,8 | 0 | 0 | 3,3 | 0 | 0 | 1,2 | 0 | 8,9 |
| 45 | 0 | 0 | 10,9 | 1,7 | 26 | 0 | 0 | 0,75 | 7,4 | 29,6 | 5,4 | 3,8 | 5 | 1,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 3 | 74,6 |

Tabla 2. Contenido de elementos traza (μL) en las aguas. Campaña marzo 2001

| Nº | Hg | Ag | Al | As | Ba | Be | Cd | Co | Cr | Cu | Mn | Mo | Ni | Pb | Sb | Se | Th | Tl | U | V | Zn | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| 1 | <0,5 | <0,1 | 14,4 | <1 | 17,5 | <0,5 | <0,5 | 0,89 | 6,5 | 5,2 | 1 | 32,4 | 0,9 | <0,5 | <0,5 | <2,5 | 0,3 | <0,3 | 4,2 | <0,5 | 247 | |
| 2 | <0,5 | <0,1 | 3,4 | <1 | 16,2 | <0,5 | <0,5 | 0,83 | 5,6 | 2,8 | 2,5 | 31,3 | 2,1 | <0,5 | <0,5 | <2,5 | 0,2 | <0,3 | 3,5 | <0,5 | 469 | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | <5 | <1 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 5,2 | <5 | <5 | |
| 5 | <5 | <1 | <5 | <10 | 8,7 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 6,2 | <5 | 60,9 | |
| 6 | <5 | <1 | <5 | <10 | 10,2 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | <5 | 6,8 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 6,2 | <5 | <5 | |
| 7 | <5 | <1 | <5 | <10 | 7,7 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | 5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 4,3 | <5 | 170 | |
| 8 | <0,5 | <0,1 | 2,3 | <1 | 16 | <0,5 | <0,5 | 0,92 | 9,9 | 5,5 | 1 | 33,1 | 3,2 | <0,5 | <0,5 | 6,9 | <0,2 | <0,3 | 5,3 | <0,5 | 61,9 | |
| 9 | <5 | 1,6 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 7,6 | <5 | 191 | |
| 10 | <5 | <1 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 5,9 | <5 | 210 | |
| 11 | <5 | <1 | <5 | <10 | 14,9 | <5 | 17,1 | <5 | <10 | <5 | 6,3 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 7,9 | <5 | <5 | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | <5 | <1 | <5 | <10 | 16 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | 14,4 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 5 | <5 | 535 | |
| 14 | <5 | <1 | <5 | <10 | 21,7 | 5 | <5 | <5 | <10 | 14,3 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 30,2 | 5,2 | <3 | 3,9 | <5 | 360 | |
| 15 | <5 | <1 | <5 | 11,8 | 27,7 | 5,4 | <5 | <5 | <10 | <5 | 51 | <5 | <5 | <5 | <5 | 25 | 2,5 | <3 | 4,4 | <5 | 17,5 | |
| 16 | <5 | <1 | <5 | <10 | 22,1 | <5 | <5 | <5 | <10 | 32,8 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 4,5 | <5 | 206 | |
| 17 | <5 | <1 | <5 | <10 | 9,7 | 1,3 | <5 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 3,2 | <5 | 13,7 | |
| 18 | <5 | <1 | <5 | <10 | 12,3 | <5 | 91,5 | <5 | <10 | <5 | 51,6 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 3,2 | <5 | 115 | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | <5 | <1 | <5 | 11,5 | 28,7 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | 10,4 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 2,7 | <5 | <5 | |
| 21 | <0,5 | <0,1 | 2,2 | <1 | 52,9 | <0,5 | <0,5 | 0,93 | 15,2 | 2,8 | 17 | 29,4 | 7,1 | <0,5 | <0,5 | 3,8 | <0,2 | <0,3 | 3,5 | <0,5 | 229 | |
| 22 | <0,5 | <0,1 | 34 | <1 | 19 | <0,5 | <0,5 | 0,7 | 6,4 | 5,4 | 5,1 | 32 | 0,8 | <0,5 | <0,5 | <2,5 | <0,2 | <0,3 | 3 | <0,5 | 51,8 | |
| 23 | <0,5 | <0,1 | 59,3 | <1 | 46,8 | <0,5 | <0,5 | 1 | 5,1 | 7,1 | 28 | 34,7 | 2,8 | <0,5 | <0,5 | <2,5 | <0,2 | <0,3 | 4,2 | <0,5 | 1340 | |
| 24 | <0,5 | <0,1 | 810 | <1 | 20,4 | <0,5 | 0,7 | 3,3 | 61,1 | 12,8 | 42,4 | 33 | 39,5 | 10,3 | 0,56 | <2,5 | 0,49 | <0,3 | 13,9 | 17,9 | 219 | |
| 25 | <0,5 | <0,1 | <0,5 | <1 | 17,4 | <0,5 | <0,5 | 0,77 | 6,1 | 2,5 | 0,58 | 33,7 | 0,54 | <0,5 | <0,5 | <2,5 | <0,2 | <0,3 | 4,5 | <0,5 | 150 | |
| 26 | <0,5 | <0,1 | <0,5 | <1 | 24,2 | <0,5 | <0,5 | 0,8 | 3,8 | 10,2 | 0,72 | 39,9 | 2,1 | 0,95 | 0,77 | <2,5 | <0,2 | <0,3 | 6,3 | <0,5 | 197 | |
| 27 | 1,5 | 0,2 | 95 | 7,9 | 27,9 | 3,9 | 4,5 | 1,5 | 10,1 | 3,2 | 4,5 | 32,8 | 8,5 | <0,5 | 0,53 | 26,9 | 2 | <0,3 | 7,2 | <0,5 | 14,9 | |
| 28 | 1,2 | 0,15 | 7,1 | 7 | 30,6 | 3,1 | 10,7 | 1,1 | 6,6 | 13 | 1,6 | 29,3 | 8,4 | <0,5 | <0,5 | 19 | 0,42 | <0,3 | 8,7 | <0,5 | 240 | |
| 29 | 1,2 | 0,18 | 0,61 | 3,6 | 16,1 | 3 | 0,51 | 1,2 | 7,2 | 8,5 | 1,6 | 32,5 | 8,8 | <0,5 | 0,55 | 18,4 | 0,37 | <0,3 | 4,7 | <0,5 | 16,4 | |
| 30 | 0,98 | 0,12 | 3,5 | 5,5 | 31,8 | 2,7 | <0,5 | 1 | 7,8 | 3,5 | 1,4 | 30,3 | 5,6 | <0,5 | 0,64 | 14,7 | 0,27 | <0,3 | 3,2 | <0,5 | 42,3 | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 0,69 | 0,12 | 1191 | 14,5 | 29,4 | 1,7 | <0,5 | 4,8 | 14,5 | 30,2 | 90 | 34,3 | 26,4 | 10,2 | 0,72 | 15,6 | 1,5 | <0,3 | 5,5 | 2,2 | 177 | |
| 33 | 0,62 | 0,1 | 39,9 | 8,9 | 13,5 | 1,7 | 3,5 | 1,3 | 9,2 | 9,6 | 6,1 | 35,7 | 7 | <0,5 | <0,5 | 15,1 | 0,29 | <0,3 | 10 | <0,5 | 1592 | |
| 34 | <5 | <1 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <10 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <25 | <2 | <3 | 7,8 | <5 | <5 | |
| 35 | <5 | <1 | <5 | 13,3 | <5 | <5 | 53 | <5 | <10 | <5 | 6,3 | 405 | <5 | <5 | <5 | 27,4 | <2 | <3 | 12,6 | <5 | 16,9 | |
| 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | 0,88 | 0,14 | 730 | 13,1 | 40,2 | 1,9 | <0,5 | 3,1 | 10,8 | 6,8 | 119 | 36,4 | 15 | 2,27 | <0,5 | 19,3 | 0,87 | <0,3 | 16,8 | <0,5 | 58,6 | |
| 38 | 0,94 | 0,12 | 1,2 | 6,2 | 24,8 | 2,3 | <0,5 | 1,3 | 7,3 | 99,4 | 5,3 | 33,6 | 9,8 | <0,5 | <0,5 | 17,1 | 0,25 | <0,3 | 13,5 | <0,5 | 732 | |
| 39 | 0,8 | <0,1 | 31,7 | 5,6 | 20,3 | 0,95 | 16,8 | 1,3 | 8,1 | 2,9 | 1,4 | 34,5 | 5,1 | <0,5 | <0,5 | 13,2 | 0,2 | <0,3 | 14,2 | <0,5 | 261 | |
| 40 | <0,5 | <0,1 | 2,7 | <1 | 16,5 | <0,5 | <0,5 | 1,2 | 4,4 | 2,8 | 1 | 31,6 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 5,6 | 1,2 | <0,3 | 13,4 | <0,5 | 71,8 | |
| 41 | <5 | <1 | 3581 | 20,6 | 30,3 | <5 | 138 | 15,8 | 33,4 | 23,5 | 347 | 11,2 | 100 | <5 | <5 | <25 | 3,9 | <3 | 13,3 | <5 | 3032 | |
| 42 | <0,5 | <0,1 | 0,88 | <1 | 10,8 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 6 | 9 | 0,91 | 20,9 | 4,6 | <0,5 | <0,5 | <2,5 | 0,23 | <0,3 | 5,1 | <0,5 | 84 | |
| 43 | <0,5 | <0,1 | 1,4 | <1 | 8 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 6,9 | 1,4 | 5,1 | 20,9 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <2,5 | 0,2 | <0,3 | 4,1 | <0,5 | 81,9 | |
| 44 | <0,5 | <0,1 | 100 | <1 | 14,2 | <0,5 | <0,5 | 1,6 | 5,5 | 23,3 | 55,3 | 24,3 | 8,1 | 3,2 | <0,5 | <2,5 | 0,26 | <0,3 | 4 | 0,74 | 218 | |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO 4
RESULTADOS ANALÍTICOS DE SUELOS

ANEXO 4.

Tabla 1. Resultados analíticos de muestras de suelos

| Punto | Ag (µg/g) | Al (%) | As (µg/g) | Ba (µg/g) | Be (µg/g) | Ca (%) | Cd (µg/g) | Ce (µg/g) | Co (µg/g) | Cr (µg/g) | Cu (µg/g) | Fe (%) | K (%) |
|-------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|-------|
| 1 | 0 | 4.86 | 0 | 338 | 0 | 13.24 | 0 | 31 | 8 | 78 | 49 | 2.44 | 1.68 |
| 2 | 0 | 1.07 | 0 | 112 | 0 | 8.89 | 0 | 10 | 3 | 157 | 10 | 0.71 | 0.48 |
| 3 | 0 | 3.86 | 0 | 247 | 0 | 14.77 | 0 | 27 | 7 | 98 | 38 | 1.96 | 1.20 |
| 4 | 0 | 3.69 | 0 | 231 | 0 | 15.47 | 0 | 25 | 7 | 99 | 38 | 2.03 | 1.16 |
| 5 | 0 | 3.72 | 0 | 191 | 0 | 18.67 | 0 | 23 | 6 | 81 | 26 | 1.77 | 1.17 |
| 6 | 0 | 4.21 | 0 | 217 | 0 | 15.34 | 0 | 26 | 7 | 104 | 26 | 2.06 | 1.35 |
| 7 | 0 | 4.28 | 0 | 253 | 0 | 13.95 | 0 | 28 | 7 | 105 | 20 | 2.12 | 1.41 |
| 8 | 0 | 4.09 | 0 | 196 | 0 | 16.26 | 0 | 25 | 7 | 79 | 28 | 2.21 | 1.20 |
| 9 | 0 | 3.95 | 0 | 219 | 0 | 13.80 | 0 | 25 | 6 | 109 | 29 | 2.04 | 1.31 |
| 10 | 0 | 3.74 | 0 | 257 | 0 | 12.15 | 0 | 30 | 7 | 109 | 33 | 1.91 | 1.26 |
| 11 | 0 | 3.19 | 0 | 311 | 0 | 11.64 | 0 | 27 | 6 | 108 | 48 | 1.73 | 1.11 |
| 12 | 0 | 4.05 | 0 | 292 | 0 | 12.26 | 0 | 34 | 8 | 100 | 32 | 2.02 | 1.44 |
| 13 | 0 | 4.76 | 0 | 222 | 0 | 14.28 | 0 | 34 | 8 | 97 | 30 | 2.37 | 1.52 |
| 14 | 0 | 2.31 | 0 | 210 | 0 | 16.83 | 0 | 22 | 4 | 103 | 58 | 1.12 | 0.88 |
| 15 | 0 | 3.35 | 0 | 211 | 0 | 17.67 | 0 | 27 | 6 | 81 | 15 | 1.63 | 1.09 |
| 16 | 0 | 3.04 | 0 | 180 | 0 | 19.67 | 0 | 20 | 6 | 88 | 21 | 1.61 | 0.96 |
| 17 | 0 | 3.45 | 0 | 196 | 0 | 17.25 | 0 | 23 | 6 | 90 | 31 | 1.69 | 1.12 |
| 18 | 0 | 2.24 | 0 | 190 | 0 | 21.57 | 0 | 18 | 4 | 95 | 11 | 1.16 | 0.79 |
| 19 | 0 | 1.07 | 0 | 114 | 0 | 99.99 | 0 | 8 | 3 | 64 | 7 | 0.50 | 0.41 |
| 20 | 0 | 2.96 | 0 | 185 | 0 | 19.38 | 0 | 20 | 5 | 88 | 12 | 1.42 | 0.01 |
| 21 | 0 | 3.37 | 0 | 272 | 0 | 10.95 | 0 | 30 | 6 | 104 | 28 | 1.91 | 1.17 |
| 22 | 0 | 4.13 | 0 | 336 | 0 | 16.43 | 0 | 31 | 7 | 81 | 17 | 1.91 | 1.44 |
| 23 | 0 | 3.53 | 0 | 177 | 0 | 18.36 | 0 | 27 | 6 | 69 | 12 | 1.66 | 1.14 |
| 24 | 0 | 2.90 | 0 | 177 | 0 | 13.73 | 0 | 27 | 6 | 104 | 12 | 1.34 | 1.05 |
| 25 | 0 | 4.05 | 0 | 250 | 0 | 13.49 | 0 | 30 | 8 | 107 | 29 | 2.02 | 1.42 |
| 26 | 0 | 3.69 | 0 | 251 | 0 | 13.72 | 0 | 29 | 7 | 95 | 24 | 1.92 | 1.25 |
| 27 | 0 | 4.70 | 0 | 226 | 0 | 15.69 | 0 | 29 | 8 | 69 | 17 | 2.26 | 1.54 |
| 28 | 0 | 5.13 | 0 | 240 | 0 | 13.58 | 0 | 31 | 8 | 86 | 42 | 2.79 | 1.59 |
| 29 | 0 | 4.07 | 0 | 195 | 0 | 16.19 | 0 | 29 | 7 | 80 | 24 | 2.14 | 1.23 |
| 30 | 4 | 3.04 | 0 | 399 | 0 | 15.82 | 0 | 22 | 8 | 151 | 304 | 2.41 | 1.09 |
| 31 | 114 | 1.71 | 0 | 755 | 2 | 7.76 | 12 | 6 | 35 | 960 | 2170 | 34.60 | 0.31 |
| 32 | 0 | 3.98 | 0 | 182 | 0 | 14.18 | 0 | 26 | 6 | 127 | 40 | 1.84 | 1.08 |
| 33 | 4 | 3.43 | 0 | 225 | 0 | 13.87 | 0 | 33 | 6 | 94 | 17 | 1.73 | 1.33 |
| 34 | 0 | 3.55 | 0 | 217 | 0 | 15.34 | 0 | 28 | 7 | 93 | 29 | 2.00 | 1.24 |
| 35 | 0 | 2.39 | 0 | 327 | 0 | 13.01 | 0 | 22 | 6 | 150 | 42 | 1.57 | 0.86 |
| 36 | 0 | 3.09 | 0 | 239 | 0 | 18.96 | 0 | 21 | 5 | 58 | 16 | 1.35 | 1.24 |
| 37 | 0 | 4.18 | 0 | 266 | 0 | 13.02 | 0 | 31 | 7 | 81 | 37 | 2.02 | 1.53 |
| 38 | 0 | 4.40 | 0 | 294 | 0 | 12.69 | 0 | 36 | 7 | 90 | 20 | 2.03 | 1.72 |
| 39 | 0 | 3.29 | 30 | 247 | 0 | 15.69 | 0 | 26 | 6 | 95 | 26 | 1.58 | 1.20 |
| 40 | 0 | 3.35 | 0 | 276 | 0 | 13.28 | 0 | 31 | 7 | 110 | 32 | 1.83 | 1.18 |

Tabla 2. Resultados analíticos de muestras de suelos

| Punto | La (µg/g) | Mg (%) | Mn (µg/g) | Mo (µg/g) | Na (%) | Ni (µg/g) | P (µg/g) | Pb (µg/g) | Sb (µg/g) | Sc (µg/g) | Ti (%) | V (µg/g) | Y (µg/g) | Zn (µg/g) |
|-------|-----------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|----------|----------|-----------|
| 1 | 20 | 1.03 | 359 | 0 | 0.22 | 24 | 1338 | 196 | 0 | 7 | 0.13 | 58 | 12 | 115 |
| 2 | 9 | 0.14 | 115 | 0 | 0.06 | 10 | 300 | 18 | 0 | 2 | 0.01 | 15 | 4 | 18 |
| 3 | 17 | 0.75 | 334 | 0 | 0.21 | 24 | 4704 | 85 | 0 | 6 | 0.10 | 59 | 11 | 160 |
| 4 | 17 | 0.73 | 332 | 0 | 0.28 | 21 | 580 | 71 | 0 | 6 | 0.11 | 49 | 11 | 120 |
| 5 | 16 | 0.82 | 250 | 0 | 0.23 | 19 | 1023 | 93 | 0 | 5 | 0.10 | 50 | 9 | 94 |
| 6 | 18 | 0.82 | 339 | 0 | 0.26 | 21 | 745 | 54 | 0 | 7 | 0.11 | 55 | 11 | 70 |
| 7 | 19 | 0.83 | 325 | 0 | 0.24 | 21 | 540 | 39 | 0 | 6 | 0.11 | 55 | 10 | 56 |
| 8 | 17 | 0.83 | 330 | 0 | 0.27 | 23 | 708 | 64 | 0 | 7 | 0.11 | 59 | 11 | 93 |
| 9 | 18 | 0.75 | 295 | 0 | 0.17 | 21 | 795 | 67 | 0 | 6 | 0.10 | 57 | 10 | 65 |
| 10 | 19 | 0.80 | 280 | 0 | 0.19 | 21 | 1168 | 77 | 0 | 5 | 0.11 | 48 | 9 | 134 |
| 11 | 17 | 0.93 | 257 | 0 | 0.14 | 19 | 2158 | 151 | 0 | 5 | 0.08 | 44 | 8 | 137 |
| 12 | 22 | 1.00 | 300 | 0 | 0.17 | 20 | 1459 | 83 | 0 | 6 | 0.13 | 47 | 10 | 78 |
| 13 | 22 | 0.89 | 339 | 0 | 0.26 | 24 | 890 | 46 | 0 | 7 | 0.14 | 67 | 12 | 60 |
| 14 | 15 | 0.56 | 213 | 0 | 0.18 | 14 | 930 | 67 | 0 | 3 | 0.06 | 29 | 7 | 106 |
| 15 | 18 | 0.61 | 287 | 0 | 0.20 | 17 | 537 | 35 | 0 | 5 | 0.09 | 43 | 9 | 45 |
| 16 | 15 | 0.78 | 256 | 0 | 0.18 | 18 | 622 | 72 | 0 | 5 | 0.07 | 44 | 9 | 75 |
| 17 | 16 | 0.65 | 270 | 0 | 0.19 | 18 | 607 | 30 | 0 | 5 | 0.09 | 46 | 9 | 48 |
| 18 | 13 | 0.45 | 266 | 0 | 0.20 | 13 | 897 | 39 | 0 | 4 | 0.04 | 30 | 8 | 45 |
| 19 | 7 | 0.44 | 115 | 0 | 0.07 | 10 | 371 | 310 | 0 | 1 | 0.01 | 17 | 4 | 27 |
| 20 | 15 | 0.64 | 198 | 0 | 0.15 | 15 | 486 | 55 | 0 | 5 | 0.07 | 38 | 8 | 37 |
| 21 | 20 | 0.69 | 240 | 0 | 0.14 | 18 | 726 | 82 | 0 | 5 | 0.09 | 40 | 8 | 65 |
| 22 | 21 | 0.77 | 227 | 0 | 0.13 | 19 | 503 | 30 | 0 | 7 | 0.12 | 49 | 9 | 53 |
| 23 | 17 | 0.71 | 269 | 0 | 0.27 | 18 | 504 | 22 | 0 | 6 | 0.10 | 48 | 10 | 37 |
| 24 | 18 | 0.52 | 256 | 0 | 0.29 | 15 | 285 | 22 | 0 | 4 | 0.08 | 35 | 9 | 33 |
| 25 | 20 | 0.82 | 318 | 0 | 0.24 | 22 | 1729 | 83 | 0 | 7 | 0.10 | 52 | 11 | 93 |
| 26 | 20 | 0.69 | 278 | 0 | 0.16 | 21 | 1174 | 57 | 0 | 6 | 0.09 | 46 | 10 | 75 |
| 27 | 20 | 1.04 | 367 | 0 | 0.27 | 24 | 646 | 31 | 0 | 7 | 0.12 | 67 | 11 | 60 |
| 28 | 22 | 0.97 | 388 | 0 | 0.21 | 29 | 1278 | 290 | 0 | 8 | 0.15 | 81 | 13 | 128 |
| 29 | 19 | 0.88 | 340 | 0 | 0.25 | 22 | 751 | 70 | 0 | 7 | 0.12 | 59 | 12 | 74 |
| 30 | 16 | 0.86 | 474 | 108 | 0.17 | 32 | 2073 | 171 | 0 | 5 | 0.11 | 51 | 9 | 461 |
| 31 | 18 | 0.63 | 4030 | 0 | 0.17 | 510 | 460 | 2050 | 56 | 2 | 0.07 | 50 | 4 | 5840 |
| 32 | 18 | 0.63 | 321 | 0 | 0.24 | 21 | 883 | 108 | 0 | 6 | 0.09 | 49 | 9 | 185 |
| 33 | 21 | 0.68 | 265 | 0 | 0.18 | 17 | 361 | 34 | 0 | 5 | 0.10 | 42 | 10 | 42 |
| 34 | 19 | 0.76 | 310 | 0 | 0.28 | 22 | 717 | 150 | 0 | 6 | 0.11 | 55 | 10 | 79 |
| 35 | 16 | 0.56 | 250 | 0 | 0.13 | 18 | 1238 | 104 | 0 | 4 | 0.06 | 35 | 7 | 108 |
| 36 | 16 | 1.41 | 230 | 0 | 0.17 | 15 | 1254 | 34 | 0 | 5 | 0.06 | 39 | 9 | 53 |
| 37 | 20 | 0.91 | 337 | 0 | 0.22 | 20 | 1366 | 285 | 0 | 7 | 0.10 | 49 | 10 | 100 |
| 38 | 23 | 0.96 | 306 | 0 | 0.31 | 19 | 639 | 42 | 0 | 7 | 0.10 | 49 | 10 | 73 |
| 39 | 18 | 0.61 | 260 | 0 | 0.23 | 18 | 944 | 7930 | 118 | 5 | 0.08 | 41 | 9 | 79 |
| 40 | 19 | 0.67 | 269 | 0 | 0.19 | 18 | 792 | 130 | 0 | 4 | 0.08 | 43 | 8 | 84 |

Tabla 3. Análisis de correlación de resultados analíticos de suelos.

| | Ag (µg/g) | Al (%) | As (µg/g) | Ba (µg/g) | Be (µg/g) | Ca (%) | Cd (µg/g) | Ce (µg/g) | Co (µg/g) | Cr (µg/g) | Cu (µg/g) | Fe (%) | K (%) | La (µg/g) | Mg (%) | Mn (µg/g) | Mo (µg/g) | |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------|--|
| Ag (µg/g) | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al (%) | -0.318234 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| As (µg/g) | -0.027457 | -0.036427 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba (µg/g) | 0.825858 | -0.042083 | -0.00173 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Be (µg/g) | 0.9988 | -0.314806 | -0.02564 | 0.81812 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Ca (%) | -0.110411 | -0.406945 | -0.0151 | -0.30865 | -0.108586 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Cd (µg/g) | 0.9988 | -0.314806 | -0.02564 | 0.81812 | 1 | -0.108586 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Ce (µg/g) | -0.481578 | 0.840822 | 0.007377 | -0.1285 | -0.484395 | -0.432192 | -0.484395 | 1 | | | | | | | | | | |
| Co (µg/g) | 0.962943 | -0.079522 | -0.03795 | 0.8821 | 0.962607 | -0.229268 | 0.9626071 | -0.276102 | 1 | | | | | | | | | |
| Cr (µg/g) | 0.988926 | -0.356171 | -0.0275 | 0.82908 | 0.987997 | -0.159259 | 0.9879971 | -0.500499 | 0.948775 | 1 | | | | | | | | |
| Cu (µg/g) | 0.994153 | -0.313056 | -0.02927 | 0.85362 | 0.991119 | -0.121015 | 0.9911187 | -0.483845 | 0.96436 | 0.98868 | 1 | | | | | | | |
| Fe (%) | 0.995713 | -0.239877 | -0.03289 | 0.84261 | 0.996352 | -0.150958 | 0.9963523 | -0.42643 | 0.98066 | 0.98369 | 0.99108 | 1 | | | | | | |
| K (%) | -0.379118 | 0.847626 | 0.020747 | -0.04476 | -0.380663 | -0.342804 | -0.380663 | 0.843697 | -0.17169 | -0.40805 | -0.372 | -0.31899 | 1 | | | | | |
| La (µg/g) | 0.014031 | 0.814939 | 0.011437 | 0.32014 | 0.011437 | -0.584591 | 0.0114366 | 0.850935 | 0.234083 | -0.01188 | 0.00978 | 0.0793 | 0.75765 | 1 | | | | |
| Mg (%) | -0.097213 | 0.682469 | -0.11356 | 0.19409 | -0.097948 | -0.217421 | -0.097948 | 0.514472 | 0.07451 | -0.16637 | -0.0788 | -0.04375 | 0.64397 | 0.57436 | 1 | | | |
| Mn (µg/g) | 0.994303 | -0.235459 | -0.03264 | 0.84581 | 0.993905 | -0.153729 | 0.9939047 | -0.426349 | 0.981716 | 0.98271 | 0.99301 | 0.99858 | -0.31173 | 0.07765 | -0.03719 | 1 | | |
| Mo (µg/g) | 0.008552 | -0.080475 | -0.02564 | 0.24358 | -0.025641 | -0.013569 | -0.025641 | -0.090978 | 0.031052 | 0.03824 | 0.10304 | -0.00702 | -0.02887 | -0.09022 | 0.081559 | 0.02563 | 1 | |
| Na (%) | -0.098942 | 0.627376 | 0.076357 | -0.08027 | -0.093325 | -0.324955 | -0.093325 | 0.51568 | 0.05689 | -0.13596 | -0.1019 | -0.0483 | 0.53802 | 0.52236 | 0.366789 | -0.02646 | -0.093325 | |
| Ni (µg/g) | 0.998006 | -0.275045 | -0.02876 | 0.83469 | 0.998474 | -0.129136 | 0.9984735 | -0.457132 | 0.974153 | 0.9872 | 0.99375 | 0.9992 | -0.34839 | 0.04428 | -0.06743 | 0.998001 | 0.00047 | |
| P (µg/g) | -0.108766 | 0.192826 | -0.00768 | 0.14191 | -0.112303 | -0.142838 | -0.112303 | 0.176439 | -0.02875 | -0.08784 | -0.0658 | -0.08964 | 0.2033 | 0.09227 | 0.277789 | -0.07277 | 0.236371 | |
| Pb (µg/g) | 0.21674 | -0.111255 | 0.968208 | 0.20346 | 0.218684 | -0.016151 | 0.2186844 | -0.114775 | 0.198983 | 0.21332 | 0.21503 | 0.21141 | -0.07011 | 0.00894 | -0.12776 | 0.211399 | -0.020832 | |
| Sb (µg/g) | 0.407492 | -0.169573 | 0.90143 | 0.35272 | 0.409669 | -0.060805 | 0.4096688 | -0.203044 | 0.382241 | 0.40277 | 0.40251 | 0.40147 | -0.14592 | 0.01539 | -0.14604 | 0.400641 | -0.034503 | |
| Sc (µg/g) | -0.359063 | 0.949499 | -0.04187 | -0.09013 | -0.355909 | -0.42213 | -0.355909 | 0.784991 | -0.1324 | -0.39322 | -0.3516 | -0.28426 | 0.78927 | 0.74496 | 0.651745 | -0.27757 | -0.041872 | |
| Ti (%) | -0.117205 | 0.916003 | -0.06771 | 0.16471 | -0.121887 | -0.445706 | -0.121887 | 0.771434 | 0.127562 | -0.15113 | -0.0974 | -0.04218 | 0.75849 | 0.8383 | 0.628847 | -0.03513 | 0.094801 | |
| V (µg/g) | 0.035254 | 0.863769 | -0.08164 | 0.21411 | 0.03592 | -0.391366 | 0.0359202 | 0.564286 | 0.264077 | -0.00177 | 0.05314 | 0.11533 | 0.65171 | 0.71287 | 0.637768 | 0.125246 | 0.048982 | |
| Y (µg/g) | -0.417232 | 0.918891 | -0.01992 | -0.19321 | -0.41838 | -0.361726 | -0.41838 | 0.78331 | -0.19838 | -0.46003 | -0.4102 | -0.34925 | 0.78779 | 0.68818 | 0.626123 | -0.33563 | -0.019923 | |
| Zn (µg/g) | 0.997836 | -0.305464 | -0.02731 | 0.8412 | 0.997002 | -0.120145 | 0.9970019 | -0.479451 | 0.967504 | 0.99054 | 0.99776 | 0.99605 | -0.37106 | 0.01619 | -0.08196 | 0.996196 | 0.040606 | |

| | Na (%) | Ni (µg/g) | P (µg/g) | Pb (µg/g) | Sb (µg/g) | Sc (µg/g) | Ti (%) | V (µg/g) | Y (µg/g) | Zn (µg/g) |
|-----------|-----------------|-----------------|----------|----------------|-----------|----------------|-----------------|----------------|----------|-----------|
| Na (%) | 1 | | | | | | | | | |
| Ni (µg/g) | -0.069619 | 1 | | | | | | | | |
| P (µg/g) | -0.032605 | -0.08864 | 1 | | | | | | | |
| Pb (µg/g) | 0.04074 | 0.216044 | -0.02166 | 1 | | | | | | |
| Sb (µg/g) | 0.029262 | 0.406161 | -0.05564 | 0.97823 | 1 | | | | | |
| Sc (µg/g) | 0.612485 | -0.31717 | 0.205435 | -0.1284 | -0.192342 | 1 | | | | |
| Ti (%) | 0.585532 | -0.07639 | 0.182218 | -0.09374 | -0.114577 | 0.85698 | 1 | | | |
| V (µg/g) | 0.583101 | 0.083844 | 0.260504 | -0.0643 | -0.058941 | 0.8212 | 0.897902 | 1 | | |
| Y (µg/g) | 0.685578 | -0.37957 | 0.251648 | -0.12264 | -0.199367 | 0.92722 | 0.856554 | 0.81243 | 1 | |
| Zn (µg/g) | -0.091564 | 0.998304 | -0.07271 | 0.21781 | 0.406843 | -0.346 | -0.101971 | 0.05508 | -0.40742 | 1 |

ANEXO 5
BALANCE

ANEXO 5. Balance. Aspectos cuantitativos

En este apartado se presenta una introducción a los aspectos cuantitativos del agua subterránea en la ciudad de Zaragoza. La ciudad (Vázquez-Suñe y Cols, 1997) modifica sustancialmente el flujo de agua en el acuífero, las entradas y las salidas, de forma resumida la presencia de la urbe debe ser considerada desde los siguientes puntos de vista:

- usos sociales municipales del agua subterránea (piscinas, jardines, fuentes, riego de calles...)
- implicaciones sobre las estructuras bajo tierra, provocando filtraciones y humedades, y aumentando el coste de las excavaciones; contrariamente, extracciones importantes pueden provocar subsidencia.
- cambios significativos en el ciclo hidrológico natural que se deriva de la urbanización. En la ciudad la superficie permeable se concentra en los espacios ajardinados generalmente debido a la pavimentación y las precipitaciones suelen ser puntuales e intensas. La infiltración superficial queda muy reducida porque gran parte de la ciudad es prácticamente impermeable
- parte de las entradas al sistema corresponden a las pérdidas del sistema de abastecimiento

El modelo de balance que se propone se basa en el estudio del ciclo hidrogeológico urbano mostrado en la figura 2, sobre el se incluyen valores aproximados obtenidos, entre otros, del servicio de gestión tributaria del Ayuntamiento de Zaragoza:

- Total de agua superficial adquirida del Canal Imperial de Aragón (CAI) y del río Ebro: $80.422.641 \text{ m}^3$. (80.4 Hm^3)
- Volumen total de agua controlada y distribuida para el abastecimiento público: $41.172.003 \text{ m}^3$ (41.2 Hm^3)
- Agua consumida por los usuarios (hogares).- 31.285828 m^3 (31.3 Hm^3) Error de los contadores: (1-10% por defecto a descontar en las pérdidas en red).
- Agua consumida por los servicios municipales.(consumo público, incendios, fuentes, mercados, riegos, edificios municipales...): $1.011.281 \text{ m}^3$ (1 Hm^3).
- Pérdidas en la red de distribución (fugas, averías...): $34.747.608 \text{ m}^3$ (34.7 Hm^3).
- Fugas de las redes de abastecimiento.- $1 \text{ Hm}^3/\text{año}$.
- Infiltraciones directas de agua de precipitación: $16.5 \text{ Hm}^3/\text{año}$ sobre regadío y $8.5 \text{ Hm}^3/\text{año}$ sobre secano.
- Volumen total de agua subterránea libre almacenada en el acuífero .- 550 Hm^3
- Volumen extraíble para un vaciado del 60 % .- reserva de 325 Hm^3 y para un vaciado del 40 % .- reserva de 220 Hm^3 .
- Vertidos.- $4.8 \text{ Hm}^3/\text{año}$ derivados de extracciones no tarifadas por el ayuntamiento 24.5 Hm^3 derivados de bombeos netos y derivación de cauces superficiales (22.8 Hm^3 de efluentes). El 90 % de la demanda para usos industriales o urbanos es vertido de nuevo tras su utilización. La cuenca colectora de los polígonos industriales y barrios

residenciales recoge 18 Hm³. 0.6 Hm³ no se adscriben a ningún colector concreto acabando en fosas sépticas o en el cauce sin red de alcantarillado jerarquizada.

- Aportaciones superficiales medias interanuales de los ríos a su paso por Zaragoza en Hm³/año: Gállego.-1.086; Huerva.- 47; Ebro.-8.336. Aportaciones subterráneas del Ebro y sus afluentes.- 300-350.

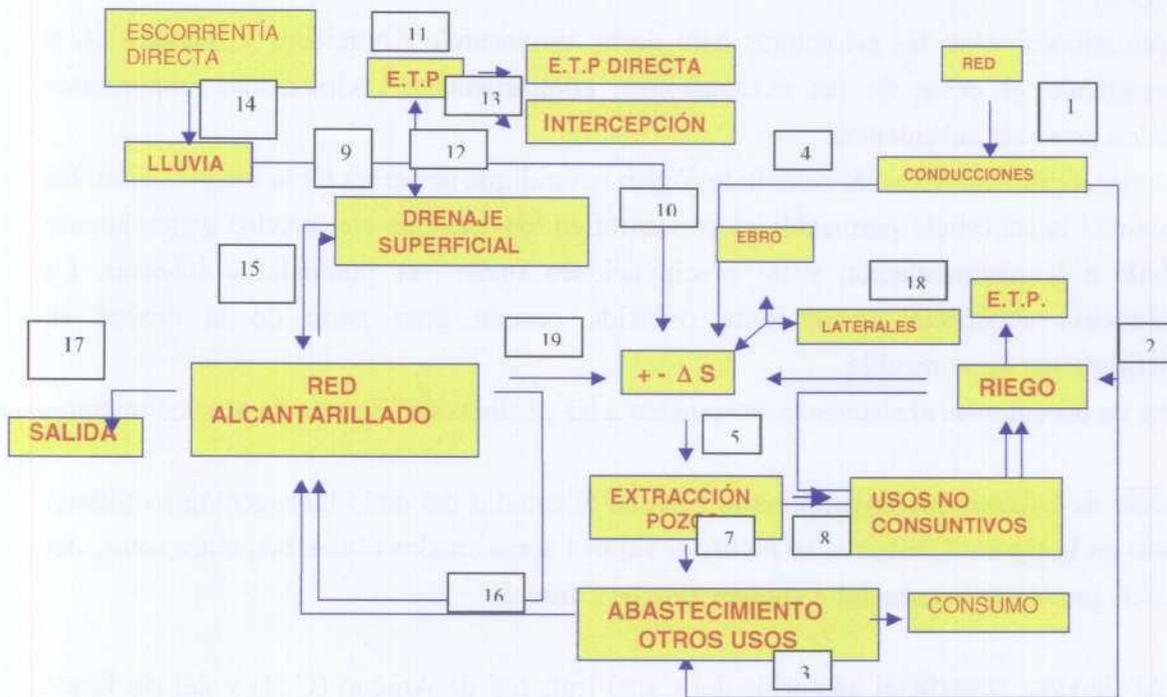


Figura 1.- Ciclo hidrológico urbano propuesto para Zaragoza

La explicación del esquema es la siguiente:

ENTRADA

⇒ RED DE ABASTECIMIENTO

- Volúmen de agua introducido en la red de abastecimiento (Hm³).- 1
 - Rendimiento global
- Agua consumida por los usuarios.- 3
 - Error de los contadores (1-10% por defecto a descontar en las pérdidas en red)
- Agua consumida por los servicios municipales.
 - Repartición de dotaciones (%):
 - Fuentes públicas.- 3
 - Mercados.- 3
 - Riegos.- 2
 - Edificios Municipales.- 3
- Pérdidas en la red de abastecimiento.- 4

⇒ EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (Hm³/año).- 5

- Pozos para riego .- 6
- Pozos de usos industrial .- 7
- Usos no consuntivos .- 8

⇒ PRECIPITACIÓN

- Pluviometría media en la ciudad por superficie de zona urbana (mm/año).- 9
- Lluvia drenada por la red de alcantarillado (%) .- 12
- Repartición del resto de lluvia (Agua retenida) (%)
 - ETP .- 11
 - Intercepción.- 13
 - Escorrentía superficial (salida de la cuenca despreciable para lluvias de periodos de retorno < 10 años y en cuencas que no limitan al mar) .- 14
 - Infiltración .- 10
- Pérdidas en la red de alcantarillado (%)

SALIDAS

⇐ RED DE ALCANTARILLADO

- Aportes o incorporación a la red de alcantarillado
 - aguas de abastecimiento.- 16
 - servicios municipales.- 16
 - lluvia.- 15

Nota:

Parés et al. (1985) cifran el porcentaje de agua consumida o evaporada por los usuarios en torno a un 10 % del total que reciben.

Lerner (1990) cifra el consumo en unos 20 l/hab/día.

⇐ EVAPORACIÓN

- Agua de riego de parques y jardines
- Superficie urbana cubierta por parques y jardines
- $ETP (mm) * S (m^2) = m^3 = ET (hm^3/año)$
- Infiltración de agua de riego: Dotación aplicada – ET
- Se puede suponer que el agua de lluvia detenida o interceptada se evaporará en su mayor parte.

⇐ INFILTRACIÓN /RECARGA

- Pérdidas de la red de abastecimiento (%) – 10 % de lo que llega a los usuarios, infravalorado por errores en los contadores..- 4
- Infiltración y pérdidas de la red de alcantarillado (%) .- 19
- Infiltración de riego.- 18
- Recarga de aguas subterráneas (hm³/año): suma de estos componentes
- Salidas de la red de alcantarillado .- 17

VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO

- Variación de los niveles piezométricos

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA